

**O`ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA  
O`RTA MAXSUS TA`LIM VAZIRLIGI**

**ISAMIDDIN PATTAYEVICH PARMANQULOV,  
BOLTAXO`JA ERMATOVICH UMIRZAQOV**

# **Elektron texnika materiallari va mahsulotlari texnologiyasi**

**Bakalavriyatning 5521700 - “Elektronika va  
mikroelektronika” va “Nanotexnologiya” ta’lim  
yo’nalishlari talabalari uchun o’quv qo’llanma**

**2 - QISM**

Toshkent – 2007

UDK 621.315.592

**“Elektron texnika materiallari va mahsulotlari  
texnologiyasi”**

o`quv qo`llanmasiga

***Annotatsiya***

O`quv qo`llanmada mikroelektronikada qo`llaniladigan materiallar to`g`risida umumiy ma`lumotlar, elektron texnika materiallarini va mahsulotlarini ishlab chiqarishda kechadigan asosiy jarayonlar (issiqlik, massa uzatish va kimyoviy jarayonlar, xomashyo materiallariga qayta ishlov berish - ajratish va tozalash usullari, kristallash, shishalanish) ning xususiyatlari yoritib

berilgan hamda elektron texnikada keng foydalaniladigan eng asosiy yarim o'tkazgichli va dielektrik materiallar hamda ular asosida mahsulotlar hosil qilishning texnologik jarayonlari bayon qilingan.

O'quv qo'llanma oliy o'quv yurtlarining "Elektronika va mikroelektronika" va "Nanotexnologiya" yo'nalishlari talabalari va o'qituvchilar uchun mo'ljallangan.

### **Аннотация**

к учебному пособию

### **“Технология материалов и изделий электронной техники”**

В учебном пособии описаны общие сведения о материалах, применяемых в микроэлектронике, свойства основных процессов (теплопроводность, массопроводность, химические процессы, методы очистки и разделение материалов, кристаллизация, стеклования) в производстве материалов и изделий электронной техники, а также процессы получения основных полупроводниковых и диэлектрических материалов и технологические процессы получения изделий на их основе.

Учебное пособие рассчитано для студентов и преподавателей высших учебных заведений по направлениям «Электроника и микроэлектроника» и «Нанотехнология».

**The summary**  
to the manual

## **“ Technology of materials and products of electronic technics”**

This manual deals with the general information on the materials used in microelectronics, properties of the basic processes (heat conductivity, mass conductivity, chemical processes, methods of clearing and division of materials, crystallization, vitrifying) in manufacturing of materials and products of electronic techniques and also processes of reception of the basic semi-conductor and dielectric materials and technological processes of reception of products on their basis are described.

The manual is designed for students and teachers of higher educational institutions on a directions “Electronics and microelectronics” and “Nanotechnology”.

**Taqrizchilar:** O`zbekiston milliy universitetining  
“Fizikaviy elektronika” kafedrasi professori f.-  
m.f.d. I. Bo`riboev;

Toshkent davlat texnika  
universitetining “Umumiy va  
amaliy fizika” kafedrasi dotsenti f.-  
m.f.n. A. G`oyipov.

### ***Muqaddima***

O`zbekiston iqtisodiyotining intensiv rivojlanishi ishlab chiqarishda zamonaviy texnika va texnologiyaning qo`llanilishiga uzviy

bog`liqdir. Bunda sanoatni, ishlab chiqarishni elektronizasiyalash va kompleks avtomatlashtirish, hisoblash texnikasi vositalaridan keng foydalanish, EHM orqali boshqariladigan stanoklar, sanoat robotlari, moslanuvchan ishlab chiqarish tizimlarini tatbiq etish birinchi darajali ahamiyatga egadir.

Shu sababli avtomatlashtirish va hisoblash tizimlarining zamonaviy elementlar bazasi bo`lgan yarim o`tkazgichli asboblardan va mikroelektronika mahsulotlari doimo rivojlanib va mukammallashib bormoqda.

Elektron texnika mahsulotlari va qurilmalarining ishonchligining ortishi va ishlab chiqarishining ko`payishi faqat ularni tayyorlashning texnologik usullari va ishlab chiqarish madaniyatigina bog`liq bo`lmasdan, balki yarim o`tkazgichli asboblardan va integral mikrosxema (IMS)larning asosiy parametrlarini belgilab beradigan kerakli elektrofizik xususiyatli materiallarni to`g`ri tanlay bilishga ham bog`liq bo`ladi.

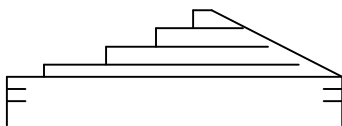
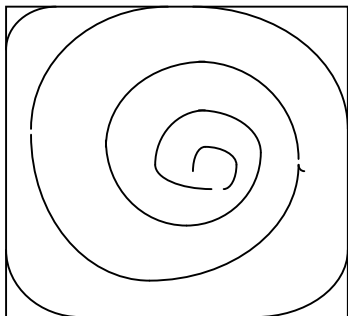
Elektron texnika materiallari, mahsulotlari va qurilmalari texnologiyasining rivojlanish darajasi yuqori malakali mutaxassislarining tayyorlanishi bilan uzviy bog`langandir. Xalq xo`jaligining rivojlanishida, iqtisodiyotning o`sishida, ilmiy texnik jarayonning tezlashuvida elektron texnika materiallari, mahsulotlari va qurilmalarining texnologiyasi muhim rol o`ynaydi.

Mazkur darslik 3 ta bobdan iborat bo`lib, 1-bobda mikroelektronikada qo`llaniladigan materiallar to`g`risida umumiy ma`lumotlar keltirilgan. 2-bobda elektron texnika materiallari va mahsulotlari texnologiyasidagi va xomashyo materiallarini qayta ishlashdagi asosiy jarayonlar ko`rib chiqilgan. 3-bob yarim o`tkazgichli va dielektrikli monokristall materiallarni olish texnologiyasiga, elektron asboblari va qurilmalar ishlab chiqarish texnologiyasiga bag`ishlangan.

Bu o`quv qo`llanma «Elektron texnika materiallari va mahsulotlari texnologiyasi» fanining namunaviy o`quv dasturi asosida «Elektronika va mikroelektronika» yo`nalishi bo`yicha ta`lim olayotgan oliy o`quv yurtlari talabalari va o`qituvchilari uchun mo`ljallab yozilgan.

### 2.10.2. Kristallar o`shining sirt kinetikasi

Barton, Kabrera va Frank tomonidan birinchi marta kristallarning qatlam-spiral o`sh nazariyasi gaz fazadan kristallanishga qo`llanilgan bo`lib uni suyultirilgan qorishmadan va eritmadan o`shiga ham ishlatish mumkin. Bu nazariyaga binoan singulyar (yoki visinal) yoqlardagi zinalar o`shining manbai vintli dislokasiyalar bo`lishi mumkin. Vintli dislokasiya hosil qilgan zina, unga zarrachalar taxlanganda spiralsimon bo`lib aylanadi va hosil bo`layotgan ketma-ket o`ramlar zinalar eshelonini shakllantiradi. Buning natijasida o`sayotgan sirtida piramidalar hosil bo`ladi (2.29-rasm). Bu piramidalarni hosil qilayotgan zinalarning konsentrasiyasi katta bo`lib, o`sh sirtiga chiqayotgan vintli dislokasiyalarning miqdoriga bog`liq bo`lmaydi. Oziqlantiruvchi muhit bilan kontaktda bo`lgan kristall sirtida kristallni tashkil qilgan moddaning zarrachalari adsorbsiya holatida turadi. Adsorbsiyalangan zarrachalar uchta yo`nalishda issiqlik tebranishlarida qatnashadi: perpendikulyar sirtida va unga parallel bo`lgan ikkita sirtida. Birinchi turdagi tebranishlarda energiyaning fluktuasiyasi zarrachaning sirtan uzilishiga va uning muhitga o`tishiga olib keladi. Ikkinchi turdagi tebranish bu zarrachalarning sirt bo`ylab diffuziyali migrasiya qilishiga sharoit yaratadi. Agar o`sayotgan sirt ustida o`ta



2.29-rasm. Vintli dislokatsiya ta'sirida o'sayotgan sirtning morfologiyasi

to'yinish hosil qilinsa, unda atrof muhitda va adsorbsiyali qatlamda to o'ta to'yinish yo'qolmaguncha kristallanish ketadigan zina tomonga diffuziya boshlanadi.

Gaz fazadan kristallanishda o'sish zinasining qirrasiga to'g'ridan to'g'ri bug'dan tushayotgan zarrachalar miqdori, bug' zichligining kamligi va qirra

sirtining kichikligi tufayli, uncha katta emas. Shu sababli kristallning o'sishiga asosiy hissani sirtning har xil qismlarida adsorbsiyalangan zarrachalarning tekis diffuziyali oqimi beradi. Bu holat uchun qatlam-spiral mezanizmli sirt o'sishining normal tezligi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$V = \kappa_1 \Omega n_0 v \kappa_2 e^{-\frac{w}{kT}} \left( \frac{\sigma^2}{\sigma_1} \right) \tanh \left( \frac{\sigma_1}{\sigma} \right) \quad , \quad (2.74)$$

bu erda  $\kappa_1$  – adsorbsiyali qatlam bilan sinishlar o'rtasidagi zarrachalar almashinish tezkorligini ifodalaydigan koeffisient;  $\kappa_2$  –  $X_0/\lambda_s$  nisbat kattaligini ifodalaydigan koeffisient ( $X_0$  – zinadagi sinishlar orasidagi o'rtacha masofa);  $\Omega$  – zarrachaning hajmi;  $n_0$  – kristalldagi atomlarning



sirt zichligi;  $\nu$  - zarrachaning issiqlik tebranishlari chastotasi;  $\sigma$  - o'ta to'yinish;  $\sigma_1 = (2\pi r_{kr}/\lambda_s)\sigma$  ( $r_{kr}$  - kritik o'simtaning radiusi,  $\lambda_s$  - adsorbsiya holatidagi zarrachaning o'rtacha siljishi);  $W$  - zarrachaning bug'lanish energiyasi;  $k$  - Bol'sman doimiysi;  $T$  - harorat.

(2.74) - ifodadan kichik o'ta to'yinishlar uchun ( $\sigma \ll \sigma_1$ ) o'sish tezligining o'ta to'yinishga parabolik qonun bo'yicha bog'langanligi kelib chiqadi:

$$\nu = \kappa_1 \Omega n_0 \nu \kappa_2 e^{-\frac{W}{kT}} \left( \frac{\sigma^2}{\sigma_1} \right) \quad (2.75)$$

Katta o'ta to'yinishlar  $\sigma \gg \sigma_1$  uchun chiziqli qonunga ega bo'lamiz:

$$\nu = \kappa_1 \Omega n_0 \nu \kappa_2 \sigma e^{-\frac{W}{kT}}. \quad (2.76)$$

Kristallarning gaz fazasidan qatlam-spiral o'sishida o'sish tezligining o'ta to'yinishga yig'indi bog'lanishi 2.27 -rasm, 3 da ko'rsatilgan.

Qorishmalardan o'sish jarayonlarining tahlili shuni ko'rsatdiki, bunda kichik o'ta to'yinishlarda o'sish tezligining o'ta to'yinishga bog'liqlik qonuni parabolik qonunga yaqin bo'lar ekan. O'ta to'yinish  $\sigma$  ning oshib borishi bilan bu bog'lanish chiziqli qonunga yaqinlashadi. Parabolik qonundan chiziqli qonunga o'tish kristallning sirtiga yaqin joylashgan diffuzion qatlam  $\delta$  ning qalinligiga, ya'ni qorishmani aralashtirish intensivligiga bog'liq bo'ladi.

Eritmadan kristall o'sishning sirt kinetikasi faqat kristallanish frontining tuzilishigagina bog'liq bo'lmasdan, balki qovushqoq eritmalardan o'stirilayotgan kristallarning o'sishiga halaqit qiladigan eritmaning qovushqoqligiga ham bog'liq bo'ladi (2.23-rasmga qarang) (masalan, kvars kristallari).

Atom - g'adir-budur sirtlar normal mexanizm holda o'sadi. Bunda o'sish markazlarining zichligi sirt atomlari zichligi  $10^{18} \text{ m}^{-2}$  ga yaqin bo'ladi. Bu holda sirtning o'sish tezligi kristallanish frontidagi o'ta sovutilish  $\Delta T$ ga proporsional bo'ladi:

$$v \sim \Delta T \quad (2.77)$$

Atom-silliq sirtlarning o'sishi ikki xil mexanizmlilik bo'lishi mumkin:

1) ikki o'lchamli o'sish zinalarining tug'ilishi bilan boradigan qatlamli o'sish mexanizmi;

2) o'sish zinalarining manbai bo'lgan vintli dislokasiyalar qatnashgan qatlamli – spiralli mexanizm.

Birinchi mexanizm bo'yicha eritmadan kristall o'sish tezligi kristallanish frontidagi o'ta sovutilishning o'sish harorati bilan o'ta sovutilishning eksponensial funksiyasiga ko'paytmasiga proporsional bo'ladi:

$$v \sim \Delta T \exp(-V/(T \Delta T)), \quad (2.78)$$

bu erda  $V = \text{const}$ .

Ikkinchi mexanizm bo'yicha o'sishda o'sish tezligi va kristallanish frontidagi o'ta sovutilish bir - biri bilan kvadratik qonun bilan bog'langan:

$$v \sim \Delta T^2 \quad (2.79)$$

### 2.10.3. Kristallarning o'sish jarayoniga kirishmalarning ta'siri

Kristallarning o'sish jarayoniga kirishmalarning ta'siri xar xil bo'lganligi bu jarayon mexanizmini o'rganishni qiyinlashtiradi. Bu erda asosiy rolni kirishmaning tabiati, uning konsentrasiyasi va zaryad holati o'ynaydi. Ba'zi bir holatlarda kirishmalar kristallarning o'sishini tezlashtirsa, boshqaholatlarda esa sekinlashtiradi.

Agar o'sayotgan kristall zinalarning uzilishlari kirishma molekula-larini adsorbsiyalagandan keyin o'sishning aktiv nuqtasi bo'lmay qolsa (zaharlansa), unda zinalar harakat ining yig'indi tezligi, demak kristall-ning o'sish tezligi kamayadi. Kirishmalar ishtirokidagi o'sayotgan kristall-ning boshqa modelida, agar aktiv (zaharlanmagan) uzilishlar oraliq'idagi o'rtacha masofa zarrachalarning sirt bo'ylab o'rtacha diffuziya yugurish uzunligidan katta bo'lsa, unda zinalarning harakat tezligi kamayadi. Bunday kirishmaga gaz fazasidan o'sayotgan germaniy kristallari uchun kislorod misol bo'ladi. Uning bosimi  $10^{-3} - 1$  Pa atrofida bo'lganda kristallning o'sish tezligi bir – ikki tartibga kamayib ketadi.

Kristallning sirtida joylashgan kirishmalarning yirik harakat siz zarrachalari harakat lanayotgan zina bilan uchrashib, uni mahkamlashi mumkin, ya'ni uning harakatlanishini to'xtatadi.

Gaz fazasidan o'sayotgan kristallning sirtidagi kirishmalarning yuqori konsentrasiyalarida suyuq fazali mikrotomchi hosil bo'lishi mumkin va buning natijasida shu joydagi kristallning o'sish tezligi gaz – kristall o'sish mexnizmidan gaz – suyuqlik– kristall o'sish mexanizmiga o'tishi hisobiga bir necha tartibga oshib ketadi. Bunday jarayonga sur'ma kirishmasi ishtrokidagi germaniy kristallining gaz fazasidan yoki kremniy kristallining oltin kirishmasi ishtirokidagi o'sishi misol bo'ladi.

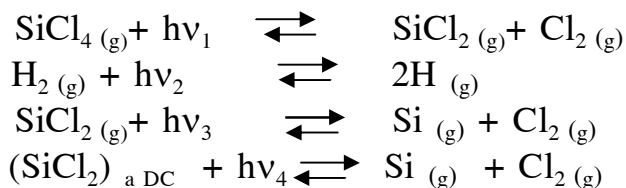
#### **2.10.4. Kristallarning o'sish jarayonlarini tezlashtirishning zamonoviy usullari**

Har xil tashqi ta'sirlar yordamida kristallarning o'sish jarayonlarini anchaga tezlashtirish, ularning strukturalarining mukammallik darajasini oshirish, kristallanish temperaturasini kamaytirish va legirlash jarayonlarini boshqarish mumkin.

O'sayotgan kristallni elektromagnit nurlar bilan nurlantirib va unga elektr yoki akustik maydonlar ta'sir ettirib o'sish jarayonlarini stimullash mumkin, deb hisoblanadi.

Elektromagnit nurlar ta'sirida oziqlantirilayotgan muhitning molekulari uyg'ongan (aktivlashgan) holatga o'tishi yoki parchalanishi (fotoliz) mumkin. Gaz fazasidan o'stirilayotgan kremniy kristallarini to'lqin uzunligining diapozoni  $\lambda = 230 \div 370$  nm bo'lgan ultrabinafsha nurlar bilan nurlantirilsa jarayonning haroratini pasaytirish, o'stirilayotgan kristall strukturasi mukammalligini yaxshilash va kristall o'sish tezligini ikki marta oshirish imkoniyatini beradi. Y'sish jarayonlariga nurlantirishning sezilarli ta'siri nurlanishning solishtirma quvvati  $1 - 10 \text{ Vt/sm}^2$  atrofida bo'lganda kuzatiladi.

Nurlanishning to'lqin uzunliklarini tanlab butun tizimning yoki alohida molekulaning, yoki alohida qismning, yoki molekula bog'ining tebranish chastotalari nurlanish chastotasi bilan rezonans holatda bo'lganda ularga selektiv ta'sir etish mumkin. Ayniqsa yorug'likning monoxromatik manbalaridan (masalan, lazerlardan) foydalanilganda nurlantirish effektivligini oshirish, jarayon yoki reaksiyalarning alohida bosqichlariga nisbatan ma'lum bir tanlash imkoniyatigacha ega bo'lamiz. Masalan,  $\text{SiCl}_4 - \text{H}_2$  tizimida kremniy kristallarini o'stirishda energiyaning  $h\nu$  kvantlari ta'sirida quyidagicha fotokimyoviy reaksiyalar bo'lishi mumkin:



Boshlang'ich molekulalarning bog'lanish energiyasi har xil bo'lganligi uchun u yoki bu reaksiyaning boshlanishiga turtki bo'ladigan nurlanishning to'liq uzunlik diapazonlari ham har xil bo'ladi. Bu tizimda o'stirilayotgan kremniy kristali strukturasi mukammalligi esa fotokimyoviy reaksiyada hosil bo'ladigan atomar vodorodning ta'siri natijasidir.

Bundan tashqari elektromagnit nurlanish, ayniqsa yarim o'tkazgichlarda o'sish sirtini uyg'otadi va fotoadsorbsiya hamda fotokatalizning ta'siri natijasida o'sish jarayonining fazoviy tanglanishiga erishish mumkin, ya'ni nurlangan joyda kristallning lokal o'sishi ta'minlanadi. Bu mikroelektronikada katta ahamiyatga ega.

### **3 - bob. Mikroelektronikada asosiy yarim o'tkazgichli va dielektrikli materiallar monokristallarini hosil qilish texnologiyasi**

#### **3.1. Qattiq fazadan kristallarni o'stirish**

Qattiq fazadan kristallarning o'sishini ta'minlaydigan qattiq fazali o'zgartirish jarayonlari kristall panjara simmetriyasini o'zgartmasdan (rekristallash) yoki boshqa simmetriyali panjaraga

ega boʻlgan yangi struktura (qayta kristallash) hosil qilish bilan borishi mumkin. Qattiq fazali oʻzgartirishning har xil turdagi jarayonlari koʻpincha qayta kristallash (perekristallizasiya) degan umumiy tushuncha bilan birlashtiriladi.

Qattiq fazadan monokristall va epitaksial qatlamlar olishning asosiy usullari uch turga boʻlinadi:

1. Qattiq fazada deformasiyani kuydirish (otjig) va «spekanie» qilish yoʻli bilan rekristallash;

2. Polimorfli oʻzgartirishlarda qaytakristallash;

3. Amorf holatdan va oʻta toʻyingan qattiq qorishmadan qayta-kristallash.

Kristall oʻstirishning qattiq fazali usullarining afzalliklari quyidagicha: jarayonlarni materiallarning erish temperaturasidan past temperaturada oʻtkazish imkoniyati, buning natijasida kristallarni olish texnologiyasi soddalashadi, ayniqsa eriganda parchalanib ketadigan kimyoviy birikmalar boʻlsa; kerakli profilli kristallarni olish soddalashadi, chunki oʻzayotgan kristallning shakli oʻsish jarayoni boshlangungacha oldindan berib qoʻyiladi; oʻstirish temperaturasining nisbatan kichikligi, yaʼni unga mos holda diffuziya koeffitsientining kichikligi sababli oʻstirilayotgan kristalda, ayniqsa yupqa monokristall qatlam oʻstirilayotganda, kirishmalarning taqsimoti ham qatlamda, ham taglikda boshlangʻich materialdagiday oʻzgarmasdan saqlanadi.

Kristall o`stirishning qattiq fazali usullarining kamchiliklariga qattiq fazali kristallanishning potensial markazlari zichligining yuqoriligi, murtak hosil bo`lishni boshqarishning qiyinligi va shu sababli nisbatan katta o`lchamli monokristallar olishning murakkabligi kabilar kiradi. Mana shuning uchun ham yirik monokristallar hosil qilishda qattiq fazali usullar kam qo`llaniladi. Faqat amorf holatdan va o`ta to`yingan qattiq qorishmalardan qaytakristallash usullari yarim o`tkazgichli va mikroelektron asboblarda texnologiyasida yupqa epitaksial qatlamlar olishda keng ishlatilmoqda.

### **3.2. Suyuq fazadan kristallarni o`stirish**

Suyuq fazadan monokristallar o`stirishning barcha texnologik usullarini ikkita guruhga ajratish mumkin: o`z xususiy eritmasidan va qorishmasidan.

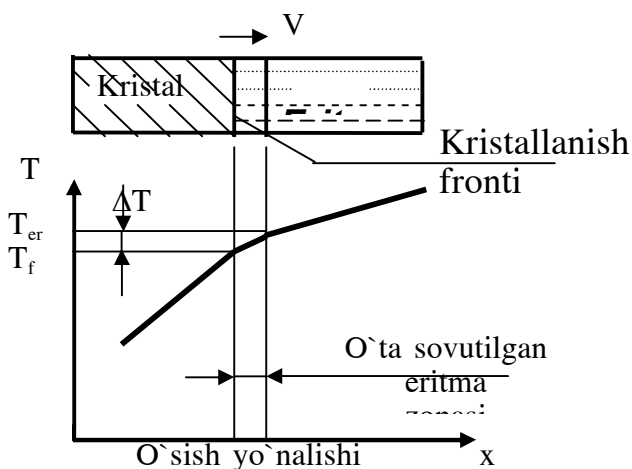
**Eritmadan kristallar o`stirish.** Eritmadan kristallar o`stirish jarayoni sanoatda eng ko`p tarqalgan, chunki bunda unumdorlik boshqa jarayonlarga qaraganda ancha yuqoridir. Ayniqsa bir komponentli eritmalardan, ya`ni chet kirishmalar bo`lmagan (bo`lsa ham kichik miqdorda) tizimlardan kristallar o`stirish tezligi boshqa usullarga qaraganda 100 martadan ortiq kattadir.

Kongruent eriydigan, ya`ni erigan holatda kristall tarkibi bilan bir xil bo`lgan materiallar hamda erish temperaturasida bug` bosimlari



kichik boʻlgan materiallar uchun eritmadan oʻstirish jarayoni nisbatan sodda jarayon hisoblanadi. Kongruent erimaydigan materiallar uchun oʻstirish usuli va jarayonni oʻtkazish uchun kerak boʻladigan uskunalar murakkablashadi.

Eritmadan monokristallar oʻstirishda har xil usullardan foydalaniladi. Bu usullarning hammasi asosida eritmani yoʻnalishli kristallash yotadi. Bunda eritmada  $\Delta T$  oʻta sovutilish hosil qilinganda kristallning paydo boʻlishi va oʻsishi bir faza chegarasida amalga oshadi hamda issiqlik kristallanish frontidan bitta yoʻnalishda olib ketiladi (3.1-rasm). Bu esa eritmani bitta monokristall holda kristallash imkoniyatini beradi.



3.1-rasm. Kristallni eritmadan yoʻnalishli kristallash bilan oʻstirishda temperaturaning taqsimlanish sxemasi

Yoʻnalishli kristallash usullari ni uchta guruhga boʻlish mumkin :

1.

Bu guruhga kiradiga

n usullarda boshlang'ich mahsulotning (zagotovkaning) hammasi eritiladi va bir tomondan kristallanadi. Bu usullar *normal yo`nalishli kristallash usullari* deyiladi;

Ikkinchi guruhga eritilgan boshlang'ich mahsulotdan cho`zib tortish yo`li bilan monokristall o`stirish usullari kiradi. Bu usullar *eritmadan kristal-larni tortib o`stirish usullari* deyiladi;

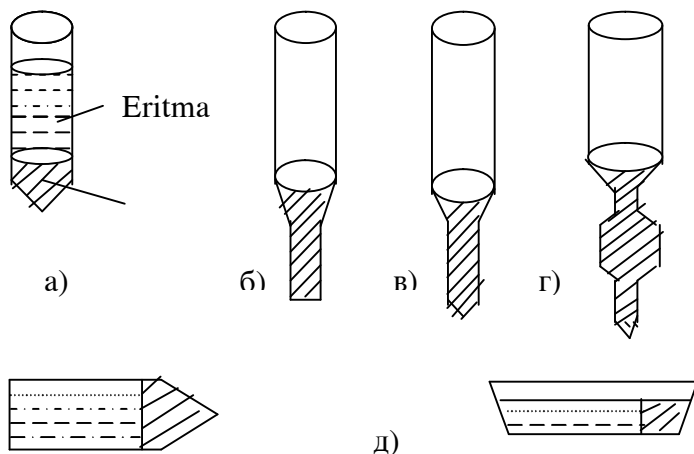
Uchinchi guruhga har bir vaqt mobaynida boshlang'ich mahsulotning faqat uncha katta bo`lmagan bir qismi (zonasi) eritiladigan va kristallanadigan usullar kiradi. Bu usullar *zonali eritish* yoki *zonali qaytakristallash usullari* deyiladi.

Monokristall o`stirishning bu guruhlariga taa`luqli bo`lgan eng asosiy usullarini ko`rib chiqamiz.

### **3.2.1. Eritmalarni normal yo`nalishli kristallash usullari**

Bu usullarning hammasi uchun umumiy bo`lgan narsa o`sish jarayoni davomida o`sayotgan kristallning eritma turgan konteyner (tigel`) devorlari bilan kontaktda bo`lishidir. Bu usullarda kristallanish frontidagi o`tasovutilish temperaturaviy gradientli issiqlik maydonini hosil qilayotgan qizdirgichga nisbatan eritmali tigelni siljitib yoki qizdirgichni eritmali tigelga nisbatan harakatlantirib hosil qilinadi.

Normal yoʻnalishli kristallash jarayonini maxsus oʻstirmasiz (zatravkasiz) amalga oshirish mumkin. Bu usulda kristallanadigan materialning hammasi jarayonning boshida erigan holatda boʻladi. Sovutilish jarayonida kristallning erish tem-peraturasidan past boʻlgan tigelning sohalarida bir nechta kristallanish mar-kazlari hosil boʻladi. Kristallni faqat bitta kristallanish markazidan oʻsish ehtimolini oshirish uchun maxsus har xil konstruksiyali tigellardan foydalaniladi (3.2-rasm). Bunda tigellar issiqlik maydonida vertikal (3.2-rasm, a-g; Brijmen usuli), va gorizontal (3.2-rasm, d) joylashishi mumkin.



3.2-rasm. Normal yoʻnalishli kristallanish usuli bilan kristallar oʻstirish uchun qoʻllaniladigan har xil shaklli tigellarning sxemasi

Normal yoʻnalishli kristallash jarayonini oʻtkazish uchun quyidagi aslahalar kerak boʻladi:

materiali eritmaga va kristallanish jarayoni o'tkazila-yotgan atmosfera gaziga kim-yoviy chidamli, berilgan shaklli tigel; kerakli issiqlik maydoni-ni hosil qilib beradigan pech`; pechning temperaturasini bosh-qaruvchi va tigel yoki qizdir-gichni mexanik harakatlantiruv-chi tizimlar.

Tigelning materiali erit-ma bilan xo'llanmasligi kerak, chunki shu holdagina o'stiril-gan kristallni tigeldan uni sindirmasdan chiqarib olish, hamda qoldiq deformasiya va nuqsonlarni minimumga keltirish mumkin. Bundan tashqari tigel keraklicha termik va mexanik mustahkamlikka ega bo'lishi kerak. Tigellar tayyorlash uchun ko'pincha kvartsl shisha, alyuminiy oksidi, grafit, platina, berilliy oksidi, magniy oksidi, sirkoniy dioksidi, toriy dioksidi va boshqa materiallardan foydalaniladi.

Agar tigel materialini ho'llaydigan moddalardan kristall o'stirilayotgan bo'lsa, unda juda ham yupqa devorli, masalan platinali konteyner tayyorlanadi. Bunday konteynerlar sovutilganda oson deformasiyalanadi va o'stirilayotgan kristallarda katta mexanik kuchlanishlar hosil qilmaydi.

Normal yo'nalishli kristallash usuli bilan bir qator yarim o'tkazgichli va dielektrik materiallarning yirik monokristallari hosil qilinadi.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  korundning kristallari molibdenli tigelda  $2037^\circ\text{C}$  temperatura va  $10^{-1}$  Pa bosimli vakuumda 10 mm/soat tezlik bilan o'stiriladi. Hozirgi vaqtda vertikal yo'nalishli kristallash usuli (Brijmen usuli) bilan murtakdan foydalanib diametri 200

mm va uzunligi 300 mm boʻlgan kristallar oʻstirilmoqda. Bunday kristallarda dislokasiyalarning zichligi  $10^2 \text{ sm}^{-2}$  dan oshmaydi. Gorizontaal yoʻnalishli kristallash usuli (asosan X.S.Bagdasarov tomonidan rivojlantirilgan) bilan qalinligi 30 mm va yuzasi  $300 \times 300 \text{ mm}^2$  boʻlgan korundning monokristalli plastinalari hosil qilinmoqda. Kristallari normal yoʻnalishli kristallash usuli bilan oʻstiriladigan baʼzi bir materiallarga misollar quyidagi 2.1 - jadvalda keltirilgan.

2.1-jadval

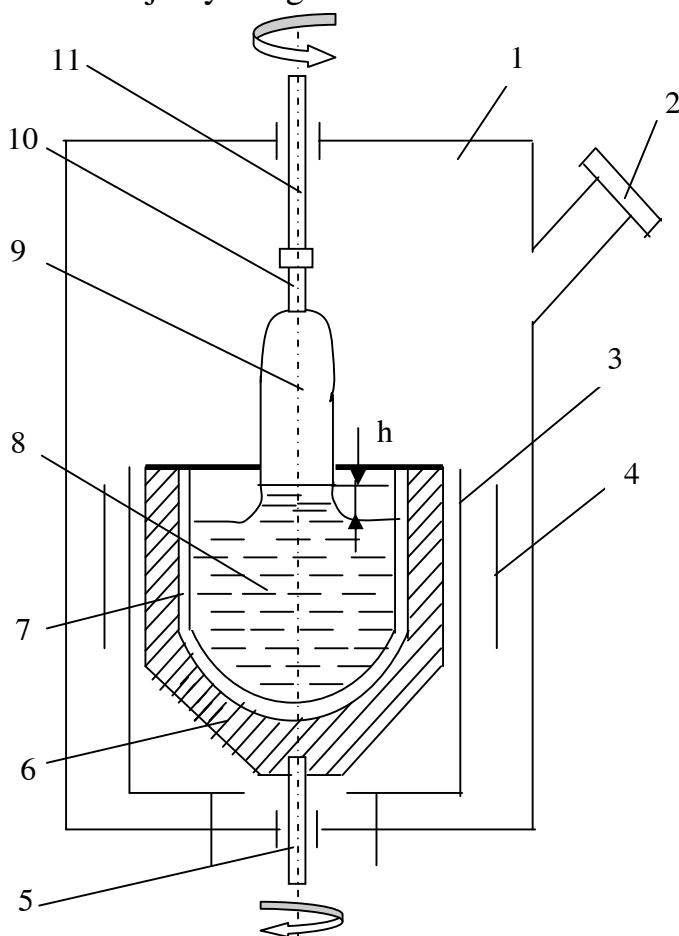
| Kristallning materiali                | Erish temperaturasi, °S | Oʻstirish tezligi, mm/soat |
|---------------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| $\text{Al}_2\text{O}_3$               | 2037                    | 10                         |
| $\text{V}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$  | 1975                    | 2                          |
| $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ | 1825                    | 2                          |
| $\text{FeAl}_2\text{O}_4$             | 1790                    | 10                         |
| $\text{VFeO}_3$                       | 1685                    | 2                          |
| $\text{CaF}_2$                        | 1392                    | 1                          |
| LiF                                   | 870                     | 3                          |

Koʻrib oʻtilgan usulning asosiy kamchiligi oʻstirilayotgan kristall bilan tigelning chiziqli kengayish temperaturaviy koeffisientlarining har xilligi natijasida mukammal kristallar olishning qiyinligidir.

### 3.2.2. Kristallarni eritmadan tortib oʻstirish usullari

Bu usullar hozirgi vaqtda sanoatda nazoratlanadigan va qaytariladi-gan xossali yarim o`tkazgichli va dielektrik materiallarning yirik mono-kristallarini ishlab chiqarishda eng ko`p tarqalgan usullardan hisoblanadi. Bu usullarning xar xil modifikasiyalari ko`p bo`lib bularning hammasi Choxral`skiy usuli nomi bilan ataladi. Kristallarni eritmadan tortib o`stirish usulining prinsipi birinchi marta 1916 yilda Choxral`skiy tomonidan taklif qilingan edi. Bu usulning mohiyati quyidagicha. Boshlang`ich material (kukun yoki polikristall bo`lagi ko`rinishida) yaxshilab tozalangandan so`ng tigelga solinadi va eritilish holatigacha qizdiriladi.

Bu jarayon germetik kamerada vakuumda



3.3-rasm. Eritmadan tortish usuli bilan yarim o'tkazgichli materiallarning monokristallarini o'stiruvchi qurilmaning sxemasi:

1 - ishchi kamera; 2 – ko'rish oynasi; 3 – qizdirgich; 4 – ekran; 5,11 – tigel va o'stirmani aylantiruvchi o'qlar; 6,7 – grafitli va kvartslı tıgellar; 8 – yarım o'tkazgichning eritmasi; 9 - monokristall quyma;

yoki neytral (inert), oksidlovchi yoki qaytaruvchi atmosferada o'tkaziladi. Keyin o'lchamlari bir necha millimetr bo'lgan o'stirma (zatravka) sovutiladigan kristall ushlagichga o'rnatilib va kerakli kristallografik yo'nalishda orientasiyalanib eritmaga botiriladi. O'stirmaning botirilgan uchi qisman erigandan keyin va kerakli temperatura rejimiga chiqilgandan so'ng yuqoriga qarab shunday tezlikda tortiladiki, bunda eritmaning kristallanishi o'stirma kristalidan boshlanishi kerak. Kristallning diametri tortish tezligini va eritma temperaturasini tanlab olish bilan boshqariladi. Eritmadan tortish usuli bilan kristall o'stirish sxemasi 3.3 -rasmda keltirilgan.

Eritma – o'stirmaning bo'linish chegarasi eritma sirtidan yuqorida joylashgan bo'ladi (3.3-rasm). Uning balandligi  $h$  esa eritmaning qizdirilganligiga va o'stirmadan issiqlik olib ketilish sharoitiga bog'liq bo'ladi. Eritmaning silindrik ustuni balandligini uning og'irligi bilan bo'li-nish chegarasidagi sirt taranglik kuchini tenglashtirib baholash mumkin:

$$2 \pi r \gamma = h \rho_s \pi r^2 g , \quad (3.1)$$

bu erda  $r$ - eritma ustunining radiusi;  $\gamma$  - eritmaning sirt tarangligi;  $h$  –eritma ustunining balandligi (odatda 2 –5 mm atrofida bo'ladi);  $\rho_s$  – eritmaning zichligi;  $g$  – og'irlik kuchi tezlanishi.

Bu usulda eritmani ko'p ham, kam ham qizdirib bo'lmaydi. Chunki eritma kuch-li qizdirilib yuborilsa cho'zish vaqtida ustun uzilib ketadi. Pastroq temperatura-da esa o'stirma atrofida o'ta sovutilgan soha hosil bo'ladi va



tortish boshlanmasdan o`stirmada kristall o`shishi boshlanadi. Shu sababli kristall mana shu ikki holatning o`rtasiga tegishli bo`lgan temperaturada tortiladi, chunki bunda o`stirma eritma bilan keraklicha bog`lanadi va tortish davomida uzilib ketmaydi hamda bu temperaturada kristall o`shishi kuzatilmaydi.

Bu bosqichda asosiy rol jarayonning issiqlik sharoitlariga taalluqli bo`lib, ular kristallanish frontining shakliga bog`liq bo`ladigan kristall va eritmadagi temperatura gradientini, kristallanish fronti yaqinidagi eritmaning o`ta sovutilgan sohasining o`lchamlarini, kristallning diametri va o`sish tezligini, undagi termik kuchlanish va xokazolarni aniqlaydi. Bu jarayondagi issiqlik uzatilishi qizdirgichdan tigelga kelayotgan issiqlik oqimi, hamda eritma va kristalldan olib ketilayotgan issiqlik oqimlarining yig`indilaridan tashkil topadi. Bu oqimlarning o`zaro nisbati o`stirilayotgan monokristalldagi va eritmadagi izoterma shakli va temperatura gradientini aniqlaydi. Issiqlik uzatish jarayonlariga o`sish kamerasidagi atmosferaning xarakteri sezilarli ta`sir ko`rsatadi. Vakuumda kristall o`stirilganda issiqlik uzatilishi faqat nurlanish yo`li bilan amalga oshadi. Gazli muhitda esa issiqlik uzatishda asosiy rolni konveksiyali jarayonlar o`ynaydi. Bu holatda issiqlik uzatilishining intensivligi gazning bosimi va uning issiqlik sig`imining oshishi bilan ortadi.

Temperatura gradienti ta`sirida o`sayotgan monokristalda termik kuchlanishlar hosil bo`ladi

va buning natijasida dislokasiyalar paydo bo`ladi. Temperatura gradientining kamayishi dislokasiyalar hosil bo`lishini kamaytiradi va kristallning o`shish tezligini oshiradi.

O`sayotgan kristalldan olib ketilayotgan issiqlik oqimi eritmadan kelayotgan issiqlik oqimi va bo`linish chegarasida kristallanish tufayli ajralayotgan issiqlik miqdori yig`indilaridan tashkil topadi. Eritmadan kelayotgan issiqlik oqimi  $Q_E$  eritmadagi temperatura gradientiga proporsional bo`ladi; kristallanish issiqligi  $Q_K$  kristall massasining o`shish tezligiga (kristallning chiziqli o`shish tezligi  $v$  ni ko`ndalang kesim yuzasi  $S = \pi d^2/4$  va kristall zichligi  $\rho$  ga ko`paytmasiga teng) va kristallanish-ning solishtirma issiqligi  $L$  ga proporsional. Kristall o`shishining mumkin bo`lgan maksimal tezligi unda ajralib chiqayotgan issiqlik  $Q_0$  ning olib ketilish tezligi bilan aniqlanadi. Issiqlik balansi sharti

$$Q_0 = (Q_E + Q_K). \quad Q_K = (\pi d^2/4)v\rho L$$

larni e`tiborga olsak, unda

$$v = (4/\pi d^2) \square (Q_0 - Q_E)/\rho L, \quad (3.2)$$

$$d = 2((Q_0 - Q_E)/\pi v\rho L)^{1/2} \quad (3.3)$$

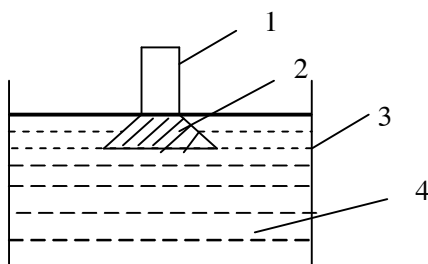
larni hosil qilamiz.

Demak kristallning o`shish tezligini oshirish uchun eritmadagi temperatura gradientini minimumga keltirish, ya`ni undan olib ketilayotgan  $Q_E$  issiqlikni kamaytirish kerak ekan. Bo`linish

fazasidan uzatilayotgan  $Q_0$  issiqlikning kattaligi o'zgarmas bo'lganda o'sayotgan kristallning diametrini oshirish uchun o'sish tezligini kamaytirish kerak ( $Q_E$  bilan aniqlanadigan eritmaning temperaturasi o'zgarmas bo'lganda) yoki eritmaning temperaturasini pasaytirish kerak (tortish tezligi o'zgarmas bo'lganda). Lekin amalda kristallning diametri eritmaning temperaturasini o'zgartirib boshqariladi. O'sish sharoitini stabillash uchun zamonaviy qurilmalar qizdirgichning temperaturasini ushlab turadigan, o'sayotgan quymaning diametrini, tigel va kristalni ko'tarish va aylantirishni uzluksiz nazorat qilib turadigan avtomatik tizimlar bilan ta'minlangan. Bu tizimlar EHM orqali boshqariladi.

Kristalni o'stirish jarayoni uni eritmadan uzish bilan yakunlanadi.

**Kiropulos usuli.** Eritmadan kristallni tortib o'stirish usuliga yaqin usullardan biri Kiropulos usuli hisoblanadi (3.4-rasm).



3.4-rasm. Kiropulos usuli bilan kristallar o'stirish sxemasi:

1 - o'sirma; 2 - o'sayotgan kristall; 3 - tigel; 4 - eritma

Bu usulning farqi shundaki, bunda o'sirma eritmaga tushirilgandan keyin tortilmaydi va unda kristallning o'sishi

moddaning erish temperaturasi mos keluvchi izoterma hisobiga bo`lib, u eritma ichkarisiga siljib boradi. Buni kristall ushlagich orqali o`stirmani sovutish bilan eritmaning temperaturasi pasaytirib amalga oshiriladi. Bu usul yordamida ko`ndalang kesimi diametri balandlikka qaraganda katta bo`lgan kristallar o`stiriladi.

Kristallarni tortib o`stirish usullarining ustunligi shundaki, bunda kristallar fazoda erkin o`sadi, tashqaridan mexanik ta`sir bo`lmaydi, hamda kristallning o`lchamlarini oson boshqarish mumkin.

1990 yilda butun dunyoda 2000 t kremniy tortish usuli bilan o`stirilgan. Bu esa o`stirilgan hamma kremniyning 90-95% ni tashkil etadi. Ularning maksimal gabaritlari: diametri  $\varnothing 150-300$  mm ga , uzunliklari  $L=1,5-2$  m ga etdi va yildan yilga oshib bormoqda hamda borgan sari o`stirilayotgan kristallarning strukturalari mukammallashmoqda. Masalan, yuqorida o`lchamlari keltirilgan kristallar amalda dislokatsiyasiz o`stirilmoqda. Kristall o`stiriladigan qurilmalar quvvat va temperaturani yuqori aniqlikda boshqaradigan tizimlar bilan ta`minlanmoqda. Bunday tizimlar yordamida  $1500^{\circ}\text{C}$  gacha qizdirishda temperaturani  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$  aniqlikkacha ushlab turish mumkin.

Hozirgi vaqtda eritmadan tortish usuli bilan uchuvchan komponent bug`ining bosimi uncha yuqori bo`lmagan ko`pchilik yarim o`tkazgichli materiallarning monokristallari o`stirilmoqda

(masalan,  $A^{III}V^V$  guruhidagi yarim oʻtkazgichli birikmalarning nitridlari kabi).

Monokristallari eritmadan tortish usuli bilan oʻstiriladigan dielektrik materiallar 3.2- jadvalda keltirilgan.

### 3.2 – jadval

| N <sup>o</sup> | Material                    | Erish tempe-<br>raturasi, °S | Oʻsish tezligi,<br>mm/ soat * |
|----------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 1              | $MgAl_2O_4$                 | 2100                         | 6                             |
| 2              | $V_3Al_5O_{12}$             | 1975                         | 2                             |
| 3              | $LiTaO_3$                   | 1650                         | 10                            |
| 4              | $CaWO_4$                    | 1550                         | 10                            |
| 5              | $MnFe_2O_4$                 | 1500                         | 5                             |
| 6              | $NaBa_2Nb_5O_{15}$          | 1450                         | 5                             |
| 7              | $Sr_{0.75}Ba_{0.25}Nb_2O_6$ | 1406                         | 5                             |
| 8              | $LiNbO_3$                   | 1238                         | 5                             |
| 9              | $ZnWO_4$                    | 1200                         | 10                            |
| 10             | $BaClF$                     | 1008                         | 8                             |
| 11             | $Bi_{12}SiO_{20}$           | 900                          | 5                             |
| 12             | KCl                         | 770                          | 5                             |

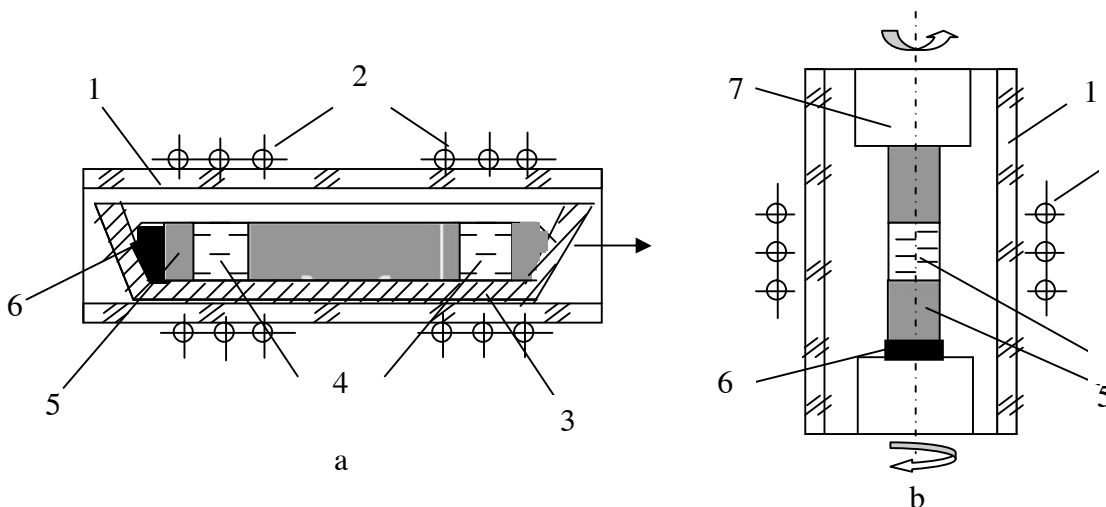
\* Oʻsish tezligi diametri 20 mm boʻlgan kristallar uchun keltirilgan, oʻstirilayotgan kristallning diametri kattalashgan sari tortish tezligi kamayadi

### 3.2.3. Zonali eritish usullari

Zonali eritish usullaridan materiallarni oʻta chuqur tozalash bilan bir qatorda yarim oʻtkazgich va dielektrik monokristallarini oʻstirish uchun ham foydalanish mumkin. Bu usulning ikki xil varianti mavjud:

1) *Gorizontal zonali eritish usuli* (3.5, a - rasm). Bu usulda kristallanayotgan material tigelga joylashtiriladi. Bunda tigel materialiga ham normal yo`nalishli kristallash usulidagi tigelga qo`yiladigan talablar qo`yiladi.

Zonali eritish usullari bilan kristallar o`stirishda tigelning bir chekkasida joylashtirilgan o`stirmadan foydalaniladi. Jarayonning boshlanishida murtak bilan boshlang`ich material



3.5-rasm. Yarim o`tkazgichli materiallarni zonali eritib tozalash qurilmasining sxemasi:

a – tigelli gorizontal zonali eritish, b – tigelsiz vertikal zonali eritish;  
1 – kvartslı quvur; 2 – induktorli qizdirg`ich; 3 – tigel – idish; 4 – yarim o`tkazgichning erigan zonasi; 5 – kristall; 6- o`stirma; 7- kristall ushlagich

chegarasida eritilgan zona xosil qilinadi. Bunda o`stirmaning boshlang`ich materialga tegib turgan qismi eritiladi. Undan keyin eritilgan zona sekin astalik bilan o`stirmadan boshlab boshlang`ich materialning bir boshidan oxiri tomon siljitib

boriladi. Buning natijasida boshlang'ich materialning monokristallga aylanib o'sishi ta'minlanadi. Zonali eritish bilan kristallash usulining ustunligi tigeldan foydalanmasdan o'stirish imkoniyati bo'lib, bu vertikal tigelsiz zonali eritish usulidir.

2) *Vertikal tigelsiz zonali eritish usuli (ZEU)* (3.5, b - rasm).

Vertikal tigelsiz ZEUDA (suzuvchi zona usuli) eritma tigel materiallari bilan ifloslanishdan holi bo'ladi, hamda tigel devorlari tomonidan o'sayotgan kristallga ta'sir qiladigan mexanik kuchlanish bo'lmaganligi uchun nuqsonlar hosil bo'lmaydi. Suzuvchi zona usuli yarim o'tkazgich va dielektriklarning o'ta toza monokristallarini o'stirishda, hamda eritish temperaturasi va erigan holatda kimyoviy aktivligi yuqori bo'lgan materiallarni o'stirishda qo'llaniladi.

Boshlang'ich materialning solishtirma elektr qarshiligiga bog'liq holda erigan zona yuqori chastotali qizdirgich, elektron nurli qizdirgich, fokuslangan nurlar energiyasi kabi manbalar orqali shakllanadi. Ko'proq eritmaning samarali aralashishini ta'minlaydigan yuqori chastotali qizdirgichdan foydalaniladi.

Namuna bo'ylab ertilgan zonani siljitish uchun namuni qizdirish manbaiga nisbatan yoki qizdirish manbai namunaga nisbatan siljiriladi.

Yuqorgi va pastki kristall ushlagichlar qarama qarshi yo'nalishlarda aylantiriladi. Buning natijasida eritma yaxshi aralashadi va kristall silindr shaklida o'sadi.

Tigel'siz ZEUDA erigan zona sirt taranglik kuchlari yordamida ushlab turiladi. Uning shakli gidrostatik bosim va eritmaning sirt taranglik kuchlari nisbatlariga bog'liq bo'ladi. Stabil holatdagi erigan zonaning maksimal balandligi eritma sirt tarangligining uning zichligiga nisbati qancha katta bo'lsa, shuncha katta bo'ladi.

### 3.3. Gaz fazasidan kristallar o'stirish

Gaz fazasidan kristallar bir necha usullar yordamida o'stiriladi. Bu usullarni ikkita guruhga birlashtirish mumkin: a) fizik kondensasiyaga asoslangan usullar; b) kimyoviy reaksiya ishtirok etadigan usullar.

Birinchi guruh usullaridan eng asosiysi sublimasiya-kondensasiya jarayoniga asoslangan usuldir.

Ikkinchi guruh esa gazsimon birikmalarning kristallanish zonasida ajralishi (yoki qaytarilishi) natijasida kimyoviy sintez va kimyoviy transport usullariga asoslangan.

Gaz fazali usullar yordamida eng kerakli elektron texnika materiallarining monokristallari, birinchi navbatda  $A^{II}V^{VI}$ ,  $A^{IV}V^{IV}$ , SiC kabi birikmalar hosil qilinadi.

Gaz fazasidan kristallar o'stirish nisbatan past temperaturalarda, materialning erish temperaturasidan ancha past temperaturalarda o'tkaziladi.

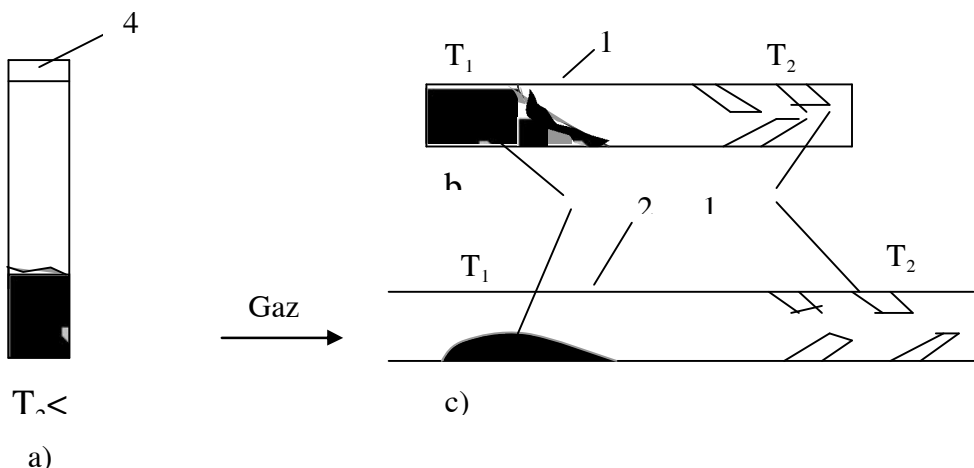
Sublimasiya - kondensasiya usuli (SKU) bilan erish temperaturasidan past temperaturalarda



keraklicha yuqori bug` bosimiga ega bo`lgan moddalarning monokristalli o`stiriladi. Bu jarayonlar yo berk (ba`zi hollarda kvaziberk) yoki oqar tizimlarda o`tkaziladi (3.6-rasm).

Berk tizimni eng oson holda kavsharlangan kvarsli ampulada hosil qilish mumkin (3.6–rasm: a, b). Qiyin eruvchan moddalar uchun korunddan yoki qiyin eruvchan metallardan kavsharlab yasalgan tigellardan foydalaniladi. Agar kristallanayotgan moddaning komponentlari kimyoviy aktiv bo`lsa, unda tigel

grafit, shishauglerod kabi materiallardan nogermetik holda shunday yasaladiki, bunda tigeldan bug`larning chiqib ketishi hisobga



3.6-rasm. SKU yordamida gazli fazadan kristall o`stirish:

a, b – berk tizimlar; c - oqar tizim.

1– konteyner; 2- boshlang`ich modda (shixta); 3 – ommaviy kristallanish zonasi; 4 – monokristall o`stirma

olmaydigan darajada bo`ladi. Bunday tizimlar kvaziberk tizimlar deyiladi.

Berk tizimlarda massa uzatish gazli muhitga bog`liq holda molekulyar oqim (vakuumda) hamda molekulyar yoki konvektiv diffuziya holatdarda amalga oshiriladi.

Oqar tizimlarda kristall o`stirishda boshlang`ich moddaning bug`-larini kristallanish zonasiga inert gaz oqimi olib keladi (3.6–rasm, c).

Kimyoviy reaksiya bilan boradigan kristallash usullari (kimyoviy transport usullari va kimyoviy birikmalarning parchalanishi yoki tiklanishi) erish temperatu-rasidan past temperaturalarda xususiy bug`ining bosimi kichik bo`lgan moddalarda yoki sublimasiya jarayonida stexiometriyasi buziladigan moddalarda qo`llaniladi.

Gaz fazasidan kristallar o`stirishning hamma usullarida kristallar o`z holicha spontan holda hosil bo`ladigan kristallanish markazlaridan (masalan, reaktor devorlarida) (3.6 – rasm: b, c), yoki o`stirmadan foydalanib (3.6 – rasm, a) o`stirilishi mumkin. Spontan kristallanishda hosil bo`ladigan kristallning o`lchamlari kichik bo`lib, ulardan sanoatda foydalanishning samaradorligi kam bo`ladi.

O`stirma yordamida kristallga bug`larni nazoratli o`tqazish bilan o`lchamlari nisbatan katta (diametri 100 mm gacha) bo`lgan, kimyoviy tarkibini va stexiomertiyasini nazorat qilsa bo`ladigan kristallar o`stirish mumkin.

### **3.4. Profilli monokristallar hosil qilish**

#### **3.4.1. Shakllantirishning asosiy prinsiplari**

Yuqorida ko`rsatilgan usullar yordamida kerakli shakldagi va kerakli o`lchamli kristallarni o`stirish mumkin emas. Profillash yordamida o`stirishga shunday usullar kiradiki, bunday usullar bilan eng rasional geometrik shakldagi kristallar o`stiriladi va ular asosida asboblari yaratiladi. Yarim o`tkazgich va dielektriklarning profillangan kristallari quyidagi maqsadlar uchun o`stiriladi:

1). Materiallardan, ayniqsa qimmatbaho noyob materiallardan asboblarni kesib va jilvirlab tayyorlashda yo`qotishlar kamaytiriladi (mexanik qayta ishlovda yo`qotishlar 70-90% ga boradi);

2). Yuqori qattqlikka ega bo`lgan, ishlov berish qiyin bo`lgan materiallarda mexanik qayta ishlovga sarflanadigan mehnat kamaytiriladi;

3). Ular asosida tayyorlanadigan asboblarga qo`yiladigan talablardan kelib chiqib, kerakli elektrofizik va geometrik parametrli kristallar olish (disklar, membranalar, ipsimon va lentali kristallar, silindrik shakldagi kristallar va sh.k.);

4). Materiallar va ular asosida asboblari ishlab chiqarishni avtomatlashtirish va uzluksiz jarayonlarni ishlab chiqish uchun shart-sharoitni yaratish;

5). Materialni rasional sarf qilish oqibatida va profillangan kristallarda paydo bo`ladigan

yangi xossalar asosida uning qo'llaniladigan sohalarni qarab chiqish.

Profillangan kristallarni o'stirish uchun kristallanayotgan moddani shakllantiradigan har xil fizik kimyoviy omillardan foydalaniladi:

- kristallning o'sishini mexanik chegaralash;
- kristallanish tezligining anizotropiyasi;
- kristallanish jarayoniga kapilyar kuch va issiqlik maydonlarining ta'siri.

Profillangan kristallarni qattiq fazali aylanishdan, eritmadan, suyuq qorishmadan va gazli fazadan kristallab o'stirish mumkin.

Gaz va suyuq fazalardan plyonkalarni epitaksial o'stirish monokristall taglikda yupqa kristall qatlamlarning profilli kristallanish jarayoniga misol bo'la oladi.

Profillangan kristallarning eritma meniskini shakllantirish yordamida o'stirishni Stepanov tomonidan taklif qilingan. Bu usulda meniskka shakl berish uchun maxsus shakllantiruvchilar yordamidan foydalanildi. Bunday shakllantiruvchilar suzgich ko'rinishida bo'lib, eritmaning meniski suzgichdagi teshikdan teparoqda bo'ladi va u eritma bilan xo'llanmaydigan materialdan yasaladi.

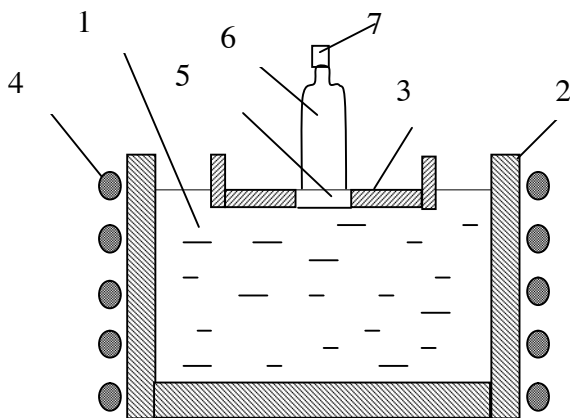
Stepanov usuli yordamida lenta, plastina va boshqa shakldagi monokristallarni o'stirish mumkin.

### **3.4.2. Stepanov usuli bilan profilli kristallar o'stirish texnologiyasining xususiyatlari**

Yupqa plastina shaklida kristallni Stepanov usuli bilan o`stirishda foydalaniladigan oddiy qurilmaning sxemasi 3.7-rasmda ko`rsatilgan.

Bu qurilmada shakllantirgich kesilgan tirqishli suzgich ko`rinishda bo`lib, grafitdan tayyorlangan. Tirqish eritma sathidan 8-9 mm pastda joylashgani uchun eritmaning bosim ostida tirkishdan o`tishi ta`minlanadi. Tirqishning shakli va chuqurligi kristallanish jarayonining turg`unligiga kuchli ta`sir qiladi.

Stepanov usulida profillangan kristallarni o`stirish tezligi 1-10 mm/min ni tashkil qilishi mumkin. Bu usulning kerakli xususiyatlaridan biri o`sayotgan



3.7-rasm. Plastina ko`rinishdagi monokristalni tortib o`stiruvchi qurilmaning sxematik ko`rinishi:  
1-eritma; 2 - tigel; 3 - grafitli suzgich; 4 - yuqori chastotali induktor; 5 - tirqish; 6 – mono-kristall plastinasi; 7- o`stirma

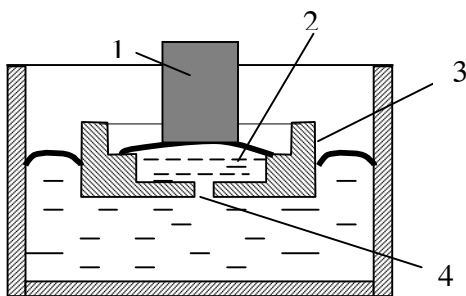
krist  
allning  
tirqish  
devoli  
bilan  
kontaktda  
bo`lmasli  
gidir.  
Kristall  
lentasi  
bilan  
tirqish  
orasidagi  
ochiqlik  
tekislik  
qismida  
10-20

mkm, chekkasida esa 50-100 mkm atrofida bo`ladi.

3.8 – rasmda kvarsdan tayyorlangan suzgichning fasonli chuqurchasidan lentali monokristallni o`stirish sxemasi tasvirlangan. Bunda fasonli chuqurchaga eritma kapillyar teshik orqali o`tdi. Bu esa suzgichdagi eritma atomlarining tigelga diffuziyali uzatilish jarayonini yo`q qilish imkoniyatini beradi.

3.9-rasmda tigelning tubidagi tor teshikcha orqali Stepanov usuli bilan yarim o`tkazgichli monokristallar o`stirish sxemasi tasvirlangan. Bunda kristallanuvchi tomchi o`sayotgan kristall va tigel o`rtasidagi sirt taranglik kuchlari bilan ushlab turiladi.

Stepanov usuli bilan germaniy kristallini o`stirishda shakllantiruvchilar ko`pincha grafitdan tayyorlanadi. Grafit germaniy eritmasi bilan ho`llanmaydi va u yarim o`tkazgich darajasidagi tozalikda bo`lganligi sababli o`sayotgan kristallarni ifloslantirmaydi. Germaniyning profillangan monokristallarini o`stirishda shakl beruvchilar sirtiga qurumning yupqa qatlami surtilgan kvarsdan ham tayyorlanishi mumkin.



3.8-rasm. Kapillyar kanalli suzuvchi tigelning fasonli o`yma orqali ma`lum shakldagi monokristal o`stirish qurilmasining sxemasi: 1 - lenta ko`rinishda tortib o`stirilayotgan monokristall; 2 - eritma; 3 - suzuvchi

3.9-rasm. Yarim o`tkazgichli monokristallar o`stirish sxemasi: 1 - monokristal; 2 - eritma; 3 - suzuvchi; 4 - tor teshikcha

Kremniyning profillangan monokristallarini o`stirishda shakl beruvchilar uchun materiallar tanlash ancha murakkab muammodir, chunki kremniy erish temperaturasida yuqori kimyoviy aktivlikka ega bo`ladi. Shu sababli sinab ko`rilgan ko`p materiallarning orasidan faqat nitrit bordan tayyorlangan shakl beruvchilarda qoniqarli natijalarga erishildi. Eni 35 mm gacha va qalinligi 2,5 mm gacha bo`lgan lentasimon kremniy argon atmosferasida yoki vakuumda 2 mm/min tezlik bilan o`stiriladi.

Hozirgi davrda germaniy va sapfirning profillangan monokristallarini o`stirishda eng katta muvaffaqiyatlarga erishildi. Stepanov usuli bilan germaniy va sapfirning monokristallari plastina, kvadrat qirqimli bo`lgan ingichka lentalar, silindr, trubacha va hokazo shakllarda o`stirilmoqda. Ayniqsa sapfirning kristallarini o`stirishda bitta murtakdan shakl beruvchining tirqishidan bir paytning o`zida eni 100 mm bo`lgan ettita plastina o`stirilmoqda. Bu plastinalar mikroelektronika uchun kremniy asosida epitaksial qatlamlar o`stirishda keng qo`llanilmoqda.

### **3.5. Monokristall o`stirishda texnologik jarayonlarni boshqarish**

Kristallarni o`stirish ko`p omilli murakkab jarayon bo`lib, uning parametrlari o`stirilayotgan monokristallning materialiga va o`stirish usuliga bog`liq bo`ladi. O`stirilayotgan kristallning sifati uning kristall strukturasi mukammalligiga, dislokasiyaning borligiga va zichligiga, termoelastik kuchlanishlarga, solishtirma qarshilikning bir hilligiga, kirishmalarning ko`ndalang kesim va uzunlik bo`yicha bir hil taqsimlanganligiga bog`liq bo`ladi. Sifatli monokristall olish uchun texnologik rejimlar mukammal bo`lgan nazorat va boshqaruvchi qurilmalar yordamida aniq ushlab turiladi. Hozirgi davrda avtomatlashtirilgan boshqarish tizimlarini yaratish maqsadida texnologik jarayonlarni nazorat qilish va boshqarish sohalaridagi eng katta yutuqlar eritmadan kristallarni o`stirish usullari uchun erishilgan.

Monokristallarni hosil qilish usullaridan qat`iy nazar texnologik jarayon va kristall – eritma tizimi parametrlarini nazorat qilish usullari alohida ajratiladi. Kristallarni olish usuliga bog`liq holda texnologik jarayonlarning parametrlariga kristall va tigelning aylanish tezliklari, kristallni tortish tezligi va erigan zonaning o`tishi, qayiqchani tortish tezligi, qizdirgichning va atrof muhitning (kristallash kamerasi-ning ichki hajmi) temperaturasi, kamera devorini va murtakni



sovituvchi suvning bosimi va o'tish tezligi, va hokazolar.

Kristall – eritma tizimining parametrlariga eritma va kristallning temperaturasi va ulardagi temperatura gradientlari, konvektiv oqimlar hosil qilayotgan eritmadagi tezliklar maydoni, meniskning shakli va balandligi, eritilgan zonaning balandligi va shakli, kristallanish frontining shakli, o'sayotgan kristallning diametri va shu kabilar kiradi.

O'sayotgan kristallning sifatini boshqarish uchun kristall - eritma tizimidagi parametrlarning nazorati asosiy ahamiyatga ega. O'sayotgan kristallning diametrini nazorat qilishda Stepanov usulidagi shakl beruvchilardan, telekameralardan, rentgen qurilmalardan va tortuvchi moslamalardan foydalaniladi. Meniskning balandligini nazorat qilishda fotopirometr, lazerli lokatsiya kabi usullardan foydalaniladi.

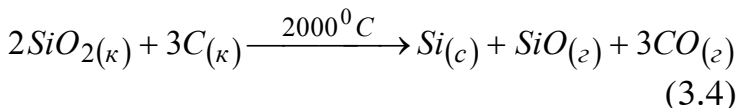
### **3.6. Asosiy monokristalli materiallar texnologiyasi**

#### **3.6.1. Kremniy monokristallini hosil qilish texnologiyasi**

Yarim o'tkazgichli kremniy monokristallini hosil qilish texnologiyasi quyidagi asosiy bosqichlardan tashkil topadi: 1) texnik kremniy olish; 2) texnik kremniyni oson qaytariladigan uchuvchan birikmaga aylantirish; 3) birikmani tozalash va qaytarish hamda undan kremniyning

polikristall sterjenlarini hosil qilish; 4) kristallash usuli bilan kremniyni yakuniy tozalash (tigelsiz zonali eritish); 5) legirlangan monokristallarni o`stirish (Choxral`skiy usuli bilan).

3.10-rasmda kremniy ishlab chiqarish asosiy bosqichlarining sxemasi keltirilgan. Texnik kremniy olish uchun kremniy dioksidi ( $\text{SiO}_2$ ) uglerod (S) bilan qaytariladi. Bu jarayon elektr yoyli pechlarda grafitli elektrodlar yordamida o`tkaziladi. Pech eng toza navli kvars qumi va ko`mir, koks va yog`och payraqasi ko`rinishidagi uglerod aralashmasi bilan to`ldiriladi. Elektr tokining ta`sirida bu aralashma  $2000^\circ\text{C}$  gacha qizdiriladi va natijada umumiy ko`rinishi quyidagicha bo`lgan reaksiya ketadi:



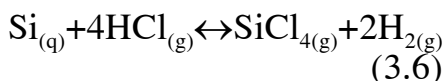
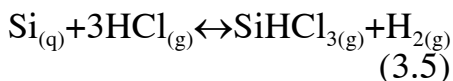
Bunday yo`l bilan hosil qilingan texnik kremniyning tarkibi:  $98 \div 99\%$  Si,  $1 \div 2\%$  (Fe, Al, B, P, Ca, Cr, Cu, Mg, Mn, Ni, Ti, V va boshqalar) dan iborat bo`ladi.

Polikristall kremniy olishning zamonaviy texnologiyasi trixlorsi-lanni vodorod bilan qaytarilishiga, kremniy tetraxloridini rux bilan qaytarilishiga va monosilanni piroliz qilishga asoslangan. Kremniyning 80% ga yaqini trixlorsilanni (TXS) vodorod bilan qaytarish (tiklash) yo`li bilan olinadi. Bu jarayon quyidagi afzalliklarga ega: TXS hosil qilishning osonligi va tejamkorligi, TXSni tozalashning samaradorligi, kremniyni ajratib olish va o`tqizish tezligining

yuqoriligi (kremniy tetraxlorididan foydalanilganda kremniyning ajralishi 15%ni, TXSdan foydalanilganda esa eng kami bilan 30%ni tashkil qiladi), mahsulot tannarxining kamligi.

Trixlorosilan kremniyni gidroxlorlash yo`li bilan hosil qilinadi: bunda texnik kremniy  $260^{\circ}\div 400^{\circ}\text{C}$  temperaturada xlorid kislotasi bilan ta`sir ettiriladi.

Kremniyning xlorosilanlarini olish reaksiyalari qaytariluvchan va ekzotermik bo`ladi:

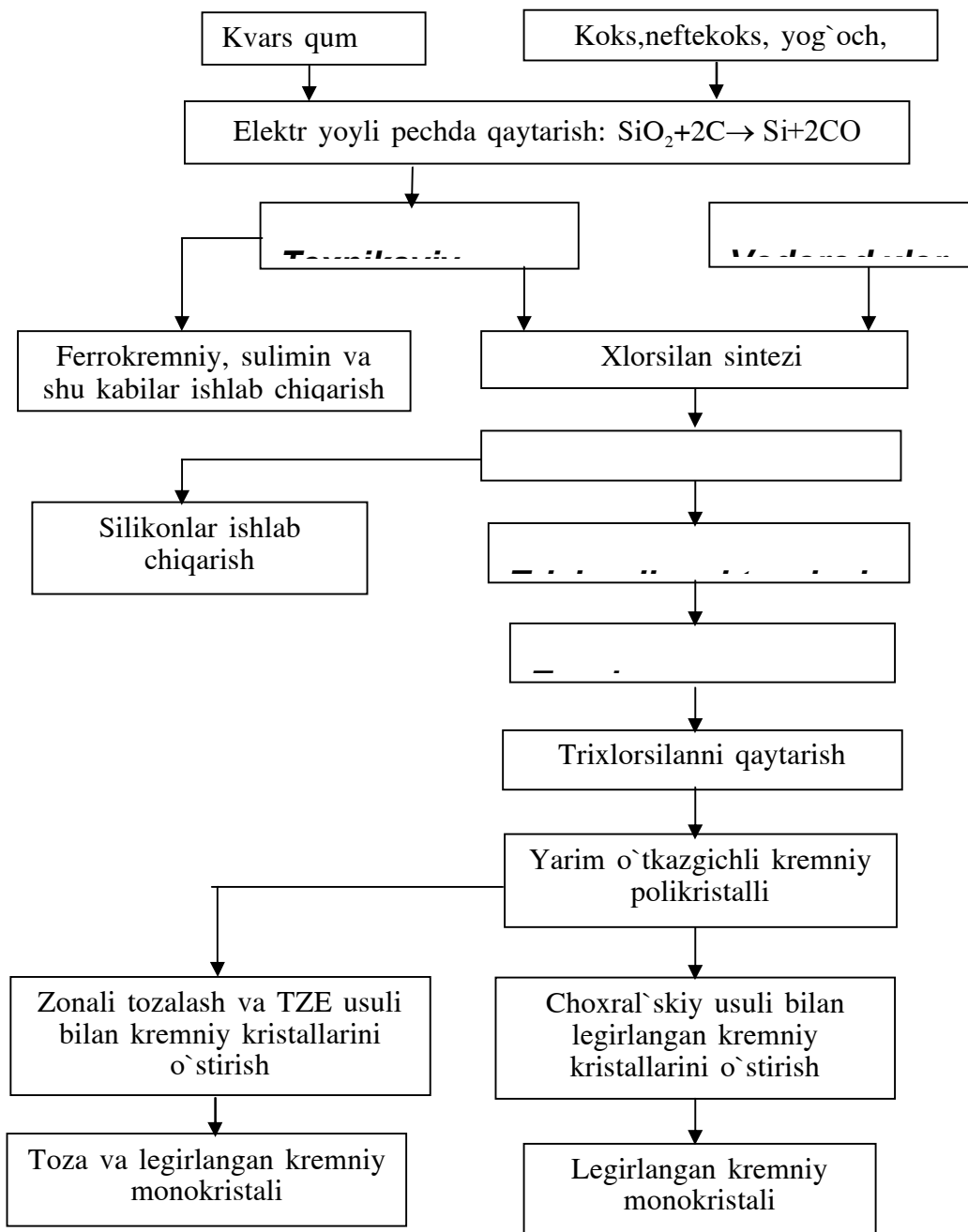


$300^{\circ}\text{C}$  dan yuqori bo`lgan temperaturada o`tkazilgan reaksiya mahsulotlarida TXS bo`lmaydi. TXSning chiqish miqdorini oshirish uchun jarayonning temperaturasi kamaytiriladi. Bu esa (3.6) reaksiyaning tezligini anchaga sekinlashtiradi. (3.5) reaksiyaning tezligini oshirish uchun katalizatorlardan (mis, temir, alyuminiy va boshqalar) foydalaniladi. Masalan, boshlang`ich kremniyga 5% gacha mis kiritilsa reaksiya mahsulotlarida  $265^{\circ}\text{C}$  temperaturada TXSning miqdori 95% ga etadi.

TXSning sintezi «qaynovchi» qatlamli reaktorda olib boriladi. Bunda zarrachalarining o`lchamlari 0,01 – 1 mm bo`lgan texnik

kremniyning kukuni uzluksiz ravishda tepadan berib turiladi.

TXS sintezi jarayonida hosil bo'lgan bug'simon aralashma sovutish zonasiga o'tadi va u bu erda tezda  $40-130^{\circ}\text{S}$  gacha sovutiladi. Natijada har xil kirishmalarning qattiq zarrachalari (temir, alyuminiy va boshqa xloridlar) chang ko'rinishda ajraladi va reaksiyaga kirishmay qolgan kremniy hamda polixloridlar ( $\text{Si}_n \text{Cl}_{2n+2}$ ) bilan birgalikda fil'trlar yordamida ajratib olinadi.



Changdan tozalangan silitsiydan so'ng bug' gazli

3.10-rasm. Yarim o'tkazgichli kremniyni ishlab chiqarishning texnologik sxemasi

aralashma  $-70^{\circ}\text{S}$  da kondensasiya qilinadi. Bunda TXS  $\text{SiHCl}_3$  va tetraxlorsilan  $\text{SiCl}_4$  (qaynash temperaturalarini mos holda  $31,8$  va  $57,2^{\circ}\text{C}$ ) vodoroddan va  $\text{HCl}$ dan (qaynash temperaturasi  $84^{\circ}\text{C}$ ) ajratiladi. Kondensasiya natijasida olingan aralashma asosan  $90 - 95\%$  gacha TXSdan tashkil topadi. Qolganlari kremniyning tetraxloridi bo`lib, u rektifikasiya usuli yordamida ajratiladi.

Hosil qilingan TXSda katta miqdorda aralashmalar mavjud bo`lib, bulardan tozalash o`ta murakkab jarayondir. Tozalashning rektifikasiya usuli eng samarador usul hisoblanadi, lekin bu usul bilan hamma kirishmalardan tozalab bo`lmaydi. Shu sababli chuqurroq tozalash uchun qo`shimcha tadbirlardan foydalaniladi. Masalan, kristallizasiya usullari bilan TXSni bor, fosfor, ugleroddan kerakli tozalash qiyin. Tozalashning effektivligini oshirish uchun bu mikroaralashmalar uchmaydigan yoki kompleksli birikmalarga aylantiriladi. Bordan tozalash uchun, masalan, TXS bug`lari  $120^{\circ}\text{C}$  da alyuminiy payrahasi orqali o`tkaziladi. Payrahaning sirti borni yutib, TXSni bordan butunlay tozalaydi. Alyuminiydan tashqari kumush, mis yoki sur`madan ham foydalanish mumkin.

Fosfordan tozalash uchun TXS xlor bilan to`yintirilib fosforuchloridi pentaxloridga aylantiriladi. Qorishmaga alyuminiy xloridi qo`shilganidan so`ng uchmaydigan birikma  $\text{PCl}_5 \cdot \text{AlCl}_3$  hosil bo`ladi. U esa rektifikatsiya bilan chiqarib yuboriladi.

Tozalangandan so`ng TXSda mikrokirishmalarning qoldiq miqdorlari massa bo`yicha: bor uchun -  $3 \cdot 10^{-8}$ , fosfor uchun -  $1 \cdot 10^{-7}$ , mish`yak uchun -  $5 \cdot 10^{-10}$ , uglerod uchun (uglevodorodlar ko`rinishida) -  $5 \cdot 10^{-7}$  % dan oshiq bo`lmasligi kerak.

Namunalarni elektr o`lchashda donorlarning qoldiq miqdori n-turli kremniylarda solishtirma qarshilikning 5000 Om·sm dan, p-turli kristallarda akseptorlarning qoldiq miqdori esa 8000 Om·sm dan kam bo`lmasligini ta`minlashi kerak.

Yuqori tozalikdagi kremniyni olish uchun polikristall sterjenlar vakuumda zonali eritish usuli yordamida kristallizatsiyali tozalashdan o`tkaziladi.

Kremniy monokristallarini ishlab chiqarish asosan Choxral`skiy usuli bilan (elektron sanoati talabining 80 - 90% ga yaqini) va kamroq miqdorda tigelsiz zonali eritish usuli bilan amalga oshiriladi.

Kremniy monokristallarini Choxral`skiy usuli bilan o`stirish kirishmalardan maxsus tozalangan argon oqimida  $\sim 10^4$  Pa past bosimda amalga oshiriladi. Past bosimda o`stirilganda kremniy eritmasidan uchuvchan kirishmalarning uchib chiqib ketishi osonlashadi.

Kerakli solishtirma qarshilikli n - yoki p - turli monokristall hosil qilish uchun boshlang`ich polikristall kremniy yoki eritma mos holda legirlanadi. Qozonga solinadigan polikremniyga mos elementlar (P, B, As, Sb va boshqalar) yoki

ularning kremniy bilan qotishmasi kiritiladi. Bu esa legirlashning aniqligini oshiradi.

Choxral'skiy usuli bilan hosil qilinadigan kremniy monokristal-larining asosiy qismi integral mikrosxemalar ishlab chiqarishda foydalaniladi, ozgina qismi (2 %) quyosh elementlarini tayyorlashga sarf bo`ladi.

Tigelsiz zonali eritish usuli bilan kremniy kristallarini o`stirish ichki diametri boshlang`ich polikristall sterjeni va kristalldan kichik bo`lgan bir o`ramli induktor asosida amalga oshiriladi. Hozirgi zamonaviy tizimlarning deyarli hammasida induktor stasionar holatda bo`ladi, polikristall sterjen va o`sayotgan kristall esa siljiriladi. Tigelsiz zonali eritish usulida kristallarni o`stirish tezligi Choxral'skiy usuliga qaraganda ikki marta katta, lekin texnik qiyinchilik sababli kremniy kristalining diametri (~150 mm) Choxral'skiy usuli bilan olinadigan kristall diametridan kichik bo`ladi.

Tigelsiz zonali eritish usuli bilan olinadigan kremniy monokristallari ishlab chiqarilayotgan kremniy monokristallari umumiy hajmining 10 % ni tashkil qilib, asosan diskret asboblari, ayniqsa katta quvvatli tiristorlar tayyorlash uchun sarflanadi.

### **3.6.2. Galliy arsenidi monokristallarini hosil qilish texnologiyasi**

Texnologik siklning birinchi bosqichida galliy arsenidi – GaAs ning polikristali galliy va mish`yak komponentlarining qotishmasi holida



sintez qilinadi. Bunda galliy eritmasi mish`yak bug`i bilan ta`sir ettiriladi. Ko`pincha arsenid galliyning sintezi natijasida hosil qilinadigan polikristallni monokristallga aylantirish bitta texnologik qurilmada amalga oshiriladi. Mish`yak komponenti oson uchuvchan bo`lgani uchun galliy va mish`yakni bir-biriga himoya qatlami ostida eritilgan holatda qo`shiladi. Himoyalovchi qatlam quyidagi talablarni qanoatlanti-rishi kerak: GaAs ning erish temperaturasi kimyoviy barqarorlik; GaAs ga qaraganda zichligi kam; GaAs eritmasi bilan aralashmaslik; unda mish`yak bug`larining erimasligi; kristallni o`stirishda monokristallning murtakdan o`sish jarayonini nazorat qilish uchun bu qatlam shiffof bo`lishi. Bu talablarning ko`pchiligiga bor oksidi -  $B_2O_3$  (yumshash temperaturasi  $600^{\circ}C$ ) asosidagi himoya qatlami javob bera oladi. Biroq  $820^{\circ}C$  da eriydigan mish`yak kuchsiz bo`lsa ham  $B_2O_3$  da eriydi. Bu esa mish`yakning isrof bo`lishiga sabab bo`ladi. Bu isrofni kamaytirish uchun himoya qatlamining ustida inert gazining yuqori bosimi hosil qilinadi.

Kvarsli tigelga Ga va As aralashmasi solinadi. Bunda mish`yak sintez paytida bug`lanish natijasida isrof bo`lishini kompensasiyalash uchun stexiometriyaga nisbatan ortiqcharok qilib olinadi. Aralashma bor oksidi -  $B_2O_3$  bo`lakchalari bilan berkitiladi. Bu bo`lakchalar  $600^{\circ}S$  da erib, qalinligi 20-40 mm li qatlam hosil qiladi.

Tigel`  $820-850^{\circ}C$  temperaturada, yuqori bosim kamerasida (6 MPa), inert gaz

atmosferasida qizdiriladi. Buning natijasida mish`yak - As (erish temperaturasi 817°S) va galliy - Ga (erish teperaturasi - 30°C) erib komponentlarning suyuq aralashmasini hosil qiladi va GaAs sintezining ekzotermik reaksiyasi boshlanadi. Bunda hosil bo`lgan temperatura GaAs ning erish nuqtasidan birmuncha yuqoriroq bo`ladi (GaAsning erish temperaturasi - 1238°C). Sintez jarayoni sintez reaksiyasining tugallanishi va eritmaning gomogenlashishini ta`minlaydigan vaqt mobaynida o`tkaziladi.

Eritma sovutilgandan so`ng GaAs ning polikristali hosil bo`ladi va uni Choxral`skiy usuli yordamida monokristallga aylantiriladi.

Sintez jarayonida eritmani ushlab turish vaqti  $\tau$  eritmaga mish`yakning diffuziyasi bilan chegaralanadi va quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$\tau = 2,3V \lg \left[ \frac{(C_s^* - C_s)}{(C_s^* - C_s^o)} \right] / (s_e K_{sg}) \quad (3.7)$$

bu erda  $V$  - sintez qilinayotgan eritmaning hajmi;  $C_s^*, C_s^o, C_s$  - mish`yakning eritmada mos holda muvozanatli, boshlang`ich va ayni paytdagi konsentratsiyalari;  $s_e$  - eritmaning bug`li faza bilan kontakt yuzasi;  $K_{sg}$  - mish`yakning bug`lanish (ta`sirlashish) koeffitsienti.

Sintez jarayoni tugaganidan so`ng eritma sovutiladi, natijada arsenid galliyning polikristall quymasi hosil bo`ladi

Arsenid galliy monokristallarini hosil qilishning asosiy usuli bo`lgan Choxral`skiy usuli

bilan doiraviy qirqim diametri 75 mm bo'lgan dislokasiyasiz arsenid galliy monokristallari hosil qilinadi. Bunda kristallar  $B_2O_3$  himoya qatlami tagidan GaAs polikristali eritmasidan tortib o'stiriladi. Jarayon argon yoki azot atmosferasida  $(2\div 6)\cdot 10^6$  Pa gacha bo'lgan bosimda o'tkaziladi. O'stirilayotgan kristallning bir jinsliligini ta'minlash uchun eritmaga vertikal magnit maydoni ta'sir ettiriladi. Kristall hosil qilishdagi umumiy sharoitlar: o'stirish tezligi 3 - 9 mm/soat; kristallni va tigelni aylantirish tezliklari mos holda 6 ayl/minut va 15 - 30 ayl/minut;  $B_2O_3$  qatlamdagi temperatura gradienti 100 - 150 grad/sm.

GaAs asosida integral mikrosxemalar ishlab chiqarishda yarim izolyasiyalovchi kristallar hosil qilish amaliy ahamiyatga ega. Buning uchun kristallar o'sish jarayonida taqiqlangan zonada chuqur joylashgan akseptor sathlarini beruvchi xrom bilan  $5\cdot 10^{15}$   $sm^{-3}$  gacha legirlanadi hamda salgina mish`yak bilan boyitilgan eritma yoki stexiometriyali eritmadan toza kristallar o'stiriladi. Bunday o'stirilgan kristallarning solishtirma qarshiligi  $10^9$  Om·sm ga etadi.

### **3.7. Nokristall materiallar texnologiyasi**

#### **3.7.1. Shishasimon holat va uning xossalari**

Kimyoviy birikmalarning har xil organik va noorganik sinflariga tegishli bo'lgan moddalar shishasimon holatda bo'lishi mumkin. Shisha hosil

qilish usullarining mukammallashib borishi bilan bunday materiallarning soni ortib bormoqda.

Organik shishalarga poliakrilatlar, polikarbonatlar, polistirol, vinilxloridning metilmetakrilat bilan qo'shma polimerlari kabi organik polimerlarning shishasimon holatdagilari misol bo'ladi.

Elektron texnikada noorganik birikmalar asosidagi shishalar eng ko'p ishlatiladi. Bu shishalar quyidagi sinflarga bo'linadi: elementar (oddiy), galogenli, xalkogenli, oksidli, metalli, sul'fatli, nitratli, karbonadli va hokazolar.

Bitta elementning atomlaridan tashkil topgan shishalar elementar shishalar deyiladi. Faqat ozgina sondagi elementlarninggina shishasimon holati hosil qilingan. Bularga oltingugurt - S, selen - Se, mish'yak - As, fosfor -P va uglerod - C elementlari kiradi.

Shishasimon oltingugurt va selen - eritmalarini tezlik bilan sovutish orqali, shishasimon mish'yak - vakuumda sublimasiyalash usuli bilan, shishasimon fosfor - 100 MPa dan yuqori bosimda 250 °C da qizdirish bilan, shishasimon uglerod - organik smolalarni uzoq vaqt piroliz qilish natijasida hosil qilinadi.

Galogenid shishalar deb galogenlar asosida tashkil topgan shishalarga aytiladi. Bularning ichidan shisha xosil qiluvchi BeF<sub>2</sub> birikmasi asosidagi shishalar ko'proq qo'llanilmoqda.

Xalkogenidli shishalar deb ataladigan shishalar quyidagi birik-malar ko'rinishida bo'lgan kislorodsiz tizimlar asosida hosil

qilinadi: As-X, Gt-As-X, Ge-Sb-X, Ge-P-X va boshqalar. Bu erda  $X = S, Se, Te$ .

Oksidli shishalar eng keng sinfli birikmalardan tashkil topadi. Bunda quyidagi oksidlar oson shisha hosil qiluvchi oksidlar hisoblanadi:  $SiO_2$ ,  $B_2O_3$ ,  $P_2O_5$ ,  $As_2O_3$ . Oksidlarning katta guruhi –  $TeO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $SeO_2$ ,  $MoO_3$ ,  $WO_3$ ,  $Bi_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Ga_2O_3$ ,  $V_2O_5$  lar boshqa oksidlar va oksid aralashmalari bilan eritilganda shisha hosil qiladi. Masalan, quyidagi tizimlarda shisha oson hosil bo`ladi:  $SaO - Al_2O_3$ ,  $SaO - Al_2O_3 - B_2O_3$ ,  $P_2O_5 - V_2O_5$ ,  $Me_mO_n - P_2O_5 - V_2O_5$ , bu erda  $Me_mO_n$  – har xil modifikasiyalovchi oksidlar. Shunday qilib, shisha hosil qiluvchi oksidning turiga qarab shishalar quyidagi sinflarga bo`linadi: silikatli, boratli, fosfatli, germanatli, telluritli, alyuminatli va shu kabilar.

Sanoatda ishlab chiqariladigan shishalarning tarkibi kamida 5ta komponentdan, maxsus va optik shishalar esa 10ta komponentdan tashkil topadi. Shishalarning tarkibini o`zgartirib, ularning xossalarini kerakli tomonga, hoxlagancha o`zgartirish mumkin.

Shishalarning qotish va erish jarayonlari, kristallardan farq qilib, ma`lum bir temperatura oraliqida sekin - asta yuz beradi, ya`ni shishalarda aniq bir qotish yoki erish temperaturasi bo`lmaydi. Shisha pishirish jarayonida eritma suyuq holatdan avval plastik holatga keyin qattiq holatga o`tadi. Teskari jarayonda esa (shishaning yumshatilishida) shisha avval qattiq holatdan plastik holatga,

yuqoriroq temperaturalarda esa suyuq holatga o'tadi. Shishalarning qotish yoki erish jarayonlari ma'lum bir temperatura oralig'ida yuz beradi. Bu interval shishalanish intervali deyiladi. U ikkita temperatura bilan chegaralangan: yuqori temperatura tomondan yumshash temperaturasi -  $T_f$  (f- Flussigkeit-suyuqlik) bilan; past temperatura tomondan - shishalanish temperaturasi -  $T_g$  (g- Glas - shisha) bilan (3.11-rasm). Shisha temperatura sohasiga bog'liq holda har xil xossalarga ega bo'lgan uchta holatda bo'lish mumkin:  $T_f$  dan yuqorida qovushqoqli suyuq holatda,  $T_f$  -  $T_g$  yumshash intervalida plastik holatda va  $T_g$  dan past temperaturalarda qattiq (mo'rt) holatda.  $T_f$  temperaturalarda shisha massadan ingichka iplarni tortish mumkin bo'ladi. Eng zarur shisha hosil qiluvchi moddalarning asosiy texnologik hossalari 3.3 - jadvalda keltirilgan.

3.3-jadval

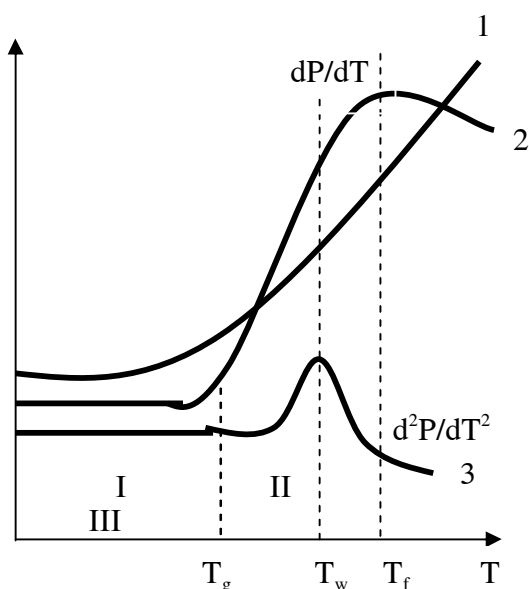
| Modda                   | Yumshash temperaturasi, K | Shishalanish temperaturasi, K | Erish ental'piyasi, KJ/mol |
|-------------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| $\text{SiO}_2$          | 1995                      | 1495                          | 8                          |
| $\text{GeO}_2$          | 1389                      | 853                           | 17,2                       |
| $\text{B}_2\text{O}_3$  | 723                       | 550                           | 23                         |
| $\text{P}_2\text{O}_3$  | 853                       | 537                           | 71                         |
| $\text{As}_2\text{O}_3$ | 585                       | 420                           | 18,7                       |
| $\text{BeF}_2$          | 823                       | 523                           | 41,2                       |
| Se                      | 493                       | 305                           | 6,2                        |
| $\text{P}_4\text{Se}_4$ | 603                       | 455                           | -                          |

Kristall moddalarning erishidan (yoki eritmaning kristallanishidan) farqli ravishda shishaning yumshash (yoki shishamassaning qotish) jarayonlari bir fazali bo`ladi. Shishalanish intervalida shishaning yumshashi suyuq faza xosil bo`lmasdan yuz beradi.

Mana shularga asosan shishalanish intervalida shisha hossalarning o`zgarish xarakteriga ko`ra ular uchta guruhga bo`linadi.

Birinchi guruhga modda holatlarining funksiyalarini ifodalay-digan (ichki energiya, molli hajm, entalpiya, entropiya)  $P$  ning hossalari kiradi. Bu hossalari temperatura ortishi bilan tekis o`zgaradi (3.11-rasm, 1 - egri chiziq) .

Shishaning ikkinchi guruhga kiradigan hossalari  $P$  holat funksiyasining temperatura bo`yicha olingan birinchi hosilasi  $dP/dT$  (chiziqli va hajmiy termik kengayish koeffisientlari, issiqlik sig`imi) bo`lib,  $T_f$  nuqtada egilishga ega (3.11-rasm, 2-egri chiziq). Uchinchi guruhga kiradigan xossalari (issiqlik o`tkazuvchanlik, dielektrik yo`qotishlar)  $P$  dan temperatura bo`yicha olingan ikkinchi hosila bo`lib,  $T_w$  nuqtada maksimum yoki minimumga ega bo`ladi.



3.11-rasm. Shishaning ( $R$ ) va uning hosilalari hossalarning shishalanish intervalida temperaturaga bogʻlanishlari:

I – qattiq holat; II – plastik holat;

III- suyuq (eritma) holat

Bularda  
n  
tashqari,  
shishani  
ng  
xarakter  
stik  
parametr  
lariga  
shishani  
ng  
tarkibiga  
bogʻliq  
boʻlgan  
 $T_g$ ,  $T_f$   
temperat  
uralari,

hamda shisha-lanish intervali ( $T_g - T_f$ ) kiradi. Shishalanish temperaturasi  $T_g$  ga shisha massaning  $10^{12}$ - $10^{13}$  Pa·s qovushqoqligi,  $T_f$  temperaturaga esa  $10^8$  Pa·s qovushqoqlik mos keladi.

### 3.7.2. Shisha pishirishning fizik-kimyoviy asoslari

Elektron texnikaning eng kerakli materiallaridan biri boʻlgan oksidli shisha pishirish jarayonlarini koʻrib chiqamiz.

Shisha va eritmalarining qovushqoqligi va sirt tarangligi. Qovush-qoqlikning temperaturaviy



bogʻlanishi eng zarur texnologik xarakteristika boʻlib, shisha texnologiyasi asosiy bosqichlarining parametrlarini belgilab beradi: shisha hosil boʻlish, shishamassaning gomogenlashuvi va tiniqlashuvi, buyumlarga shakl berish, ularni kuydirish yoki toblash va hokazolar. Shishaning qovushqoqligi temperaturaga bogʻliq holda juda keng qiymatlarda oʻzgaradi: eritma holatdagi 10 Pa·s dan qattiq holatdagi  $10^{19}$  Pa·s gacha. Oksidli shishalar qovushqoqligining temperaturaviy bogʻlanishi 3.12-rasmda koʻrsatilgan. Past temperaturalarda ( $T_g$  gacha) qovushqoqlik juda kam oʻzgaradi. qovushqoqlikning keskin kamayishi  $10^{15} - 10^7$  intervalida yuz beradi.

Eritma holatdagi shishalarning temperaturaviy bogʻlanishi ( $T_f$  dan yuqori temperatura sohalarida) taxminan quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

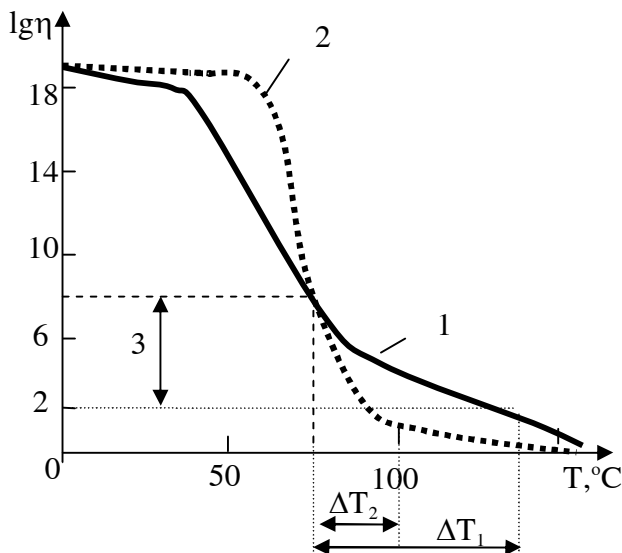
$$\eta = A \exp [E_{\eta} / (RT)] , \quad (3.8)$$

bu erda  $\eta$  - dinamik qovushqoqlik koeffisienti;  $A$  – kons-tanta ( $10^{-4} - 10^{-5}$  Pa·s) moddaning kimyoviy tabiatiga bogʻliq boʻlib, Eynshteyn tenglamasidan hisoblanishi mumkin:  $A = Nh/V$  (bu erda  $N$  – Avogadro soni;  $h$  – Plank doimiysi;  $V$  – molli hajm);  $E_{\eta}$  - aktivlash energiyasi (oksidli shishalar uchun 80 – 630 kDj/mol) boʻlib, tortishish kuchlarini engish va undan keyingi zarracha-larning siljish jarayonlaridan kelib chiqadi va temperaturaga bogʻliq boʻladi, hamda taxminan quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$E_{\eta} = E_0 / T, \quad (3.9)$$

bu erda  $E_0$  – element-kislorod bog'ning mustahkamligiga proporsional bo'lgan kattalik.

Shakl berishning temperaturaviy oraliqida qovushqoqlikning o'zgarish xarakteri bo'yicha



3.12-rasm. Oksidli shishalar qovushqoqligining temperaturaga bog'lanish grafiklari:

1,2 – uzun va qisqa shishalarning dinamik qovushqoqliklari; 3- shakl berishning qovushqoqlik intervali ( $\Delta T_1$ ,  $\Delta T_2$  – shakl berishning temperaturaviy intervallari)

shishalar qisqa va uzun shishalariga bo'linadi (3.12-rasm). Shisha massa qovushqoqligining  $10^2$ - $10^8$

Pa-s oralig'ida shisha

buyumlar tayyorlash mumkin bo'ladi. Qovushqoqlikning bu diapazoniga shisha massaning tarkibiga bog'liq holda o'zining shakl berish temperatura oralig'i mos keladi. Shakl berish temperatura intervali nisbatan kichik

boʻlgan ( $\sim 100 - 150^{\circ}\text{C}$ ) shisha massa qisqa, intervali katta ( $\sim 250-500^{\circ}\text{C}$ ) boʻlganlarini esa uzun deyiladi. Uzun shishalar uchun shakl berish rejimini ishlab chiqish qisqa shishalarga qaraganda ancha oson.

Shishalarning qovushqoqligi zarrachalar orasidagi kimyoviy bogʻlarning mustahkamligiga bogʻliq boʻlib, ular oʻz navbatida zarrachaning turiga bogʻliq boʻladi. Silikat shishalar ichida kvars shisha bir xil temperaturaviy sharoitda eng katta qovushqoqlikka ega. Uning tarkibiga ishqoriy metallarning oksidlari kiritilishi bilan hosil boʻladigan binar ishqoriy – silikat shishaning qovushqoqligi keskin kamayib ketadi (3.4-jadval).

3.4 - jadval

| Tarkib                                         | $\text{SiO}_2$ | $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$ | $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ |
|------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|
| $\eta$ , Pa·s<br>(1400 $^{\circ}\text{S}$ da ) | $10^9$         | 28                                        | 0,16                                     |

Oson eruvchan, qovushqoqligi kichik boʻlgan glazurlar tayyorlash uchun glazur tarkibiga ftor, bariy, qoʻrgʻoshin birikmalari qoʻshiladi.

**Shisha ishlab chiqarish uchun xomashyoviy materiallar.** Shisha ishlab chiqarishda xomashyo sifatida qoʻllaniladigan materiallar texnologik belgi boʻyicha ikki guruhga boʻlinadi: asosiy va yordamchi.

Asosiy materiallarga shishaning asosini tashkil etuvchi va uning xossalarini belgilovchi materiallar kiradi.

Yordamchi materiallar shishaning hossalari har tomonga o'zgartirish imkoniyatini beradigan va pishirishni tezlashtiradigan komponentlarni o'z ichiga oladi. Bularga rang beruvchi, tiniqsizlantiruvchi, tiniqlantiruvchi, rang ketkazuvchi, oksidlovchi, qaytaruvchi, tezlatuvchi va shunga o'xshash materiallar kiradi.

Materiallar kelib chiqishi jihatidan tabiiy va sintetik materiallarga bo'linadi. Sintetik materiallar tabiiy materiallarga qaraganda ancha toza hisoblanadi. Xomashyo materiallarining sifatiga (kimyoviy tarkib, kirishmalar, disperslik va boshqalar) qo'yiladigan talablar shisha mahsulotlarning turiga va qaerda ishlatilishiga bog'liq bo'ladi. Elektron texnikada qo'llaniladigan shishalar ishlab chiqarish uchun (mikroelektronikada qatlamlararo izolyasiyalash, germetiklovchi kompaund-lar, rezistor va kondensatorlarning komponentlari, elektromagnit, optik, lazer nurlanish-larning sezgir datchiklari va boshqalar uchun) kerak bo'ladigan xomashyoga qo'yiladigan talablar tayyor shisha mahsulotning sifatiga qo'yiladigan talablar bilan aniqlanadi.

Shisha sanoatida har xil shisha mahsulotlar tayyorlashda kremniy dioksidi uchun material sifatida kvars qumi, maydalangan qum, kvarsit va tolali kvars kabilardan foydalaniladi. Bunda tozalik darajasi bo'yicha qumning 15 markasi ishlatiladi. Elektron texnikada xomashyolarning

tozaligiga boʻlgan talab kuchayganligi sababli sintetik  $\text{SiO}_2$  ni hosil qiladigan quyidagi usullar ishlab chiqilgan:

a) gaz fazali sintez, bunda tetraxlorid kremniydan vodorod-kislorod alangasida quyidagi reaksiya boʻyicha hosil qilinadi:



Bu usul bilan olingan kvarts shishada gidrooksil guruhining miqdori koʻp boʻlib, issiqlikka chidamligi kamroq boʻlishi uning kamchiligi hisoblanadi;

b) kislorodli, past temperaturali plazmada toʻgʻridan toʻgʻri oksidlash:



Bu holatdagi kvarts shishasida gidrooksil guruhining miqdori eng kam, biroq unda massaning 0,05 % gacha xlor ionlari mavjud boʻladi;

c)  $\text{SiO}_2$  gelidan, uni quritib, termik ishlov berib va  $1800^\circ\text{C}$  da eritib hosil qilinadi.

Bunday xomashyodan hosil qilinadigan kvarts shisha yuqori darajali tozalik bilan xarakterlanadi va undagi qoldiq kirishmalar massaning  $10^{-5}$ – $10^{-6}$  % dan oshmaydi. Bunday shishalardan hususiy holda, Choxralʼskiy usuli bilan kremniy monokristallari oʻstirish uchun kvartsli tigellar, diffuziya jarayonlari va yarim oʻtkazgichlar epiitaksiyasi oʻtkaziladigan kvartsli reaktorlar, optik va lazer shishalarini ishlab

chiqarishda va hokazolar tayyorlashda foydalaniladi.

**Shixta tayyorlash.** Ma'lum takrkibli shisha mahsulotini tayyorlash uchun avval shixta tayyorlanadi. Shixta tayyorlash uchun kerak bo'ladigan materiallar yaxshilab tozalanadi, optimal donador qilib maydalanadi, kerakli nisbatlarda o'lchanib yaxshilab aralashtiriladi. Bunda shixtaning asosiy texnologik ko'rsatkichi tarkibning bir jinsligidir. Pishirilgan shishamassaning sifati boshlang'ich materiallarning aniq va qunt bilan tayyorlanganligiga va ularning qanday aralashganiga bog'liq bo'ladi.

Komponentlarning kimyoviy tarkibi shishalarning elektrofizikaviy xossalarini belgilaydi.

Shixtani tashkil etuvchilari tayyorlanib yaxshilab aralashtirilgandan so'ng uni pechga yuklashdan oldin shisha pishirish jarayonini optimallashtirish maqsadida shixtani zichlantirish kerak bo'ladi. Buning uchun u avval o'ta nozik maydalanadi. Undak keyin shixta briketlash, granulalash, yopib pishirish (spekanie) kabi usullardan foydalanib zichlantiriladi. Undan keyin shisha pishirishni boshlash mumkin.

**Shisha pishirish.** Shisha pishirish deb shunday termik jarayonga aytiladiki, bunda har xil komponentlarning aralashmasi bir jinsli eritmaga aylanadi. Shisha pishirish murakkab jarayon bo'lib, shixta komponentlari orasida kechadigan har xil fizik-kimyoviy ta'sirlashuv natijasida

suyuq shisha massaning hosil bo`lishi yuz beradigan ma`lum bir kattalikdagi temperatura intervalida kuzatiladi. Masalan, silikat shisha pishirishda shisha qaynatishning besh bosqichi farqlanadi: silikat hosil bo`lishi; shisha hosil bo`lishi; tiniqlantirish (gazsizlantirish); gomogenlashtirish; sovutish.

Silikat va shisha hosil bo`lish jarayonlari bir vaqtning o`zida kechadi. Silikat hosil bo`lish jarayonida shixta komponentlari o`zaro kimyoviy ta`sirlashib karbonatlar, sul`fatlar va boshqa moddalar silikatlariga va boshqa oralig`i birikmalarga aylanadi.

### **3.7.3. Shisha mahsulotlari texnologiyasi**

Shisha qaynatishdan keyingi asosiy texnologik bosqich shishaga shakl berish hisoblanadi. Bunda qovushqoq eritma (shisha massasi) tashqi kuchlar natijasida kerakli konfiguratsiyali qattiq mahsulotga aylantiriladi va sekin-astalik bilan sovutilib qattiq holatga keltiriladi. Shakllan-tirish jarayonida shishaning qovushqoqligi  $10^2$  dan  $10^{12}$  Pa·s gacha o`zgaradi.

Shakllantirish jarayoni ikki bosqichga bo`linadi: shakl hosil qilish bosqichi va shaklni fiksatsiyalash boqichi.

Shakl hosil qilish shisha massa oqish va plastik deformasiya holatlari mumkin bo`lgan temperaturaviy qovushqoq sohasida o`tkaziladi. Bu qovushqoqlikning  $10^2 - 4 \cdot 10^7$  Pa·s oralig`iga

mos keladi va bunda temperatura oraliği taxminan 1200-800°C atrofida bo`ladi.

Shaklni fiksasiyalash (qotirish) shakllantirilayotgan mahsulotni hosil qilingan konfiguratsiyasi saqlab qolinganda qotirishdir. Bu shishaning intensiv qotadigan sohasiga to`g`ri keladigan, temperaturaning 900-500°C dipazonida, qovushqoqlikning  $10^8$  -  $10^{12}$  Pa.s oralig`ida amalga oshiriladi.

Shishaga shakl berishning quyidagi usullari mavjud:

- cho`zish;
- prokatlash;
- presslash;
- havo puflash;
- press-havo puflash;
- markazdan qochma shakllantirish;
- shisha massaning taglikda erkin oqishiga

asoslangan float usuli.

Shakllangan shisha mahsuloti sovutilganda uning tashqi va ichki devor qatlamlari orasidagi temperaturaning farqi tufayli hosil bo`ladigan mexanik kuchlanishni olib tashlash uchun shisha mahsulotlar qizdiriladi. Qizdirish jarayoni quyidagi bosqichlarni o`z ichiga oladi:

- mahsulotni qizdirish temperaturasigacha qizdirish (yoki sovutish);
- kuchlanishni olib tashlash uchun kuydirish temperaturasida ushlab turish;
- mas`uliyatli sovutish. Bunda shishada qoldiq kuchlanish hosil bo`lishidan saqlash uchun



kuydirishning past temperaturasigacha sekin asta sovutiladi;

- xona temperaturasigacha tez sovutiladi.

Shishani toblash deb, unda sun`iy ravishda bir xil taqsimlangan kuchlanish hosil qilishga aytiladi. Toblashda shisha  $T_g - T_f$  oraliqdagi temperaturagacha qizdiriladi va ma`lum bir vaqt bu temperaturada ushlab turilgandan so`ng tezlik bilan bir tekis sovutiladi. Buning natijasida mahsulotning mustahkamligi oshadi.

### **3.8. Keramika va shishakeramika materiallari texnologiyasi**

#### **3.8.1. Keramikali materiallar texnologiyasining asoslari**

Keramikali texnologiya hozirgi vaqtda dielektrikli, yarim o`tkaz-gichli, magnitli, o`tkazuvchi va o`ta o`tkazuvchi materiallar asosida elektron texnikaning har xil mahsulotlarini tayyorlashda keng qo`llanilmoqda. Keramikali materiallar uchun umumiy bo`lgan texnologik operasiya bu moddalarni erish temperaturasidan past temperaturada pishirishdir (spekanie). Keramikali texnologiyaning shisha texnologiyasidan asosiy farqi shundaki, bunda moddalarning eritilishiga yo`l qo`yilmaydi.

Keramika ko`p fazali murakkab tizimdan iborat. Uning tarkibida kristalli, shishasimon va gazli fazalar (odatda, berk g`ovaklar ko`rinishida) mavjud bo`ladi.

Kristall faza keramikaning asosiy fazasi bo`lib, materialning mazmunini va xossalarini (dielektrik va magnit singdiruvchanliklar, yo`qotish quvvati, chiziqli kengayishning temperatura koeffisienti, mexanik mustahkamlik) belgilaydi.

Shishasimon faza shisha qatlam bo`lib, kristall fazani tashkil qiluvchi donachalarni bog`lab turadi. Shishasimon fazaning miqdori keramikaning texnologik xususiyatlarini (pishirish temperaturasi, plastiklik darajasi va boshqalar) belgilaydi. Uning qiymati 30-40%dan oshmasligi kerak.

Keramikadagi gazli faza (berk g`ovaklar ko`rinishida) mahsulot tayyorlashning o`ziga hos texnologik jarayoni natijasida hosil bo`ladi. Ko`pincha u keramikaning xossalariga (mexanik va elektr mustahkamlik, dielektrik yo`qotishlar kabi ) salbiy ta`sir qiladi. Keramikali mahsulotlar ishlab chiqarishda asosiy texnologik jarayonlar quyidagicha:

- 1) shixta uchun massa tayyorlash;
- 2) shakl berish;
- 3) quritish;
- 4) kuydirish (objig).

BaTiO<sub>3</sub> asosida segnetokeramik mahsulotlar ishlab chiqarish jarayonining texnologik sxemasi 3.13-rasmda keltirilgan. Albatta, keramikaning har bir konkret turi va mahsuloti uchun bu sxemaga o`zgartirishlar kiritiladi. Endi bu sxemada keltirilgan asosiy texnologik jarayonlarni ko`rib chiqamiz.

## **1. Shixta tayyorlash. Shixtani tayyorlash**

boshlang`ich

materiallarni

tayyorlashdan

blshlanadi. Boshlang`ich komponentlarning

sifatiga qarab ke- ramikaning xossalarini nazorat

qilish va boshqarish mumkin. Elektron texnikada

qo`llaniladigan eng arzon keramik materiallar



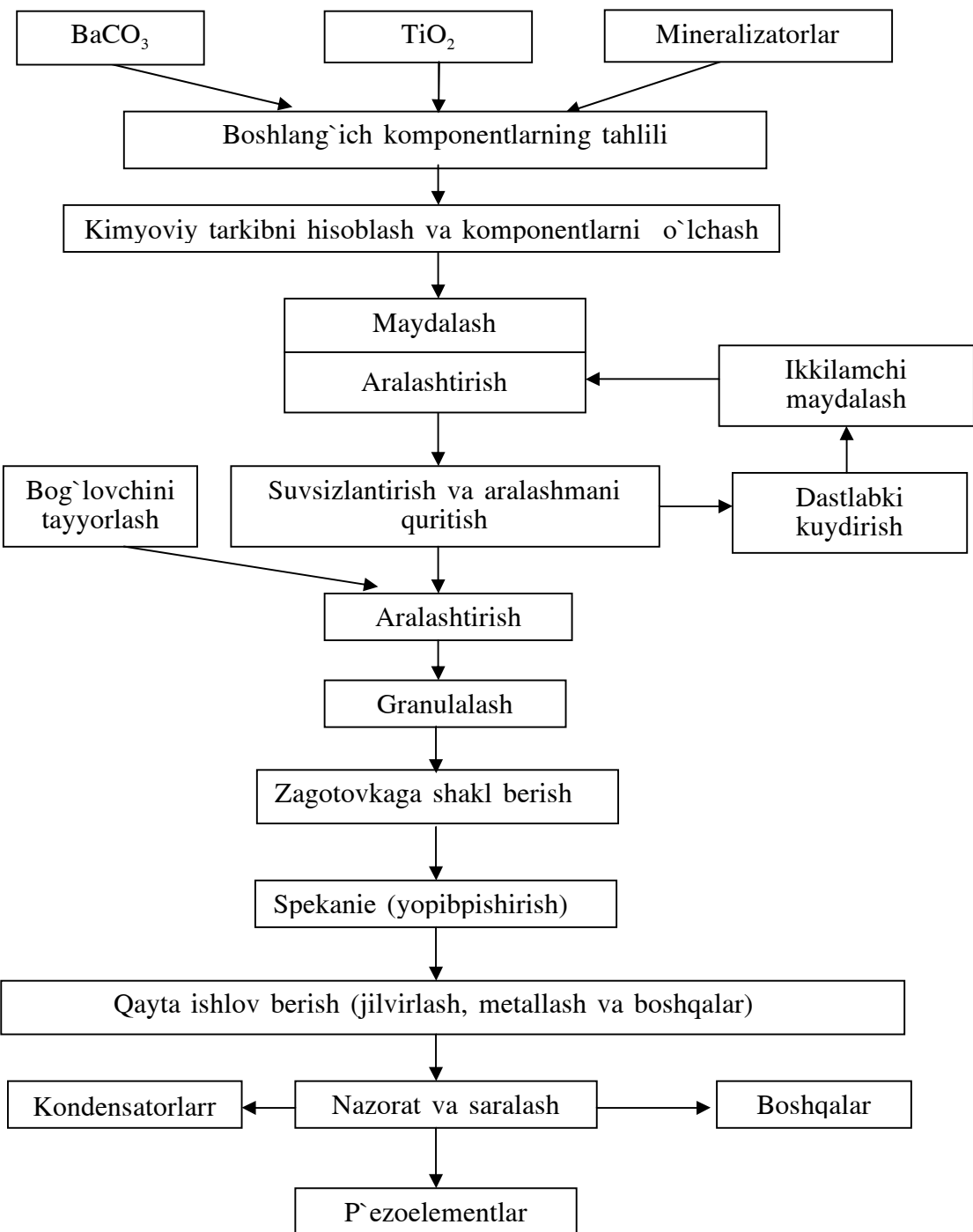
tayorlash uchun xomashyo sifatida tuproq, dala

shpati, kremnezem, kaolin va boshqalar ish-

latiladi.Bularni maydalash jarayonida temir

aralashmalar xlor kislotasi yordamida yoki elektr

magnit yordamida olib tashlanadi. Yuqori sifatli



keramika olishda zarrachalarni o'lchami 0,5-5

3.13-rasm. BaTiO<sub>3</sub> keramikasi asosida maxsulotlar ishlab chiqarish texnologik jarayonining sxemasi

mkmdan oshmasligi kerak.

## 2. Shixta tarkibini tayyorlash va boshlang'ich komponentlarni aralashtirish.

Keramika texnologiyasida asosiy operatsiya hisoblanadi. Bunda berilgan tarkibli keramika olish uchun boshlang'ich komponentlar kerakli nisbatda o'lchab olinadi. Masalan: ( $\text{Ba}_{0,85}$ ,  $\text{Sr}_{0,15}$ )  $\text{TiO}_3 \Rightarrow \text{BaSrTiO}_3$  tarkibli keramikani hosil qilish uchun boshlang'ich komponentlar:  $\text{BaCO}_3$ ,  $\text{SrCO}_3$  va  $\text{TiO}_3$  qanday miqdorda o'lchab olish kerakligini topamiz. Buning uchun avval 3ta komponentning molekulyar massasi hisoblanadi. Undan keyin  $\text{BaCO}_3:\text{SrCO}_3:\text{TiO}_3$  larning molyar nisbatlari: 0,85:0,15:1,0 ga teng bo'lgan massa nisbatlari va ularning foizlari hisoblanadi (3.5 - jadval).

3.5-jadval

| Boshlang'ich komponent | Molyar xissasi, $X_i$ | Molekulyar massasi $m_i$ , kg | Massa $X_i \cdot m_i$ , kg |
|------------------------|-----------------------|-------------------------------|----------------------------|
| $\text{BaCO}_3$        | 0,85                  | 197,35                        | 167,75                     |
| $\text{SrCO}_3$        | 0,15                  | 147,63                        | 22,15                      |
| $\text{TiO}_3$         | 1,0                   | 79,90                         | 79,90                      |

$$\sum x_i m_i = 269,80 \quad \sum \omega_i = 99,997\%$$

Bundan keyin boshlang'ich komponentalar bir jinsli massa bo'lgunga qadar mexanik va kimyoviy usullar yordamida aralashtiriladi.

**3. Qo'shilmalar.** Keramikaning xossalarini va ishlab chiqarish jarayonlarini boshqarish uchun quyidagi qo'shilmalar qo'shiladi:

1) minerallovchilar 5% gacha, kuydirish jarayonini tezlashtirish uchun;

2) plastifikatorlar, maxsulotga shakl berish jarayonni osonlashtirish uchun;

3) modifikasiyalovchi qo`shilmalar, elektrofizikaviy xossalari boshqarish uchun.

**4. Shixtani granulalash.** Bunda kukun xolatdagi shixta bir xil o`lchamda va shaklda granulalanadi, asosan granulalash presslab shakl berishdagina qo`llaniladi.

**5. Maxsulot zagotovkasiga shakl berish.** Shakl berishning quyidagi usullari ko`proq qo`llaniladi:

A) press-shakllashda sovuq presslash;

B) qaynoq presslash;

V) qaynoq quyish;

G) mudshtukli presslash;

D) izostatik presslash;

E) vibrasiyali zichlash.

**6. Zagatovkalarga termik ishlov berish jarayonlari.** Termik ishlov berishdan maqsad kukun zarrachalarini monolit polikristall qattiq jism holatigacha birlashtirish bo`lib, bunda uning hossalari kompakt qattiq material xossalariga yaqinlashadi.

Termik ishlov berish jarayoni ikki bosqichdan tashkil topadi:

1). Texnologik bog`lovchini chiqarib yuborish;

2). Yopib pishirish (Spekanie).

Birinchi bosqich erish va bog`lovchining bug`lanish temperaturalarida olib boriladi va



kukun zarrachalarining yopib pishirish temperaturasi boshlanishida tamomlanadi. Ikkinchi etap yopib pishirish temperaturasi boshlanishidan to zarrachalarning zich monolit material holiga kelgungacha bo'lgan temperaturalarda o'tkaziladi.

### **3.8.2. Eng asosiy keramik materiallar texnologiyasi**

**O'rnatiluvchi keramika.** O'rnatiluvchi keramika texnologiyasining xususiyatlarini mikrosxemalar tagliklarini tayyorlashda ishlatiladigan eng asosiy o'rnatiluvchi materiallar misolida ko'rib chiqamiz. Bularga birinchi navbatda alyuminiy oksidi va berilliy oksidi asosidagi keramikalar kiradi.

Quvvatli mikrosxemalarning ko'pchiligida taglik sifatida yuqori soh tuproqli keramika 22XS (96%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) va polikor (99,7%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) asosidagi alyuminiy oksidli keramika ishlatiladi.

Alyuminiy oksidining bir nechta polimorfli modifikasiyalari mavjud bo'lib, ular  $\alpha$  - ,  $\beta$  - va  $\gamma$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  laridir.  $\alpha$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - korund, alyuminiy oksidi asosidagi keramikali mahsulotlarning bosh kristall fazasi bo'lib, trigonal singoniyalga taalluqlidir. U 2050 °C temperaturada eriydi.  $\beta$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  geksagonalli kristall panjaraga ega bo'lib, alyuminiy oksidining toza modifikasiyasi hisoblanmaydi. U bilan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ning miqdori yuqoriligi bilan farqlanadigan ma'lum bir alyumi-natlar guruhi shartli ravishda belgilanadi.  $\gamma$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  kub kristall panjaraga (shpinel turi) ega

va korunddan kimyoviy aktivligining yuqoriligi bilan ajralib turadi.  $\gamma$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  1100 °C temperaturadan yuqoriroqqa qizdirilganda qaytmaydi-gan bo`lib  $\alpha$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ga aylanadi va bunda uning hajmi 14% gacha kichrayadi.

22XC va polikor keramikalarini ishlab chiqarishda xomashyo sifatida texnik soh tuproqdan foydalaniladi. Unda kirishmalarning, asosan natriy oksidining miqdori 0,2% dan kam bo`lishi kerak. Uning tarkibida ko`p miqdorda  $\gamma$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  fazasi mavjud bo`lib, keramikasi yopib pishirishda hajmining sezilarli kamayishiga (29% gacha) sabab bo`ladi. Butunlay termik turg`un bo`lgan  $\alpha$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan iborat mineralogik bir jinsli material olish uchun boshlang`ich texnikaviy soh tuproq 1450 °C gacha qizdiriladi va bunda  $\gamma$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$   $\alpha$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ga aylanadi. Bu operatsiya natijasida soh tuproq kerakli texnologik xususiyatlarga ham ega bo`lib qoladi. Masalan, nozik maydalashda uning intensivligi oshadi.

Ommaviy ishlab chiqarishda hosil qiliniyotgan  $\alpha$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  korund sharli tegirmonlarida maydalanadi.

$\text{Al}_2\text{O}_3$  ning miqdori 96-98% ni tashkil qilgan keramik material-larda yopib pishirishni intensifikatsiyalash uchun mineralizatorlar -  $\text{SiO}_2$  asosidagi shishalardan foydalaniladi. Bu mineralizatorlarning boshqa komponentlari bo`lib metallarning oksidlari  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{BaO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  hisoblanadi. 22XC keramikasini hosil qilishda 5 – 6 % massaviy miqdordagi shisha

tizimli –  $\text{MnO}$  -  $\text{SiO}_2$  -  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  mineralizatoridan foydalaniladi.

$\text{Al}_2\text{O}_3$  ning miqdori 99 %dan ko`p bo`lgan alyumoksidli keramikada, masalan, polikorda, shisha hosil qiluvchilar bo`lmagan mineralizatorlar ishlatiladi. Eng ko`p tarqalgan bunday qo`shimchaga  $\text{MgO}$  (mas. 0,3 % gacha) misol bo`ladi. U yopib pishirilgan keramikaning dielektrik va vakuum hossalriga ta`sir o`tkazmaydi.

Zagotovka massasining quyuqligiga, shakliga va o`lchamlariga bog`liq holda ularni shakllantirish uchun quyidagi usullardan foydalaniladi: yarim quruq, qaynoq yoki izostatik presslash, quyish va ekstruziya. Organik bog`lovchi sifatida olein kislota va vosk qo`shilgan parafin, gliserinli polivinil spirti, metilsellyulozaning gliserin bilan aralashmasi ishlatiladi.

Berilliyli keramika – brokerit (98 %- $\text{BeO}$ ) yuqori quvvatli mikrosxema-larning tagliklarini tayyorlashda ishlatiladi, chunki  $\text{BeO}$  ning issiqlik o`tkazuvchanligi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ga qaraganda olti marta yuqoridir.  $\text{BeO}$  hosil qilish uchun asosiy hom ashyo beril minerali ( $3\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ) hisoblanadi. Toza mineralda 15 % gacha  $\text{BeO}$  bo`ladi.  $\text{BeO}$  olish uchun berill berilliy gidroksidiga aylantiriladi va u 900-1800 °C temperaturada kuydiriladi.  $\text{BeO}$  asosidagi buyumlar keramika texnologiyasining hamma usullari yordamida tayyorlanishi mumkin.

Berilliy va uning birikmalari zaharli bo'lganligi ularning elektron texnikada kengroq qo'llanilishiga to'siq bo'lmoqda. Shu sababli keyingi yillarda karbid kremniy asosidagi keramika ( $\text{SiC}$  ga 1-3 % miqdorda pishiruvchi qo'shilmalar –  $\text{BeO}$ ,  $\text{B}_4\text{C}$ ,  $\text{C}$  va boshqalar – qo'shilgan) ishlab chiqildi.  $\text{SiC}$  asosidagi keramikaning asosiy xarakteristikalari: issiqlik o'tkazuvchanlik jihatdan  $[293 \text{ Vt}/(\text{m}\cdot\text{K})]$  metalli alyuminiy, alyuminiy va berilliy oksidlari asosidagi keramikalardan ustun bo'lib, misga nisbatan salgina kamdir; issiqlikdan kengayish koeffisienti kremniy monokristalinikiga yaqin; solishtirma hajmiy qarshiligi yuqori  $\rho \approx 10^{13} \text{ Om}\cdot\text{sm}$ ; past va yuqori temperaturalarda yuqori mexanik mustahkamlikka ega.

**Kondensator keramikasi.** Kondensator keramikasiga qo'yiladigan ta'lablar umumiy holda quyidagicha:

temperatura, chastota, elektr maydoni va shu kabilar o'zgarganda berilgan qiymatda stabillikni saqlagan holdagi eng katta dielektrik kirituvchanlik;

dielektrik yo'qotishlarning minimalligi;

elektr mustahkamlik va solishtirma hajmiy qarshilikning maksimalligi;

elektrokimyoviy eskilishga yuqori chidamlilik;

materialning bir jinsliligi va xossalarning qaytariluvchanligi;

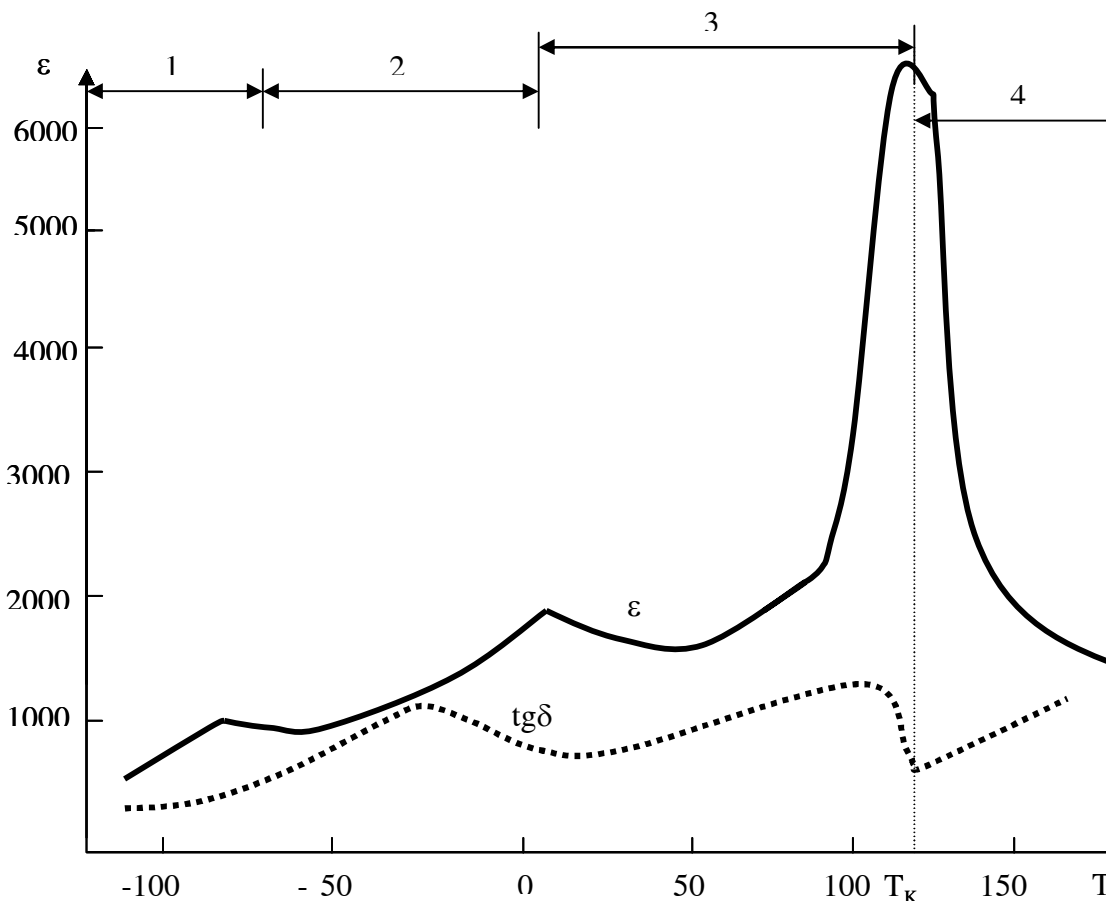
tannarxining kamligi va boshlang'ich xomashyoning bema'lolliigi.

Kondensator dielektrigi sifatida ishlatiladigan keramik materi-allar olish texnologiyasining xususiyatlarini segnetokeramika misolida ko`rib chiqamiz.

Kondensatorlar uchun ishlatiladigan segnetokeramik materiallar uchta guruhga bo`linishi mumkin: maksimal dielektrik kirituvchanlikli materiallar (N-90 guruhi), temperaturaviy turg'unligi yuqori bo`lgan dielektrik kirituvchanlikli materiallar (N-50, N-30 va boshqalar) va dielektrik yo`qotishlari kichik bo`lgan materiallar (T-900 materiali).

Bu guruhlardagi segnetoelektrikli kondensator keramikasining asosini, asosan  $\text{BaTiO}_3$  va uning asosidagi qattiq qorishmalar hosil qiladi. Ba`zi hollarda  $\text{SrTiO}_3$  va  $\text{PbNb}_2\text{O}_6$  asosidagi qattiq qorishmalar ham qo`llaniladi. Toza titanat bariy asosidagi keramika fazaviy o`tish-larning uchta nuqtasi:  $-80$ ;  $0$ ;  $120^\circ\text{C}$  temperaturalar bilan xarakterlanadi. Kristallar  $-80^\circ\text{C}$  dan past temperaturada romboedrik strukturaga ega bo`ladi; temperaturaning  $-80$  dan  $0^\circ\text{C}$  gacha bo`lgan oralig`ida rombli struktura;  $0$  dan  $120^\circ\text{C}$  gacha - tetragonal, Kyuri nuqtasidan ( $120^\circ\text{C}$ ) yuqori temperaturalarda  $\text{BaTiO}_3$  da kub struktura hosil bo`ladi va spontan qutblanish yo`qoladi. Bunda kristall segnetoelektrikdan paraelektrikka aylanadi. Qayd qilingan hamma fazaviy o`zgarishlar qutblanish jarayonidagi o`zgarishlar bilan xarakterlanadi. Bu o`zgarishlar  $\varepsilon$  va  $\text{tg}\delta$  ning temperaturaga bog`lanishlarida o`z aksini topgan (3.14-rasm).

3.14-rasmdan ko`rinib turibdiki,  $\varepsilon$  xona temperaturasida taxminan 1500 ga teng bo`lib, Kyuri temperaturasi yaqinida esa o`tkir maksimumga ega bo`lib, uning qiymati 6000-10000 ga etadi.  $\varepsilon$  ning temperaturaga bog`lanishining bunday xarakteri BaTiO<sub>3</sub> asosidagi keramikadan  $-55$ dan  $+85$  °C gacha bo`lgan temperatura oralig`ida  $\varepsilon \approx 1500$  qiymat bilan foydalanish imkoniyatini beradi.  $\varepsilon$  ning ishchi qiymati va temperatura o`zgarishida uning stabilligini oshirish uchun quyidagicha ish qilinadi: titanat bariy asosidagi keramikaga Kyuri temperaturasini kamaytiradigan va fazaviy o`tishlardagi dielektrik kirituvchanlikning maksimumini tekislaydigan qo`shimchalar qo`shish (bundan bir fazali qattiq qorishma asosidagi keramika hosil qilishda foydalaniladi);



3.14-rasm.  $\text{BaTiO}_3$  asosidagi keramikada dielektrik kirituvchanlik  $\epsilon$  va dielektrik yūqotishlarning tangens burchagi  $\text{tg}\delta$  larning temperaturaviy bogʻlanishlari:

1 – romboedrik faza; 2 – rombli faza; 3 – tetragonal faza; 4 – kub faza

keramikada  $\epsilon$  ning temperaturaviy bogʻlanishini tekislaydigan, xossalari bir biridan farqlanadigan ikki va undan ortiq faza hosil qilinadi. 3.6 - jadvalda  $\text{BaTiO}_3$  asosida birinchi usul yordamida hosil qilingan materiallarning xossalari keltirilgan.

3.6-jadval

| Materi-<br>alning<br>rusumi | $\varepsilon$ ning<br>20 °C<br>dagi<br>qiymati | Ishchi<br>tempera-<br>tura<br>intervali,<br>°C | Reversiv $\varepsilon$<br>ning o`zgarishi<br>( $E.=0,5$<br>kV/mm<br>gacha), % | Elektr<br>mustah-<br>kamlik,<br>kV/mm |        |
|-----------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------|
| T-8000                      | 8000-<br>10000                                 | -60÷+85                                        | ±30                                                                           | 4-5                                   | C<br>E |
| BC-1                        | 12000-<br>14000                                | -60÷+85                                        | ±30                                                                           | 4-5                                   | C<br>E |
| OKC                         | 10000-<br>11000                                | -60÷+85                                        | ±50                                                                           | 5-6                                   | C<br>E |
| T-10000                     | 12000-<br>15000                                | -40÷+85                                        | ±50                                                                           | 3-4                                   | C<br>B |

Bu materiallar yuqori hajmiy qarshilik ( $10^{11}$  Om·sm dan kam emas) va tangens yo`qotish burchagining 1 KGs chastotadagi qiymati  $\operatorname{tg}\delta \approx 0,01 - 0,02$  ekanligi bilan xarakterlanadi. Lekin bu usul bilan dielektrik kirtuvchanlikning temperatura o`zgarishi bilan kam o`zgaradigan segnetokeramik materiallar hosil qilish mumkin emas ekan.

Shu sababli dielektrik kirituvchanligining temperaturaviy stabiligi yuqori bo`lgan keramik materiallar hosil qilish uchun ikkinchi usuldan – keramikada xossalari bilan farq qiladigan ikkita va undan ortiq faza yaratishdan foydalaniladi. Bunday usul bilan yaratilgan materiallarning hossalari 3.7-jadvalda keltirilgan.

Bu materiallarda  $\operatorname{tg}\delta \approx 0,01 - 0,2$  va hajmiy solishtirma qarshilik yuqori bo`lib,  $10^{11}$  Om·sm dan kam emas.



3.7-jadval

| Mate-<br>rialning<br>rusumi | $\varepsilon$ ning<br>20 °C<br>dagi<br>qiymati | $\varepsilon$ ning – 60 dan<br>+125 °C gacha<br>boʻlgan temperatura<br>intervalidagi nisbiy<br>oʻzgarishi | Reversiv $\varepsilon$ ning<br>oʻzgarishi<br>(E.=0,5 kV/mm<br>gacha), % | E<br>m<br>ka<br>kV |
|-----------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| T-1000                      | 1600-<br>1800                                  | $\pm 20$                                                                                                  | $\pm 10$                                                                |                    |
| T-2000                      | 2000-<br>2200                                  | $\pm 30$                                                                                                  | $\pm 10$                                                                |                    |
| TNS-<br>2500                | 2500-<br>2700                                  | $\pm 30$                                                                                                  | $\pm 10$                                                                |                    |

Segnetokeramik kondensatorli materiallar olish texnologiyasining xususiyatlaridan biri shundaki, bunda segnetokeramikaning dielektrik singdiruvchanligi va uning temperaturaga bogʻlanishi faqat materialning tarkibigagina bogʻliq boʻlib qolmasdan, balki keramik massani tayyorlash va zagotovkani kuydirish texnologiyasiga ham bogʻliq boʻladi.

### 3.9. Sitallar texnologiyasi

Sitallar shishakristall mahsulotlar boʻlib, mahsus tarkibli shishani majburiy kristallash yoʻli bilan olinadi. Sitallar struktura jihatidan shisha va keramika oraligʻida joylashgan. Uning shishadan farqi – kristall tuzilishga egaligi boʻlsa, keramika

va boshqa kristall materiallardan farqi – juda kichik bir jinsli, mikrokristall strukturaga egaligidir. Shu sababli, ular yuqori fizik-kimyoviy xossalarga ega: mexanik mustahkamligi katta (taxminan prokatli shishaga nisbatan 10 marta mutahkamroq ), yuqori qattqlik va ishqalanib emirilishga turqunlik, yumshash temperaturasining yuqoriligi ( $1350^{\circ}\text{C}$  gacha), issiqlikka chidamliligi ( $300 - 700^{\circ}\text{C}$ ), zichligining kichikligi  $2,3 - 2,8 \text{ mg/mm}^3$  va elektr izolyasiyalovchi xarakteristikalarining yaxshiligi kabilar.

Oddiy shishalarni kristallash bilan sitallar hosil qilish qiyin jarayondir. Shu sababli bu jarayonni osonlashtirish uchun mahsus tarkibli shisha massa tayyorlanadi va uni hamma hajmi bo'yicha birdaniga kris-tallash kerak bo'ladi Buning uchun shisha massada juda ko'p sonli kristal-lanish markazlari hosil qilinadi. Buning uchun shixtaga kristallanish katalizatorlari vazifasini bajaruvchi moddalar qo'shiladi va maxsus rejimda termik qayta ishlov berilib, shakllangan mahsulot olinadi.

Kristallash katalizatorlari vazafasini bajaruvchi birikmalar yoki elementlar quyidaga talablarga javob bera bilishlari kerak:

katalizator shishada yuqori temperaturalarda (pishirish temperatu-rasi atrofi) cheksiz eruvchanlikka va past temeraturalarda (yumshash tempe-raturasi va undan pastroq) cheklangan eruvchanlikka ega bo'lishi kerak;

katalizator past temperatura sohalarida shishada kristallash markazlari hosil qilish aktivlash energiyasini kamaytirishi kerak;

katalizator ion va atomlarining diffuziya tezligining qiymati past temperaturalarda shishaning asosiy komponentlariga qaraganda yuqori bo`lishi kerak;

kristallning shisha bilan qo`llanishini ta`minlash uchun kristall o`simta-shisha chegarasi kichik sirt energiyasiga ega bo`lishi kerak;

katalizatorning kristall panjarasi va ajralayotgan kristall faza parametrlari bir biriga yaqin bo`lib, 10-15% dan ko`pga farq qilmasligi kerak.

Kristallanish markazlarini hosil qilishda ikki xil usuldan foydalaniladi. Birinchi usulda ularning tarkibiga yorug`liq sezuvchi metall kationlari  $\text{Cu}^+$ ,  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Au}^+$  bo`lgan birikmalar qo`shiladi. Ma`lum bir to`lg`in uzunlikdagi nurlar bilan nurlantirilgandan so`ng ular kristallanish markazlari bo`lib qoladi. Bunday sitallar – fotositallar deyiladi. Ikkinchi usulda kristallanish markazlari nurlantirilmasdan qayta termik ishlov berish bilan xosil qilinadi. Bunday usul bilan hosil qilingan sitallar termositallar deyiladi.

Sitallar hosil qilishning texnologik bosqichlari. Sitallar hosil qilish texnologik bosqichlari o`zgartirilgan va to`ldirilgan shisha texnologiyasi va keramika texnologiyasi asosida olib boriladi.

Sital olishda shishali buyumlar ishlab chiqarish texnologiyasidan foydalanilganda (shixta

hosil qilish → shisha qaynatish → buyumlarni shakllantirish → maxsulotni qizdirish) u yana bitta texnologik bosqich: buyumlarni kristallash bilan to'ldiriladi. Bu bosqich qizdirishsiz yoki undan keyin amalga oshiriladi.

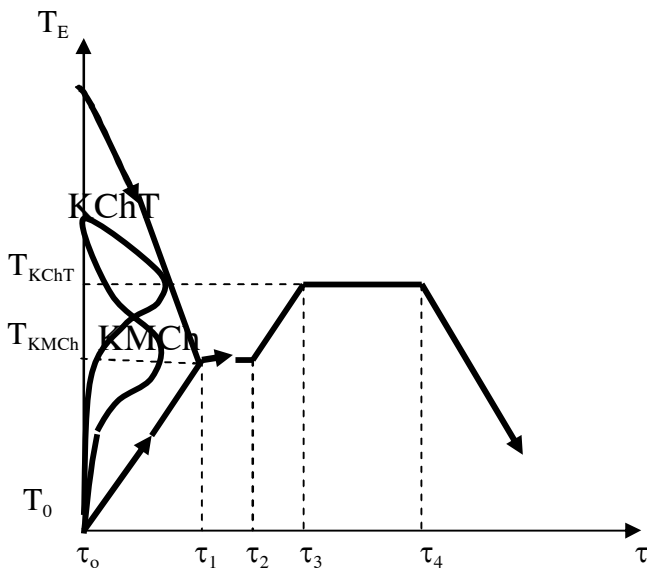
Ba'zi bir hollarda, masalan murakkab konfiguratsiyali detallarni ishlab chiqarishda, sitallar hosil qilishda keramikali texnologiyadan quyidagi sxema bo'yicha qo'llaniladi: shixta olish → shisha qaynatish → granulalash → shishani kukun holigacha maydalash → shliker hosil qilish → buyumlarni shakllantirish → yopib pishirish (spekanie) → kristallash.

Sitall shixtasi shisha shixtadan kristallash katalizatorlari borligi bilan farqlanadi. Shu bilan birga qo'llanilayotgan xomashyo komponentlarining tozaligiga bo'lgan talab o'ta yuqoriligicha qoladi.

Shisha massa tarkibiga bog'liq holda 1300 dan 1700 °C gacha bo'lgan oraliqda qaynatib pishiriladi. Bunda oson uchuvchan katalizatorlardan foydalanilgan bo'lsa, unda ularning uchib chiqib ketmasliklari uchun maxsus choralar qo'llaniladi.

Sitalli shishalarga shakl berishda asosan quyish va presslash usullaridan foydalaniladi, chunki sitalli shishalarning ko'p tarkiblari qisqa temperatura oralig'ida shakllanadi. Shu sababli shakllanishning boshqa usullaridan foydalanish maqsadga muvofiq emas.

Shakllantirish natijasida hosil boʻladigan ichki mexanik kuchla-nishlarni olib tashlash uchun buyumlar qizdiriladi (otjig). Bu jarayon



3.15-rasm. Shishani sitallga aylantirish uchun qayta termik ishlov berish rejimi sxemasi

s keladigan temperaturalarda oʻtkaziladi. Budan keyingi texnologik bosqich shishani kristal-lashdir. Baʼzi bir buyumlar tayyorlashda kristallash shakllantirishdan keyin oʻtkaziladi. Bunda shakllangan buyum kristallanish markazlari maksimal ajralib hosil boʻladigan temperaturagacha qizdiriladi.

Shishani kristallash bosqichi buyumlarga maxsus termik ishlov berish jarayoni davomida amalga oshirilvadi.

3.15 - rasmda shishini sitallga aylanishda termik qayta ishlov berish rejimining sxemasi keltirilgan.

Keltirilgan termik ishlov berish rejimining asosiy xususiyatlaridan biri bunda ikkita oʻziga xos temperaturaning borligidir. Bu temperaturaning birinchisi kristallanish markazlarining maksimal hosil boʻlishini taʼminlashi kerak boʻlsa, ikkinchisi ularning chiziqli oʻsishining maksimalligani taʼminlashi kerak. 3.15-rasmda kristallanish markazlari hosil boʻlishi va oʻsishining kinetik bogʻlanishlari temperatura-vaqt bogʻlanishlari bilan birgalikda keltirilgan. Bu esa kristallanish markazlari hosil boʻlish chastotasi (KMCh) va kristallashning chiziqli tezliklari (KChT) bilan termik ishlov berish rejimi orasidagi bogʻlanishni yaqqol koʻrsatish imkonini beradi. Bu bogʻlanishlardan koʻrinib turibdiki, kristallash jarayonini eritmani sovutish yoki qotib qolgan shishani qizidirish bilan amalga oshirish mumkin ekan. Bunda asosiysi termik ishlov berishdagi birinchi va ikkinchi toʻxtashlarning optimal temperaturasi va bu toʻxtash davrini topishdir.

Ishlov berishning birinchi bosqichi shishalanish temperaturasi yaqinida oʻtkaziladi va u kristallanish markazlarininig hosil boʻlish sharoitini taʼminlaydi. Agar ushlab turilgan temperatura KMCh egri chizigʻining maksimumiga mos kelsa, ishlov berish vaqti qisqa boʻladi va bu optimal temperatura hisoblanadi.

Ishlov berishning optimal temperaturasi tajriba yo`li bilan topiladi.

Ishlov berishning ikkinchi bosqichi kristallanish markazlari o`ishi chiziqli tezligining(KChT) maksimumiga mos keladigan temperaturalarda o`tkaziladi (3.15-rasm). Bu temperaturada ushlab turish vaqti shishaning hamma hajm bo`yicha kristallanishi uchun kerak bo`ladigan vaqtiga mos keladi.

Misol tariqasida elektron texnikada qo`llaniladigan ba`zi bir sitallar uchun termik ishlov berish rejimlarini ko`rib chiqamiz.

Kordierit tarkibli sitallar  $MgO-Al_2O_3-SiO_2$  tizimi asosida hosil qilinadi. Kristallanish katalizatorlari sifatida 9-11%  $TiO_2$  qo`shilmasi hizmat qiladi. Ishlov berish rejimi bir bosqichli bo`lib 1250-1300 °C temperaturada 1-16 soat davomida ushlab turiladi.

Qo`rg`oshinli sitallar  $PbO-ZnO-B_2O_3-SiO_2$  tizimda hosil qilinadi. Katalizatorlar sifatida  $P_2O_3$ ,  $WO_3$ ,  $MoO_3$  va boshqa birikmalar qo`llaniladi. Kristallanishdagi termik ishlov berish rejimlari tarkibga bog`liq bo`lib, misol tariqasida quyidagicha bo`lishi mumkin: Birinchi bosqich 500 °C temperaturada 2 soat davomida, ikkinchi bosqich – 700 °C temperaturada 1 soat vaqt davomida amalga oshiriladi.

### **3.10. Yarim o`tkazgichli va dielektrik materiallar monokristallarini legirlashning fizik-kimyoviy asoslari**

### 3.10.1. Kristallarni qattiq fazada legirlash

O`stirilgan yarim o`tkazgichli va dielektrik kristallarni qattiq fazada legirlash uchun kirishmalarni gazsimon, suyuq va qattiq tashqi fazalardan diffuziyalash usuli, hamda radiasiyali legirlash usullaridan foydalaniladi. Diffuziyali legirlash asboblari texnologiyasi usuli bo`lib materiallar hosil qilish texnologiyasida amalda qo`llanilmaydi. Shu sababli o`stirilgan kristallarni radiasiya usuli bilan legirlashni ko`rib chiqamiz. Radiasiya usulida kristallar yadroviy zarrachalar (neytronlar, protonlar, gamma nurlari) bilan nurlantiriladi. Bunda kechadigan yadroviy reaksiyalar natijasida asosiy moddaning atomlari boshqa kimyoviy elementlarning atomlariga aylanadi. Buni transmutasiyali legirlash deyiladi.

Radiasion legirlashda asosan issiqlik neytronlaridan foydalaniladi va bunday nurlantirilgandan keyin hosil bo`ladigan legirlovchi kirishmaning konsentratsiyasi

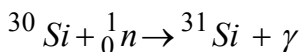
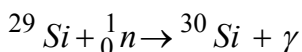
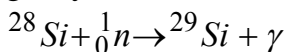
$$C_{kir} = F \sigma C_{as.k} a \tau \quad (3.12)$$

formula bilan hisoblanadi, bu erda:  $F$ -issiqlik neytronlari oqimining zichligi;  $\tau$  - nurlantirish vaqti;  $C_{as.k}$ - asosiy komponent atomlarining konsentratsiyasi;  $a$  – asosiy komponentning keng tarqalgan yadroviy o`zgaradigan izotopi.

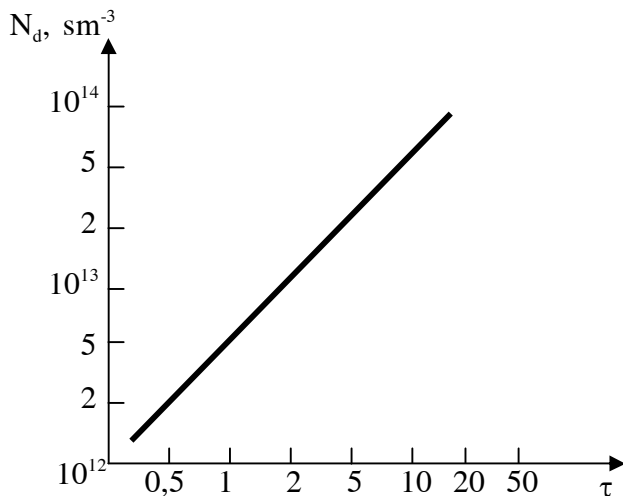
Misol tariqasida kremniyni issiqlik neytronlari bilan nurlantirib radiasiyali legirlashda kechadigan yadroviy reaksiyalarni ko`rib chiqamiz.



Tabiiy kremniy uchta oʻzining stabil izotoplarining aralashmasidan tashkil topgan:  $^{28}\text{Si}$  (92,28 %),  $^{29}\text{Si}$  (4,67 %),  $^{30}\text{Si}$  (3,05 %). Bu izotoplar sekin neytronlar bilan nurlantirilganda ularning yadrolari neytronlarni yutib,  $\gamma$ -kvantlarini chiqarib boshqa izotoplarga aylanadi:



$^{31}\text{Si}$  izotopi barqaror emas va yarim parchalanish davri 2,6 soat davomida parchalanib, fosforning  $^{31}\text{P}$  barqaror izotopiga aylanadi. Bunday usul bilan



3.16-rasm. Kremniyga kiritilayotgan fosfor atomlari konsentratsiyasining issiqlik neytronlari bilan kristallni nurlantirish vaqtiga bog`liqlik grafigi

va  $\sigma$  – boshlang`ich materialning fizik xarakteristikalarini bo`lganligi uchun va legirlash jarayonining har bir seriyasida sekin neytronlar oqimining zichligini o`zgarmas deb xisoblash mumkinligi sababli kiritilayotgan fosforning konsentratsiyasi faqat yuqori darajadagi aniqlik bilan ( $\sim 1\%$  va undan ham yaxshiroq) nazorat qilish mumkin bo`lgan nurlantirish vaqtiga bog`liq bo`ladi (3.16-rasm).

Radiatsiyali legirlash usulining birinchi kamchiligi nurlantiriladigan kristallda kristall

panjaraning radiasiyali buzilishlarining ro'y berishidir. Shu sababli bunday kristallarga nurlangandan so'ng termik ishlov beriladi, ya'ni hosil bo'lgan radiasiyali nuqsonlarni yo'q qilib yuborish uchun 800 °C temperaturada 1 soat davomida qizdiriladi.

Bu usulning ikkinchi kamchiligi nurlantirish tannarxining yuqoriligi va radiasiya havfsizligini ta'minlash zarurligidir.

Neytron transmutasiya usuli bilan legirlangan kremniy sanoatda 1975 yildan boshlab keng ishlab chiqarilmoqda. Bu material kuch asboblari ishlab chiqarishda asosiy material bo'lib qoldi, chunki bunday asboblari ishlab chiqarishda kristalldagi kirishmalar taqsimotining yuqori darajadagi bir jinsligi talab qilinadi. Bunday kremniyning bir yillik ishlatilishi 100 tonnadan oshib ketadi.

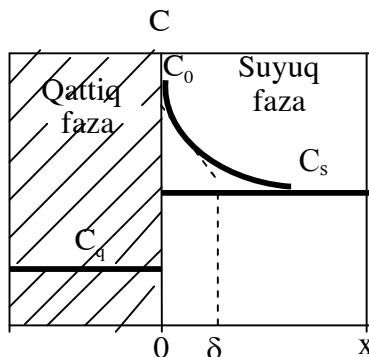
### **3.10.2. Kristallarni suyuq fazadan o'stirish jarayonida legirlash**

Tarkibida legirlovchi kirishma bo'lgan eritmaning kristallanishi. Kristallarni suyuq fazadan o'stirishda unga ma'lum miqdorda legirlovchi kirishmalar qo'shiladi. Legirlangan eritmalaridan kristallarni o'stirish sharoiti va kristall o'sishini kuzatib boradigan kristallanish frontidagi jarayonlarning xarakteri toza eritmalarining kristallanishidan farq qiladi. Eritmaga qo'shilgan kirishma kristallanishda sirt jarayonlari kinetikasiga ta'sir qilishdan tashqari

toza moddaning erish temperaturasi o'zgartiradi. Bunda modda va kirishma atomlarining o'zaro ta'sir xarakteriga bog'liq holda erish temperaturasi yoki kamayishi mumkin, yoki ko'payishi mumkin.

Ko'pincha kremniyga qo'shilgan kirishmalar uning erish temperaturasi kamaytiradi. Bu jarayon fazali diagrammalar asosida tushuntiriladi.

Endi tarkibida legirlovchi kirishma bo'lgan eritmalaridan kristallar o'sish sharoitining suyuq va qattiq fazalar orasida kirishmalarning qayta taqsimlanish xarakteriga ta'sirini ko'rib chiqamiz. Amalda ko'p uchraydigan kirshmaning muvozanatli taqsimlanish koeffisienti  $K_0 < 1$  bo'lgan holni ko'ramiz. Kristallning  $v$  tezlik bilan o'sishi mobaynida hosil bo'ladigan qattiq fazada kirishmaning miqdori boshlang'ich eritmaga qaraganda kam bo'ladi va shu sababli bo'linish chegarasi yaqinida eritmadagi kirishma konsentrasiyasi oshib boradi. Shunday qilib, harakatlanayotgan kristallanish frontida ajralayotgan ortiqcha kirishmalarning yig'ilishi natijasida uning oldida  $\delta$  diffuzion qatlam hosil bo'ladi (3.17-rasm). Bu qatlamdan kirishma diffuziya yo'li bilan eritmaning hajmiga o'tadi. Diffuzion qatlam  $\delta$  ning qalinligi eritmani aralashtirish intensivligiga, uning qovushqoqligiga, kirishmaning eritmadagi diffuziya koeffisienti  $D$  ga va shu kabi faktorlarga bog'liq bo'ladi. Shu sababli kristallanish fronti chekli  $v$  tezlik bilan harakatlanayotgan kristall o'sishidagi real taqsimot koeffisienti holat diagrammasidan aniqlanadigan



muvozanatli  
taqsimot  
koeffitsienti  
 $K_0$  dan farq  
qiladi va  
uni effektiv

3.17-rasm. Eritma bilan o'sayotgan taqsimot kristall oralig'ida kirishmaning koeffitsienti  $K$  deyiladi. Kirishmaning effektiv ( $K$ ) va muvozanatli ( $K_0$ ) taqsimot koeffitsientlari orasidagi bog'lanishni topamiz. Buning uchun eritmadagi harakatlanayotgan kristallanish fronti oldidagi kirishma taqsimotini ifodalaydigan bog'lanishni topish kerak (3.17-rasm).

Ikki fazali kristall-eritma tizimida kirishmaning taqsimoti harakatlanayotgan muhitdagi massa almashishning differensial tenglamasi bilan ifodalanadi:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = -\bar{\omega} \text{grad} C + D \nabla^2 C, \quad (3.13)$$

bu erda  $C$  – kirishma konsentratsiyasi;  $\bar{\omega}$  – suyuqlikning harakat tezligi;  $D$  – diffuziya koeffitsienti.

Bir o'lchamli hol uchun (3.13) quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = -\omega_x \frac{dC}{dx} + D \frac{d^2 C}{dx^2} \quad (3.14)$$

(3.14) tenglama quyidagi qabul qilingan taxminlar asosida echiladi. Diffuzion qatlamdagi kirishmaning diffuziya koeffitsienti o'zgarmas:

$D=\text{const}$ ; kristall o'sishining rejimi o'zgarmas holatga kelgan, ya'ni

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = 0, \quad \text{unda} \quad -\omega_x \frac{dC}{dx} + D \frac{d^2 C}{dx^2} = 0. \quad (3.15)$$

Yana,  $\delta$  qatlam chegarasida eritma harakatining tezligi  $\omega_x$  kristallning o'sish tezligi  $v$  ga teng ( $x < \delta$  da  $\omega_x = v$ ); qattiq fazadagi kirishma konsentrasiyasi  $C_q$  ga teng, suyuq fazaning  $x > \delta$  chuqurligida  $C = C_s$  – eritmadagi kirishmaning o'rtacha konsentrasiyasi (3.17-rasm). Suyuq fazada massa uzatish jarayonidan kelib chiqib (3.14) tenglamani echish uchun chegaraviy shartlar fazalarning bo'linish chegarasiga qattiq fazadagi massa o'tkazuvchanlik natijasida kelgan kirishma oqimi bilan undan massa uzatish natijasida olib ketilayotgan kirishma oqimining tengligidan aniqlanadi. Shunday qilib,

$$\left. \begin{aligned} v(C_0 - C_q) + D \frac{dC}{dx} &= 0 & x &= 0 \quad \frac{\partial a}{\partial \tau} \\ C &= C_s & x &= \delta \quad \frac{\partial a}{\partial \tau} \end{aligned} \right\} \quad (3.16)$$

Mana shu chegaraviy shartlarda (3.14)ning echimi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\frac{dC}{dx} = \frac{v}{D} (C_q - C_0) - \frac{v_x}{D}, \quad (3.17)$$

bundan quyidagini hosil qilamiz:

$$\frac{C-C_q}{C_s-C_q} = \exp\left(\frac{v\delta}{D} - \frac{v_x}{D}\right) \quad (3.18)$$

Quyidagicha belgilash kiritamiz:

$$v\delta / D = \Delta, \quad (3.19)$$

hamda eritmadagi kirishma konsentrasiyasi bo`linish chegarasining o`zida ( $x=0$  da)  $C_0$  ga tengligini e`tiborga olib quyidagiga ega bo`lamiz:

$$\frac{C - C_q}{C_s - C_q} = e^{\Delta} \quad (3.20)$$

(3.20) ifoda tajribada kuzatiladigan xodisalarni to`liq tavsiflashi shundoq ko`rinib turibdi. Haqiqatan ham, kristallning o`shish tezligi juda kichik bo`lganda, ya`ni  $v \rightarrow 0$  da eritmadagi kirishma konsentrasiyasi tekislanib,  $C_0 = C_s$  bo`lib qoladi. O`shish tezligi kattalashganda bo`linish chegarasida ( $x=0$ ) kirishma konsentrasiyasi  $C_0$  ko`payadi. Bu kristalldagi kirishma konsentrasiyasining ko`payishiga olib keladi va bunda  $C_q / S_0$  nisbat o`shish tezligiga bog`liq bo`lmaydi deb hisoblanadi. Shu sababli bu nisbatdan kristall-kirishma tizimining xarakteristikasi sifatida foydalanish mumkin. Bundan tashqari  $C_q / C_s$  nisbat ishchi parametr bo`lib  $C_0$  ga ta`sir qiladigan hamma omillar, xususiyligida o`shish tezligi va aralashtirish intensivligi o`zgarganda u ham o`zgaradi. (3.20) tenglikka muvozanatli ( $K_0 = C_q / C_0$ ) va samarali ( $K = C_q / C_s$ ) taqsimlash koeffitsientlarini kiritib, ularni bir-biri bilan bog`laydigan tenglamani hosil qilamiz:

$$K = \frac{C_q}{C_s} = \frac{K_0}{K_0 + (1 - K_0)e^{-\Delta}} \quad . \quad (3.21)$$

Har xil turlardagi kristall – kirishma tizimi uchun effektiv taqsimlash koefitsientining  $\Delta$  ga bogʻlanishlari 2.14 – rasmda keltirilgan.

Tajriba asosida qurilgan  $K = f(\Delta)$  bogʻlanishlar oʻstirilayotgan kristalda  $C_q$  ning kerakli qiymatini taʼminlash va legirlashning aniq sharoitlari uchun berilgan eritma massasiga qoʻshiladigan kirishmaning (maʼlum va oʻzgarmas  $K_0$  qiymat bilan xarakterlanadigan) miqdorini aniqlash imkoniyatini beradi. Shuni taʼkidlash kerakki, (3.21) ga binoan  $K$  kristall oʻsishining tezligigagina bogʻliq boʻlib qolmasdan, balki  $\delta$  ga va eritmada kirishma diffuziyasi koefitsientiga ham bogʻliq boʻlib, qiymati koʻpchilik eritma-kirishma tizimlari uchun  $10^{-5} - 10^{-4} \text{ sm}^2/\text{s}$  oraligʻida boʻladi.  $\delta$  ning qiymati esa asosan eritmada kechadigan gidrodinamik jarayonlarga bogʻliq boʻlib, ular kristallning oʻsish tezligi, kristall diametrining tigel diametriga boʻlgan nisbati, eritmada temperaturaning taqsimlanishi kabilar bilan aniqlanadi.  $\delta$  ning qiymati 1 dan  $10^{-3} \text{ sm}$  gacha oʻzgarishi mumkin. Shunday qilib, legirlangan kristallni oʻstirish uchun optimal sharoitlarni tanlab olib (tigel va kristallning geometrik oʻlchamlari, qizdirgich, tigel va kristallning oʻzaro joylashishi, tigel va kristallning aylanish tezliklari, issiqlik sharoiti kabilar)  $\delta$  ning qiymatini oʻzgarmas holda ushlab turishi mumkin.



Mana shu holatda qurilgan  $K = f(\Delta)$  bogʻlanishlar berilgan legirlovchi kirishma tizimi uchun effektiv taqsimlash koeffitsientining kristallning oʻsish tezligi  $v$  ga bogʻlanish grafigini beradi.

Baʼzi bir hollarda agar eritmani aralashtirish xarakteri berilgan boʻlsa, unda  $\delta$  ning kattaligini analitik usul bilan aniqlash mumkin. Masalan, Choxralʼskiy usuli bilan legirlangan kristallar olishda eritma kristall va tigelni oʻz oʻqlari atrofida qarama - qarshi tomonlarga aylantirish bilan aralashtirilayotgan boʻlsa va bunda ularning burchak tezliklari mos ravishda  $\omega_k$  va  $\omega_t$  boʻlsa, unda oʻsish tezligining uncha katta boʻlmagan qiymatliri uchun  $\delta$  Barton, Prim va Slixterlar taklif qilgan ifoda bilan aniqlanadi:

$$\delta = AD^{1/3} v^{1/6} \omega^{-1/2}, \quad (3.22)$$

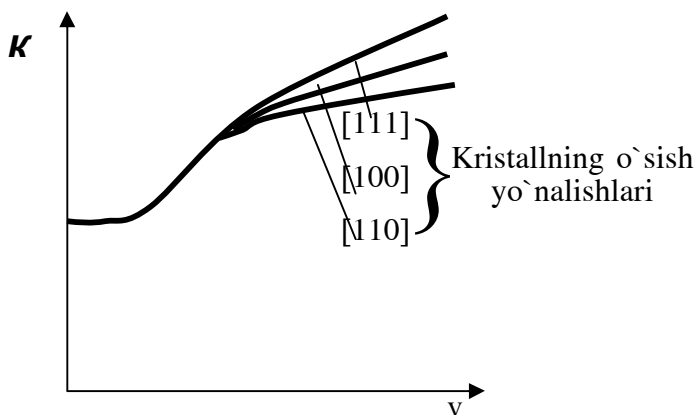
bu erda  $A$  1,3 dan 1,6 gacha qiymatga ega boʻlgan oʻzgarmas son;  $v$  - eritmaning kinematik qovushqoqligi;  $\omega = \omega_k + \omega_t$ .

(3.20) formulani keltirib chiqarishda kristalldagi legirlovchi kirishmaning konsentrasiyasi eritmaning sirtiga yaqin qatlamidagi konsentrasiya bilan muvozanatda deb qabul qilindi. Bunday kristallga kirishmaning muvozanatli kirib borishi uchun quyidagi shart bajarilishi kerak:

$$v \ll D_q / a^* = v_D, \quad (3.23)$$

ya'ni kristallning o'sish tezligi undagi kirishmaning diffuziya tezligi  $v_D$  dan ko'p marta kichik bo'lishi kerak. Bu erda  $D_q$  – kirishmaning qattiq fazadagi diffuziya koeffisienti,  $a^*$  – o'sishning elementar zina balandligi.

O'sishning katta tezliklarida (3.23) tengsizlik va unga mos ravishda bo'linish chegarasi sirtidagi muvozanat sharti o'rinli bo'lmas ekan. Bunday sharoitda legirlangan kristallar o'stirishda yoqlarning ta'siri (yoqlar effekti) yuz beradi (3.18-rasm). Bunday holda effektiv taqsimlash koef-fisientining tezlikka bog'lanishi va uning muvozanatli taqsimlash koef-fisientiga bog'liqligi ki-rishmalarni qamrab olish-ni ning adsorbsiyali mexaniz-midan kelib chiqib hosil qilinadi.



3.18-rasm. Har xil orientatsiyali o'sayotgan kristall uchun taqsimlash koeffisientining o'sish tezligiga bog'lanish grafiklari

sirt qatlamdagi kirishma konsentratsiyasi

fazalardagi (kristallda va eritmada) mos konsentratsiya-lardan yuqori bo'lishi mumkinligi kelib chiqadi. Bunda sirt qatlaminin qalinligi bir necha atom tekisligiga ega bo'ladi deb hisobdanadi. Kristallning o'sishi mobaynida bu tekisliklar qattiq fazaning ichkarisiga o'tib boradi va ulardagi kirishma konsentra-tsiyasi nomuvozanatli bo'lib qoladi. Buning natijasida kirishmaning oshiqcha yoki kamchil atomlarining eritma ichkarisiga yoki undan tashqariga diffuziyali relaksasiya jarayoni boshlanadi. Shu sababli, agar yangi qatlamlarning hosil bo'lish tezligi katta bo'lsa, unda adsorbsiyalangan kirishmaning oshiqcha atomlari kristallning ichki qismida qolib ketadi. Mana shunga binoan, undagi konsentrasiya muvozanatli holdagidan farq qiladi. Sirt qatlamiga nisbatan aniqlanadigan taqsimlash ko'effitsienti  $K_0$  dan katta bo'ladi. Bu taqsimlash ko'effisientini haqiqiy taqsimlash ko'effisienti deyishadi va  $K^*$  bilan belgilanadi. Haqiqiy taqsimlash ko'effisienti-ning formulasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$K^* = K_0 + (K_s - K_0)e^{-V_D/V}, \quad (3.24)$$

bu erda  $K_s$  – adsorbsiyalangan kirishma atomlari konsentratsiyasining ularning eritmadaagi yaqin joylashgan qatlamlardagi konsentratsiyasiga nisbati;  $V_D$  – birlik vaqt ichida kirishma konsentrasiyasi  $e$  marta o'zgaradigan holdagi o'sish tezligi. Bu shunday tezlikki, bunda qo'shni qatlamlar hosil bo'lish oralig'idagi vaqt intervali

adsorbsiyalangan kirishmaning «diffuziyali relaksatsiyasi» vaqtiga teng bo`ladi.

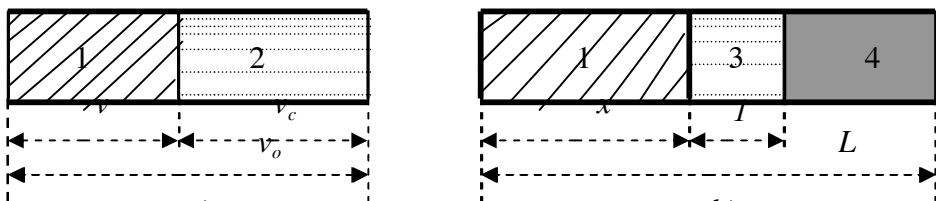
Kristalldagi kirishma konsentrasiyasi  $S_q$  bilan eritmaning ichki qatlamlaridagi kirishma konsentrasiyasi  $S_s$  orasidagi bog`lanish effektiv taqsimlash koeffisienti yordamida amalga oshiriladi:

$$K = \frac{K^*}{K^* + (1 - K^*)e^{-\Delta}}, \quad (3.25)$$

bu erda  $K^*$  (3.24) bo`yicha aniqlanadi.

(3.25) formula tajriba yo`li bilan aniqlanadigan bir nechta:  $\delta$ ,  $K_\phi$ ,  $K_s$  va  $v_D$  parametrlarni o`z ichiga oladi. O`shish tezligi nisbatan katta bo`lmagan sohalarda ishlanganda bu parametrlarning sonini qisqartirish mumkin. Bunda  $K^*$  ni  $v$  ga bog`liq emas, faqat kristallografik orientasiyaga bog`liq holda o`zgaradi deb hisoblanadi.

**O`stiralayotgan kristallarda kirishmaning taqsimoti.** Eritmadan legirlangan kristallarni o`stirishning mumkin bo`lgan hamma usullarini



3.19-rasm. Asosiy kristallanish jarayonlarining sxemasi:  
 a–normal yo`nalishli kristallanish; b–zonali eritish  
 (1– kristallangan qism; 2 – eritma; 3 – suyuq faza zonasi;  
 4 – boshlang`ich xom ashyo (zagruzka))

ikkita ideallashgan sxemaga keltirish mumkin. Birinchi sxema normal yo`nalishli

kristallash yoki normal sovutish deyiladi. Bu holatda materialning hamma qismi eritilgandan keyin eritmani bitta yo`nalishda sekin asta kristallash boshlanadi (3.19-rasm, a). Ikkinchi sxema zonali eritish deyiladi. Bunda materialning hamma qismi eritilmasdan faqat bir qismi – zonasi eritiladi (3.19-rasm, b).

Binar tizimlarni yo`nalishli kristallash va zonali eritish metallurgiya jarayonlarida komponentlarning taqsimotini faqat ba`zi bir taxminlar qabul qilingandagina aniq va ishonchli matematik tasvirlash mumkin. Bu taxminlarning asosiylarini Pfann kiritgan va ular quyidagicha:

1. Qattiq fazadagi komponentlarning diffuziyali qayta taqsimot jarayoni hisobga olinmaydi, ya`ni qattiq fazada komponentlarning diffuziya koeffisienti:

$$D_q = 0. \quad (3.26)$$

2. Suyuq fazada komponentlarning qayta taqsimoti va tarkibning bir xilda bo`lib tekislanishi bir lahzada yuz beradi, ya`ni suyuq fazada diffuziyaning effektiv koeffisienti:

$$D_s = \infty, \quad (3.27)$$

bu shart odatda suyuq fazaning to`la aralashuvi ham deyiladi.

3. Taqsimotning effektiv koeffisientining kattaligi o`zgarmas deb qabul qilinadi, ya`ni

$$K = const. \quad (3.28)$$

Bu taxmin kirishma konsentrasiyasining kichik sohalari uchun to'g'ri bo'lib, undan tashqari jarayon davomida o'sish tezligining ham o'zgarmas ekanligini nazarda tutadi:  $v = \text{const.}$

4. Erish va qotish jarayonlarida kristallanayotgan materialning xajmi o'zgarmaydi, ya'ni suyuq va qattiq fazalarning zichliklari bir biriga teng:

$$\rho_q = \rho_s = \rho \quad (3.29)$$

5. Kondensirlangan (suyuq yoki qattiq) va gaz fazalari orasida materiallar almashuvi yo'q, tizimda uchuvchan va dissosiyali komponentlar yo'q.

Pfann kiritgan taxminlar asosida ikki xil ideallashtirish sxema bo'yicha o'stirilayotgan kristallda kirishmalarning taqsimotini ko'rib chiqamiz.

**Normal yo'nalishli kristallashda kirishmaning taqsimoti.** Bu sxema bilan amaliyotda eng ko'p qo'llaniladigan Brijmen, Choxral'skiy, Kiropulos kabi usullarda o'sish jarayonida kristallarni legirlash tavsiflanadi.

Normal yo'nalishli kristallash jarayonida kristalldagi kirishma taqsimotini ifodalaydigan tenglamani kiritamiz. Ma'lum bir vaqtda eritmaning miqdori  $V_s$  bo'lsin (3.19 -rasm, a). Mana shu lahzadagi eritma va kristalldagi kirishma komponentining konsentratsiyalarini mos holda  $C_s$  va  $C_q$  bilan belgilaymiz. Aniqlik uchun kirishma komponentining erish temperaturasini

asosiy komponentga qaraganda kichik deb qabul qilamiz, ya'ni  $K < 1$  bo'lgan holni ko'rib chiqamiz. Kristallanish fronti temperaturasi kamaytirilganda eritmaning  $dV_s$  qismi kristallangan bo'lsin. Bunda eritmadan kristallga o'tgan kirishma komponentining miqdori  $C_q dV_s$  ga teng bo'ladi. Suyuq fazada esa kirishma komponentining boshlang'ich miqdoriga nisbatan ortiqcha  $(C_s - C_q) dV_s$  qismi qoladi. Bu eritmadagi kirishma konsentrasiyasining o'zgarishiga olib keladi:

$$dC_s = - \frac{C_s - C_q}{V_c} dV_s \quad (3.30)$$

yoki (3.28) ni hisobga olsak:

$$dC_s = - \frac{C_s - C_s K}{V_s} dV_s = - \frac{(1 - K)C_s}{V_s} dV_s . \quad (3.31)$$

Kasr oldidagi minus eritmaning hajmi kamayganda undagi kirishma konsentrasiyasining oshishini belgilaydi. (3.31) ni integrallash quyidagi boshlang'ich shartlar asosida o'tkaziladi:

$$C_{K|V_c=V_0} = KC_{s|V_s=V_0} = KC^0 , \quad (3.32)$$

bu erda  $V_0$  – materialning umumiy hajmi;  $C^0$  – suyuq fazadagi kirishmaning boshlang'ich konsentratsiyasi.

Integrallash natijasida quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$C_q = KC^0 (V_s / V_0)^{K-1} \quad (3.33)$$

(3.33) ifodadagi  $S_q(V_s)$  tarkibli qatlam kristallangan lahzada suyuq holatda qoladigan eritma xissasidan tahlil uchun qulay bo'lgan mana shu lahzada kristallangan modda xissasi  $g$  ga o'tamiz. 3.19-rasm, a ga binoan,

$$g = 1 - \left( \frac{V_s}{V_0} \right). \quad (3.34)$$

(3.34) ifodani (3.33) ga qo'yib, quyidagini hosil qilamiz:

$$C_q(g)/C^0 = K(1-g)^{K-1}. \quad (3.35)$$

Pfann taxminlari asosida hosil qilingan (3.35) ifodadan qattiq fazadagi kirishma konsentrasiyasining uning eritmadagi boshlang'ich konsentrasiyasiga nisbati kirishmaning taqsimlanish koeffisienti va kristallning mos qismida qotayotgan lahzadagi kristallanadigan eritmaning xissasiga bog'liq bo'lishligi kelib chiqadi.

### **Zonali eritishda kirishmaning taqsimoti.**

Zonali eritish sxemasi bo'yicha o'stirilayotgan kristallarni legirlash jarayonini ham Pfann taxminlari asosida ko'rib chiqamiz. Jarayon davomida eritilgan zona xajmi o'zgarmas bo'lib qoladi, degan qo'shimcha taxmin kiritamiz. Bunda tigel va ko'ndalang kesimi o'zgarmas bo'lgan boshlang'ich zagotovkadan foydalanishimizni hisobga olsak, unda erigan zonaning xajmi o'zgarmas degan taxmindan zonaning uzunligi  $l$  jarayon davomida o'zgarmas degan taxminga kelamiz:



$$l = \text{const.} \quad (3.36)$$

Uzunligi  $L$  va ko'ndalang kesim yuzasi o'zgarmas  $s$  bo'lgan,  $C^0$  konsentratsiya bilan bir xil legirlangan quymadan erigan zona bir marta o'tib bo'lgandan so'ng kristalldagi kirishma taqsimotini ko'rib chiqamiz. Quymaning boshidan  $x$  masofada uzunligi  $l$  bo'lgan erigan zona joylashgan bo'lsin (3.19-rasm, b). Erigan zonadagi kirishma konsentrasiyasini  $C_s(x)$  bilan belgilaymiz. Zonadagi kirishma balansini uning harakati jarayonida ko'rib chiqamiz.

Agar zona  $dx$  masofaga siljisa, unda kristallning o'sish frontidan eritmaga quyidagi miqdordagi kirishma siqib chiqariladi:

$$dM_s = (1 - K)C_s s dx \quad (3.37)$$

Zonaning ikkinchi chekkasida, boshlang'ich quymaning qatlami erigan joyda, zonaga quyidagi miqdordagi kirishma kirib boradi:

$$dM_s' = C^0 s dx. \quad (3.38)$$

Kristallanish frontida eritmaga faqat kirishma siqib chiqariladi, shu vaqtning o'zida esa erish frontidan eritmaga kirishma bilan bir qatorda  $s dx$  xajmli toza material ham kirib keladi. Zonadagi kirishma miqdorining umumiy o'zgarishi quyidagiga teng bo'ladi:

$$dM_s'' = [C^0 - C_s(x)] s dx. \quad (3.39)$$

Erigan zonada kirishma konsentrasiyasining zona  $dx$  masofaga siljigandagi o'zgarishi quyidagicha bo'ladi:

$$dC_s = \frac{dM_s + dM_s''}{ls} = \frac{(1-K)C_s + (C^0 - C_s)sdx}{ls} = -\frac{KC_s + C^0}{l}dx. \quad (3.40)$$

(3.40) ni echish uchun boshlang'ich shartni aniqlaymiz. Boshlang'ich quymada kirishmaning bir xil taqsimlanganligidan va to'liq aralashuv sharti (3.27) dan kelib chiqib, boshlang'ich zonadagi kirishma konsentrasiyasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$C_s = (0) = \frac{1}{l} \int_0^l C^0(x) dx = C^0. \quad (3.41)$$

(3.41)ni hisobga olgan holda (3.40) ni integrallaymiz:

$$C_q(x) = C^0 \left[ 1 - (1-K)e^{-Kx/l} \right]. \quad (3.42)$$

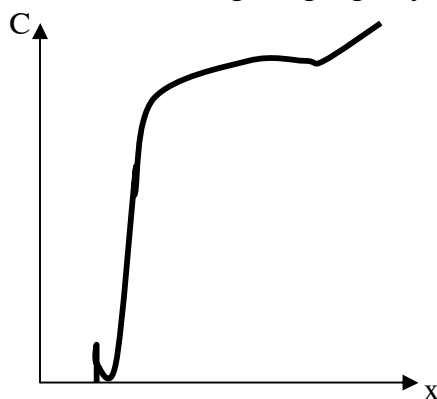
(3.42) formula kristallning  $x = 0$  dan  $x = L-l$  qismigacha to'g'ridir.

Haqiqatan ham, zonaning kristallanish chegarasi  $x=L-l$  nuqtaga etib kelgandan so'ng erish chegarasidan har qanday materialning kirib kelishi to'xtaydi va zonaning bundan keyingi harakati natijasida eritmaning xajmi kamayib boradi. Shunday qilib,  $x=L-l$  nuqtadan boshlab eritmaning kristallanishi normal yo'nalishli kristallash sxemasi bo'yicha bo'ladi va oxirgi uchastkada kirishmaning taqsimlanishi (3.35) ifoda bilan aniqlanadi. Bu erda  $C^0$  sifatida (3.42) dan aniqlanadigan  $C_q(L-l)$  kattalik olinadi.

**Bir jinsli legirlangan monokristallar olish usullari.** Ma'lumki, yarim o'tkazgichli va dielektrik materiallar kristallarining elektrofizik

xossalari ular tarkibidagi kirishmalarning konsentrasiya-lari bilan aniqlanadi. Ayniqsa, legirlangan monokristallar asosida tayyorlanadigan asboblarning parametrlari stabil va qaytariluvchan bo'lishi uchun ulardagi legirlovchi kirishmalarning taqsimoti bir jinsli bo'lishi katta ahamiyatga ega.

O'sayotgan kristallarda kirishmalarning uzunlik va ko'ndalang kesim bo'yicha notekis taqsimlanishining hosil bo'lishiga ko'p omillar sabab bo'ladi. Notekis taqsimotlar ularning hosil bo'lish sabablariga ko'ra ikkiga bo'linadi: fundamental va texnologik. Fundamental notekis taqsimotlar ko'p komponentli tizimlarda faza o'zgarishlarining asosiy qonunlaridan kelib chiqqan holda o'sayotgan kristall tarkibining qonuniy o'zgarishlari bilan bog'liqdir. Bunday qonuniy notekis taqsimot o'stirilgan kristallning hamma xajmini egallaydi va ko'pincha uni o'zgarmas tarkibning segregatsiyali buzilishi ham



3.20-rasm. O'stirilgan kristalldagi kirishma konsentrasiyasining uzunlik bo'yicha makronotekislarning mikronotekislar bilan birgalikdagi yig'indi taqsimoti

deyiladi

Kristall  
ning  
o'sishi  
jarayon  
ida  
tarkib  
taqsimotining  
bunday  
qonuniy

buzilishiga noqonuniy xarakterga ega bo'lgan texnologik notekis taqsimot ham qo'shiladi (3.20 - rasm). Bunday notekis taqsimotlar amalda qo'llanilayotgan texnologik jarayon va apparaturalarning mukammal emasligi va kristall o'sish sharoiti barqarorli-gining buzilishi natijasida yuz beradi. Bunday nojinsli-liklar kristallning uncha katta bo'lmagan xajmini egallaydi va shu sababli ularni lokal nojinsliliklar ham deyishadi. Yarim o'tkazgich va dielektriklarning monokristallarini o'stirish uchun texnologik apparatlarning konstruksiyasi va ishlab chiqarilishining zamonaviy bosqichi kristallar tarkibida texnologik sabablar natijasida hosil bo'ladigan nojinsliliklarni minimumga keltirish imkoniyatini beradi. Lekin kristallarning o'sish jarayonida fundamental sabablar natijasida nojinsliliklar juda ko'p hosil bo'ladi. Shuning uchun tarkibi va hossalari bir jinsli bo'lgan kristallar olishda asosiy vazifa fundamental nojinsliliklarga qarshi kurash usullarini yaratishdir, chunki texnologik nojinsliliklarga qarshi o'laroq ularni apparat va jarayonlarni mukammallashtirish yo'llari bilan kamaytirib bo'lmaydi, shu sababli ular bilan kurashish uchun maxsus usullar ishlab chiqishga to'g'ri keladi.

Endi mana shu usullarning asosiylari bilan tanishamiz.

**Kristallar tarkibini tekislashning segregasiyali usullari.** Hosil qilinayotgan kristallar tarkibini tekislashning segregasiyali usullari ikkiga: passiv va aktiv usullarga bo'linadi. Passiv

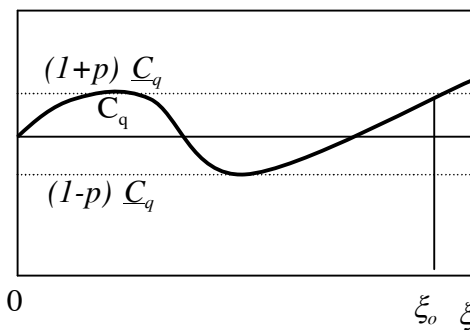
usulda kirishmalar taqsimotining berilgan bir jinsligi asosidagi monokristallar kristallash jarayoniga birorta o'zgarish kiritilmasdan olinadi, ya'ni eritmada oddiy yo'nalishli kristallash usuli bilan o'stirilgan monokristallning bir jinsli qismidan foydalaniladi. Aktiv usullarga o'sish vaqtida legirlash jarayoniga aktiv ta'sir ko'rsatadigan va tarkib o'zgarish jarayonini programmalash imkoniyatini beradigan usullar kiradi. Bu usullarning effektivligini qiyosiy baholash uchun o'lchov (kriteriy) kiritiladi. Bunday o'lchov bo'lib jarayon chiqishi yoki yaroqli materialning chiqishi deb ataladigan kattalik hisoblanadi. Bunda chiqish deb, xossalari keyinchalik foydalanish imkoniyatini beradigan modda miqdori qismining texnologik qayta ishlov berilgan umumiy qismiga nisbati tushuniladi. Jarayon chiqishi miqdoriy jihatdan xajmiy yoki massali birliklarda ifodalanadi. Jarayon chiqishining kattaligi kristalldan foydalanish shartlari belgilaydigan talablarga bog'liq bo'ladi. Talablar kristalldagi legirlovchi kirishmaning konsentratsiyasi  $C_q$  talab qilingan  $\bar{C}_q$  qiymatdan tarkibning mumkin bo'lgan og'ishi deb ataladigan va nisbiy birlikda ifodalanadigan  $p$  kattalikka farq qilinishi bilan belgilanadi. Kristallanishning biror bir jarayoni natijasida olingan kristalldagi tarkib taqsimotini  $C_q = f(\xi)$  ko'rinishdagi bog'lanish bilan ifodalash mumkin. Bunda  $\xi$  jarayonni xarakterlaydigan umumlashgan koordinatani belgilaydi. Beriladigan kattalik  $p$  kristall bo'ylab  $C_q = f(\xi)$  ning mumkin bo'lgan

tebranishining chegaralarini aniqlaydi va bu chegaralarda  $C_q = f(\xi)$   $C_q$  dan katta ham, kichik ham bo'lishi mumkin (3.21-rasm).

$\xi_o$  nuqtada kristallning foydalanishga yaroqli bo'lishi uchun uning bu nuqtadagi tarkibi quyidagi tengsizlikni qanoatlantirishi zarur:

$$\left| \frac{C_q(\xi_o) - \overline{C_q}}{\overline{C_q}} \right| \leq p. \quad (3.43)$$

Konsentratsiya grafigida (3.21-rasm) (3.43) tengsizlikni qanoatlantiruvchi  $C_q(\xi_o)$  ning kattaligi



3.21-rasm. Mumkin bo'lgan chetga og'ish qiymati bo'yicha yaroqli kristallning chiqishini aniqlash

hga yaroqli monokristalldagi konsentratsiyasi

$$(1+p)C_q \geq (1-p)C_q \quad (3.44)$$

intervalda joylashadi.

Agar (3.44) tengsizlik bajariladigan kristallning xajmi  $V_p$  ni jarayonda qatnashayotgan materialning barcha xajmi  $V_{ga}$  bo'lsak, monokristallning qancha qismi yaroqli ekanligini

mumkin bo'lgan chetga og'ish sohasini chegaralovchi chiziqlar oralig'ida yotadi, ya'ni foydalanis

kirishma

yoki mumkin boʻlgan berilgan chetga ogʻish p uchun jarayon chiqishining kattaligini topamiz:

$$r_p = V_p / V \quad (3.45)$$

### **Tarkibni tekislashning passiv usullari.**

Yarim oʻtkazgich va dielektriklarning bir jinsli kristallarini olishning oson usuli bu xech qanday oʻzgarishsiz oddiy kristallash jarayonlari: normal yoʻnalishli sovutish (Brijmen, Choxralʼskiy va boshqa usullar) va zonali eritishlardan foydalanishdir. Bunda yuqorida aytilgandek kristallning kirishmalar taxminan bir tekis taqsimlangan qismidan foydalaniladi. Bu jarayonlardagi kirishmalar taqsimot egri chiziqlarining tahlili shuni koʻrsatdiki, bunday bir tekis qism oʻstirilgan kristallning yo bosh qismida, yo oxirgi qismida hosil boʻlar ekan. Shu sababli mana shu qismlardan foydalanish maqsadga muvofiqdir.

**Kristall tarkibini tekislashning aktiv usullari.** Bu usullar kirishmalar taqsimotining bir xilligini uzunlik boʻyicha oshirish uchun xizmat qiladi va passiv usullardan farqli oʻlaroq kristallanish jarayoni davomida maʼlum dastur asosida unga oʻzgarishlar kiritilib turiladi. Tarkib tekislashning aktiv usullarini ikki asosiy guruhga boʻlish mumkin.

Birinchi guruhga monokristall oʻstirish jarayoni davomidp eritmadagi kirishma konsentrasiyasini bir xil ushlab turish maqsadida eritmani (agar  $K < 1$  boʻlsa) toza holdagi, yoki (agar  $K > 1$  boʻlsa) legirlovchi kirishmali holdagi qattiq, suyuq yoki bugʻli faza

bilan oziqlantirib turadigan usullar kiradi. Ikkinchi guruhga monokristallar o'sish sharoitini o'zgartirib turadigan usullar kiradi. Bunda kristallanish jarayonini o'zgartirish dasturi, monokristallar o'stirish jarayoni davomida kirishmalarni egallab olish tezligining o'zgarmasligini ta'minlaydi.

**Kristallar tarkibining texnologik nojinsliliklari va ularni kamaytirish usullari.** O'stirilayotgan kristallar tarkibining bu turdagi nojinsliliklarining hosil bo'lishiga foydalanayotgan texnologik jarayonlarning va qurilmalarning mukammal emasligi sabab bo'ladi. Bularga vaqt bo'yicha pech temperaturasining nazoratsiz tebranishlari, eritma aralashishi sharoitining bir xil bo'lmasligini yuzaga keltiruvchi qurilma mexanik qismlarining harakat tezligining nobarqarorligi va boshqalar kiradi.

Jarayon va qurilmalarning bu nomukammalliklari kristallning uzunligi va ko'ndalang kesimi bo'yicha tarkibning xaotik lokal tebranishlarini hosil qiladi. Quyida kristallardagi nojinsliliklarga sabab bo'ladigan asosiy omillarni ko'rib chiqamiz.

Bu omillarning asosiylaridan bittasi kristallanish frontiga tegib turadigan eritmadagi suyuqlik oqimining notekis taqsimlanishidir. Buning natijasida eritmadagi diffuzion  $\delta$  qatlamning qalinligi kristallanish fronti sirtining har xil nuqtalarida har xil bo'lib qoladi. Bu esa o'sayotgan kristallning kesim yuzasida kirishmaning notekis taqsimlanishiga olib keladi.



Amalda  $\delta$  - qatlam qalinligining notekisligini kamaytirish maqsadida bir vaqtning o'zida tigel va kristallni qarama-qarshi tomonlarga aylantiriladi. Tajribalarning ko'rsatishicha, kristallning bir jinsligini oshirish uchun kristall maksimal, tigel minimal tezlik bilan aylantirilishi kerak ekan.

Elektr o'tkazuvchan eritmada suyuqlik oqimini kuchsizlantirish va mos holda o'sayotgan kristalldagi kirishmaning nojinsli taqsimotini yo'qotish maqsadida eritmali tigel magnit maydoniga joylashtiriladi. Bu esa o'tkazuvchan eritma harakatini sekinlashtiradi.

### **3.10.3. Gaz fazasidan o'stirish jarayoni davomida kristallarni legirlash**

Kristallarni legirlashda qo'llaniladigan usul ularni gaz fazasidan qanday usul bilan o'stirilayotganligi bilan aniqlanadi. Gaz fazasidan kimyoviy o'tqazish bilan kristallar o'stirishda berilgan tarkibli legirlovchi bug'li gaz aralashmasini hosil qilish usuliga mos holda legirlashning quyidagi asosiy usullari farq qilinadi:

1. Suyuq legirlash usuli ( yoki suyuq ligatur).
2. Individual legirlovchi birikmalar usuli.
3. Gazrazryadli usul.

Suyuq legirlash usulida legirlovchi kirishmaning manbai bo'lib o'tqazilayotgan asosiy elementning suyuq manbaidagi shu kirishmaning

suyuq birikmasining suyultirilgan eritmasi hisoblanadi. Masalan, kremniyni  $SiCl_4$  bug'laridan o'tqazishda kristallni fosfor bilan legirlashda toza suyuq  $SiCl_4$  ga aniq nisbatda ishchi holatda suyuq bo'lgan fosfor galogenidni  $PCl_3$  qo'shiladi. Bu usulda asosan  $25^{\circ}S$  da bug'larining elastikligi 600-27000 Pa bo'lgan suyuq ligaturlardan foydalaniladi. Odatda kristallardagi talab qilingan kirishmalarning konsentrasiyalari nisbatan katta bo'lmaganligi sababli ko'p marta suyultirilgan va kirishmalarning nisbiy miqdori  $10^{-9}$  dan  $10^{-2}$  gacha bo'lgan eritmalaridan foydalaniladi. Bular legirlash sathini  $10^{20}$  dan  $10^{25}$  at/  $m^3$  gacha bo'lishini ta'minlaydi. Suyuq fazadagi kirishma komponentining konsentrasiyasini aniq hisoblash qiyinligi sababli berilgan solishtirma qarshilikli kristall olish uchun amalda tajriba yo'li bilan topilgan quyidagi nisbatdan foydalaniladi:

$$C_q = A R_{kir} / R_{asos} , \quad (3.46)$$

bu erda  $C_q$  – kristalldagi berilgan kirishma konsentrasiyasi;  $A$  – o'zgarmas son;  $R_{kir} / R_{asos}$  – kirishma ( $R_{kir}$ ) va asos ( $R_{asos}$ ) komponenti bug'larining parsial bosimlari nisbati. Fosfor bilan legirlangan kremniyning epitaksial qatlamlarini o'stirishda bu nisbat quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi (  $m^{-3}$ ):

$$C_q = 2,6 \cdot 10^8 ( P_{PCl} / P_{SiCl} ) . \quad (3.47)$$

Kirishma birikmasi va uning asoslari uchuvchanligining har xilligi tufayli vaqt o'tishi bilan ularning nisbati o'zgarishi mumkin. Shu

sababli gaz fazali kirishma tarkibini saqlash maqsadida uni asosiy komponent bilan qo`shimcha ta`minlab turish uchun asosiy bug`lantirgich oldiga suyuq ligaturali bug`lantirgich o`rnatiladi. Agar asosiy komponentning uchuvchanligi kirishmaning uchuvchanligidan katta bo`lsa, unda kompensasiyalovchi bug`lantirgichning temperaturasi asosiy bug`lantirgichning temperaturasidan past bo`lishi kerak. Mana shunday sharoitda asosiy legirlovchi komponentning sarflanishi bilan kristallning solishtirma qarshiligi o`zgarmaydi.

Suyuq legirlash usuli kremniyning fosfor, mish`yak yoki borning konsentrasiyalari  $10^{20} - 10^{25}$  at/m<sup>3</sup> bo`lgan bir jinsli epitaksial qatlamlarini; sur`ma bilan legirlaganda esa legirlash sathi  $5 \cdot 10^{24}$  at/m<sup>3</sup> dan oshmaydigan epitaksial qatlamlarini olish imkoniyatini beradi.

Bu usulga qaraganda individual uchuvchi birikmalar usulida legirlash jarayonini ancha yaxshiroq boshqarish mumkin. Bunda kirishmali birikma oqimi alohida olinib, u kristall o`sadigan zona oldida ta`sirlanuvchi gazlarning asosiy oqimi bilan aralashadi. Berilgan konsentrasiyali kirishma birikmasi suyuq kirishmali birikma yoki gazsimon birikmalar (ishchi sharoitda) fosfin  $PN_3$ , arsin  $AsH_3$ , diboran  $B_2N_6$ , uchxloridli bor  $BCl_3$ , stibin  $SbH_3$  kabilar bo`lgan alohida bug`lantirgich orqali transportlovchi gaz o`tkazish bilan shakllantiriladi. Ko`pincha kristallarni legirlash uchun gazsimon kirishmali birikma sifatida

kirishmalarining gidridlaridan foydalaniladi. Bu birikmalar apparaturalarni kamroq ifloslantiradi. Legirlash qulayroq bo'lishi va zaharlanish xavfini kamaytirish uchun amalda bu birikmalarining vodorod yoki inert gazlari bilan kuchli suyultirilgan,  $10^{-4}$ - $10^{-3}$  % gidridli tayyor aralashmasidan foydalaniladi.

Bu usulning kamchiligi shundaki, bunda juda kichik miqdordagi gazsimon moddalarni aniq o'lchash kerakligidir. Masalan kichik konsentrsiyali kristallarni olish uchun ko'pincha ikki va uch boqichli suyultirish talab qilinadi. Bundan tashqari po'lat ballonlarda saqlangan kirishmalarining gidridlari vaqt o'tishi bilan sekin asta parchalanadi. Bu esa legirlash jarayonini boshqarishni qiyinlashtiradi. Bunday kamchilikni kristall o'stiriladigan qurilma oldidagi legirlovchi gazli aralashma hosil qiladigan kamerasi bo'lgan legirlash usullarida yo'qotish mumkin. Yarim o'tkazgichlar texnologiyasida qo'llanilayotgan bunday usullardan biri gazorazryadli legirlash usulidir. Bu usulning mohiyatini kremniyning legirlangan epitaksial qatlamlarini hosil qilish misolida ko'rib chiqamiz.

Kremniyning epitaksial qatlamlari o'stiriladigan reaktorga gaz magistrallarining bittasidan vodorod va tetraxlorid kremniy beriladi, boshqasidan esa gazorazryadli kameradan o'tgan vodorod beriladi. Kameraga III va V guruh elementlari materiallaridan tayyorlangan elektrodlar joylashtirilgan bo'ladi. Elektrod materiallari elektr o'tkazuvchan, yuqori darajada

bir jinsli hamda ishchi temperaturada yuqori bo'lmagan bug' bosimiga ega bo'lishi kerak. Kremniyning kovakli elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan epitaksial qatlamlarini hosil qilish uchun  $LaB_6$ ,  $B_4C$ ,  $AlB_{12}$  birikmalaridan tayyorlangan elektrodlardan foydalaniladi; elektronli epitaksial qatlamlarni hosil qilish uchun esa surma, 0,1% fosforli kremniy qotishmasi yoki 1%li mish'yakli surma qotishmasi kabi elektrodlardan foydalaniladi. Elektrodlar oralig'iga yuqori kuchlanish berilganda gazli razryad hosil bo'ladi. Natijada elektrodlardagi birikma asosida uchuvchan legirlovchi birikma hosil bo'ladi. Legirlash jarayoni quyidagi parametrlar yordamida boshqariladi: 1) razryad kamerasidan oqib o'tayotgan gazning tezligi; 2) razryadni qo'llab turuvchi kuchlanish kattaligini aniqlaydigan elektrodlar oralig'i masofasi; 3) razryad turini (biqsima, uchqunli, yoy) belgilovchi elektrodarga beriladigan quvvat; 4) impulsli kuchlanishdan foydalanilganda impulslar ketma ketligi chastotasi; 5) elektrodlar materiali.

Odatda elektrodlar oralig'i  $L$  10 mm gacha tanlab olinadi; bunda gaz razryadini uyg'otish uchun kerak bo'ladigan kuchlanish 2-15 kV ni tashkil qiladi; kuchlanish generatorining quvvati bir necha vattgacha bo'ladi.

## **Ilovalar**

### **1. Asosiy yarim o`tkazgichlarning elektr xossalari**

| Xossalari                                                                                                                                                                                                                                | Kremniy<br>Si                                       | Germaniy<br>Ge                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Taqiqlangan zona kengligi, eV:<br>0 K da. . . . .<br>300 K da. . . . .                                                                                                                                                                   | 1,21<br>1,10                                        | 0,756<br>0,66                                           |
| Taqiqlangan zona kengligining<br>temperaturaviy koeffitsienti, $10^{-4}$ ,<br>eV/K                                                                                                                                                       | - 4,1                                               | - 4,4                                                   |
| Xususiy solishtirma qarshiligi,<br>Om·sm, 300 K da. . . . .                                                                                                                                                                              | $2,5 \cdot 10^5$                                    | 47                                                      |
| Zaryad tashuvchilarning xususiy<br>konsentratsiyasi, 300 K da. . . . .                                                                                                                                                                   | $1,45 \cdot 10^{12}$                                | $2 \cdot 10^{18}$                                       |
| Kirishmalarsiz yarim o'tkazgichlarda<br>zaryad tashuvchilarning<br>harakatchanligi, 300 K da, $\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{c}$ :<br>elektronlar uchun . . . . .<br>kovaklar uchun . . . . .                                         | 1450<br>480                                         | 3900<br>1900                                            |
| Kirishmalarsiz yarim o'tkazgichlarda<br>zaryad tashuvchilarning harakatchan-<br>ligining temperaturaga bog'lanishi,<br>$\text{cm}^2 \cdot \text{K}/\text{V} \cdot \text{c}$ :<br>elektronlar uchun . . . . .<br>kovaklar uchun . . . . . | 1300·<br>$(T/300)^{-2}$<br>500·<br>$(T/300)^{-2,7}$ | 4500·<br>$(T/300)^{-1,6}$<br>3500·<br>$(T/300)^{-2,33}$ |

## 2. Eng ko'p tarqalgan kirishmalarning asosiy yarim o'tkazgichlardagi elektr xususiyatlari

|                     |                     |          |             |
|---------------------|---------------------|----------|-------------|
| Yarim<br>o'tkazgich | Neytral kirishmalar | Donorlar | Akseptorlar |
|---------------------|---------------------|----------|-------------|

|                 |                         |                   |                   |
|-----------------|-------------------------|-------------------|-------------------|
| Kremniy         | H, N, C, Ge, Sn, Pb, Ar | P, As, Sb, Li     | B, Al, Ga, In     |
| Germaniy        | H, N, C, Ge, Sn, Pb, Ar | P, As, Sb, Li     | B, Al, Ga, In     |
| Galliy arsenidi | H, N, B, Al, In, P, Sb  | Si, Sn, Te, S, Se | Zn, Cd, Be, Li    |
| Galliy fosfidi  | H, N, B, Al, In, As, Sb | Si, Sn, Te, S, Se | Be, Zn, Cd, Mg, C |

### 3. O`n va uning bo`laklariga karrali bo`lgan kattaliklarni hosil qilish uchun old qo`shimchalar va ularning nomlanishi

|           |            |
|-----------|------------|
| Ko`paytma | Old qo     |
|           | Nomlanishi |



|                                              |       |
|----------------------------------------------|-------|
| 1 000 000 000 000=10 <sup>12</sup>           | tera  |
| 1 000 000 000=10 <sup>9</sup>                | giga  |
| 1 000 000=10 <sup>6</sup>                    | mega  |
| 1 000=10 <sup>3</sup>                        | kilo  |
| 100=10 <sup>2</sup>                          | gekto |
| 10=10 <sup>1</sup>                           | deka  |
| 0,1=10 <sup>-1</sup>                         | desi  |
| 0,01=10 <sup>-2</sup>                        | santi |
| 0,001=10 <sup>-3</sup>                       | milli |
| 0,000 001=10 <sup>-6</sup>                   | mikro |
| 0,000 000 001=10 <sup>-9</sup>               | nano  |
| 0, 000 000 000 001=10 <sup>-12</sup>         | piko  |
| 0, 000 000 000 000 001=10 <sup>-15</sup>     | femto |
| 0, 000 000 000 000 000 001=10 <sup>-18</sup> | atto  |

#### 4. SI birliklar tizimidagi ingliz-amerika o`lchov

##### birliklari

##### Chiziqli o`lchovlar

| Kattaliklarning nomlanishi | SI birliklaridagi qiymatlar |
|----------------------------|-----------------------------|
| LIGA (dengiz)              | 5,56 km                     |
| LIGA (ustavli, statutli)   | 4,83 km                     |
| MILYA (dengiz)             | 1,852 km                    |
| MILYa (ustavli, statutli)  | 1,609 km                    |
| KABELTOV (Britaniua)       | 183 m                       |
| KABELTOV (AQSh)            | 219,5 m                     |
| YaRD                       | 914,4 mm                    |

|                |          |
|----------------|----------|
| FUT            | 304,8 mm |
| DYuYM          | 25,4 mm  |
| LINIYa         | 2,1 mm   |
| TOChKA (point) | 0,351 mm |
| KALIBR         | 0,25 mm  |
| MIL            | 0,025 mm |

### Yuza o`lchovlari

| Kattaliklarning nomlanishi | SI birlik |
|----------------------------|-----------|
| AKR                        | 0,        |
| AR                         |           |
| Kv. YaRD                   | 0         |
| Kv. FUT                    | 9         |
| Kv. DYuYM                  | 6         |
| Kv. LINIYa                 | 1         |

### Og`irlik o`lchovlari

| Kattaliklarning nomlanishi | SI birlik |
|----------------------------|-----------|
| FUNT                       |           |
| UNSIYa                     |           |
| DRAXMA                     |           |
| GRAN                       |           |

### Yuvelir o`lchovlari

| Kattaliklarning nomlanishi | SI birligi |
|----------------------------|------------|
| FUNT                       |            |
| UNSIYa                     |            |
| KARAT                      |            |
| GRAN                       |            |

### **Suyuqliklar uchun o`lchovlar**

| Kattaliklarning nomlanishi      | SI birligi |
|---------------------------------|------------|
| BARREL` (for liquids) British   |            |
| BARREL` (for liquids) U.S.      |            |
| BARREL` (for crude oil) British |            |
| BARREL` (for crude oil) U.S.    |            |
| GALLON British                  |            |
| GALLON U.S.                     |            |
| PINTA British                   |            |
| PINTA U.S.                      |            |
| RYuMKA                          |            |
| STOLOVAYa LOJKA                 |            |
| ChAYNAYa LOJKA                  |            |

### **5. Sharq o`lchovlari**

#### **Og`irlik o`lchovlari**

| Kattaliklarning nomlanishi | SI bir |
|----------------------------|--------|
| <b><i>Pud</i></b>          |        |
| Botmon                     |        |
| Min                        |        |
| Man                        |        |
| Misqol                     |        |
| Moshsha                    |        |
| Nimcha                     |        |
| Osor                       |        |
| Paysa                      |        |
| Sir                        |        |
| To`la                      |        |
| Harvar                     |        |
| Qadoq                      |        |
| Sari                       |        |
| Uqya                       |        |
| Qiyrat                     |        |
| Chaksa                     |        |
| Daxsar                     |        |

### Uzunlik, yo`l va yuza o`lchovlari

| Kattaliklarning nomlanishi | SI bir |
|----------------------------|--------|
| Arshin                     |        |
| Gaz                        |        |
| Qarich                     |        |
| Qari                       |        |

|                     |    |
|---------------------|----|
| <b><i>Tutam</i></b> |    |
| Tosh                |    |
| Farsax              | 8, |
| Chaqirim            |    |
| Tanob               |    |

## Adabiyotlar

1. Таиров Ю. М. , Цветков В. Ф. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов. М. Высшая школа 1986.

2. Крапухин В. В. , Соколов А. М. , Кузнецов Г. Д. Физико-химические основы технологии полупроводниковых материалов. М. Металлургия. 1982.

3. Электрон техника материаллари ва маҳсулотлари технологияси. Услубий кўрсатма. Пармонкулов И.П, Умирзақов Б.Е. ва бошқалар. Тошкент. 1999

4. Нормуродов М.Т., Умирзақов Б.Е., Пармонкулов И.П. Электрон техника материаллари ва қурилмалари технологияси. Дарслик. Тошкент. Мехнат. 2004.

5. Электронные, квантовые приборы и микроэлектроника – под ред. Н. Д. Федорова. М.; Радио и связь, 1998.

6. Барыбин А. А. , Сидоров В. Г.  
«Физико-технологические основы  
электроники». Санкт-Петербург. 2001.

7. Черняев В. Н. Физико-химические  
процессы в технологии РЭА. М. Высшая  
школа. 1987.

8. Поляков А.А. – «Технология  
керамических радиоэлектронных материалов» –  
М., Радио и связь, 1989.

## **Mundarija**

|                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Muqaddima</b> . . . . .                                                                                                                        | 3  |
| <b>3 - bob. Mikroelektronikada asosiy yarim o`tkazgichli va dielektrikli materiallar monokristallarini hosil qilish texnologiyasi..</b> . . . . . | 81 |
| 3.1. Qattiq fazadan kristallarni o`stirish. . . . .                                                                                               | 81 |
| 3.2. Suyuq fazadan kristallarni o`stirish. . . . .                                                                                                | 82 |
| 3.2.1. Eritmalarni normal yo`nalishli kristallash usullari. . . . .                                                                               | 83 |
| 3.2.2. Kristallarni eritmadan tortib o`stirish usullari. . . . .                                                                                  | 85 |
| 3.2.3. Zonali eritish usullari. . . . .                                                                                                           | 90 |
| 3.3. Gaz fazasidan kristallar o`stirish. . . . .                                                                                                  | 92 |
| 3.4. Profilli monokristallar hosil qilish. . . . .                                                                                                | 93 |
| 3.4.1. Shakllantirishning asosiy prinsiplari. . . . .                                                                                             | 93 |
| 3.4.2. Stepanov usuli bilan profilli kristallar o`stirish texnologiyasining xususiyatlari. . . . .                                                | 95 |



|                                                                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.5. Monokristall o`stirishda texnologik jarayonlarni boshqarish. . . . .                                           | 97  |
| 3.6. Asosiy monokristalli materiallar texnologiyasi. . . . .                                                        | 98  |
| 3.6.1. Kremniy monokristallini hosil qilish texnologiyasi. . . . .                                                  | 98  |
| 3.6.2. Galliy arsenidi monokristallarini hosil qilish texnologiyasi. . . . .                                        | 102 |
| 3.7. Nokristall materiallar texnologiyasi . . . . .                                                                 | 104 |
| 3.7.1. Shishasimon holat va uning xossalari. . . . .                                                                | 104 |
| 3.7.2. Shisha pishirishning fizik-kimyoviy asoslari . . . . .                                                       | 107 |
| 3.7.3. Shisha mahsulotlari texnologiyasi. . . . .                                                                   | 111 |
| 3.8. Keramika va shishakeramika materiallari texnologiyasi. . . . .                                                 | 112 |
| 3.8.1. Keramikali materiallar texnologiyasining asoslari. . . . .                                                   | 112 |
| 3.8.2. Eng asosiy keramik materiallar texnologiyasi. . . . .                                                        | 116 |
| 3.9. Sitallar texnologiyasi. . . . .                                                                                | 121 |
| 3.10. Yarim o`tkazgichli va dielektrik materiallar monokristallarini legirlashning fizik-kimyoviy asoslari. . . . . | 125 |
| 3.10.1. Kristallarni qattiq fazada legirlash. . . . .                                                               | 125 |
| 3.10.2. Kristallarni suyuq fazadan o`stirish jarayonida legirlash. . . . .                                          | 127 |

3.10.3. Gaz fazasidan o`stirish jarayoni davomida  
kristallarni legirlash . . . 140

**Ilovalar.** . . . . .103

**Adabiyotlar** . . . . . 107

**Mundarija.** . . . . .108

