

**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**

1 - 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 oʻtkazgichli va dielektrik materiallar hamda ular asosida mahsulotlar hosil qilishning texnologik jarayonlari bayon qilingan.

Oʻquv qoʻllanma oliy oʻquv yurtlarining “Elektronika va mikroelektronika” va “Nanotexnologiya” yoʻnalishlari talabalari va oʻqituvchilar uchun moʻljallangan.

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 elektronizatsiyalash 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.

1 - bob. Mikroelektronikada qo'llaniladigan materiallar to'g'risida umumiy ma'lumotlar

1.1. Mikroelektronika materiallarining tasnifi

Yarim o'tkazgichli asboblarning va mikroelektronika mahsulotlarini tayyorlashda ishlatiladigan materiallarni to'rtta guruhga bo'lish mumkin: *asosiy, texnologik, konstruktiv va yordamchi materiallar*.

Asosiy materiallarga yarim o'tkazgichli asboblarning, integral mikrosxemalar, yorug'lik nurlantiruvchi asboblarning, fotoo'zgartkichlar, quyosh batareyalari, qattiq jisimli lazerlar va boshqa ko'pgina mikroelektronika mahsulotlari tayyorlashda ishlatiladigan yarim o'tkazgichli materiallar kiradi.

Texnologik materiallarga mikroelektronika qurilmalarini ishlab chiqarish texnologik jarayonlarida qo'llaniladigan materiallar kiradi. Bular: boshlang'ich yarim o'tkazgichli quyma va plastinalarga mexanik ishlov berishda ishlatiladigan abraziv materiallar; yarim o'tkazgichli plastinalarni yog'sizlantirish va emirish uchun ishlatiladigan kimyoviy materiallar; yarim o'tkazgichli plastinalar sirtida har xil himoyalovchi dielektrik qoplamalar (SiO_2 , Si_3N_4 , Al_2O_3 plyonkalari) hosil qiluvchi kimyoviy reagentlar; plastina sirtida kerakli geometrik

shakldagi rel`ef suratini shakllantirish imkoniyatini beruvchi materiallar (foto-, rentgen- va elektronrezistlar); diffuzantlar – diffuziyali texnologik jarayonlarni o`tkazishda yarim o`tkazgichli plastinalarda kerakli turdagi elektr o`tkazuvchanlikli va solishtirma qarshilikli sohalarni hosil qiluvchi moddalar; legirlovchi materiallar (akseptorlar va donorlar) – yarim o`tkazgichlar va elektrod qotishmalarning elektrofizik xossalarini o`zgartirishda qo`llaniladigan moddalar; himoyalovchi materiallar (laklar, emallar, kompaundlar va boshqalar) – IMS aktiv va passiv elementlarini atrof muhit ta`siridan izolyasiyalashda qo`llaniladigan materiallar.

Konstruksion materiallar asosan yarim o`tkazgichli asboblardan va IMS korpuslarini tayyorlashda ishlatiladi. Bularga metallar, qotishmalar, shishalar, keramikalar, plastmassalar va elimlar kiradi.

Yordamchi materiallar bir qancha texnologik operatsiyalar (diffuziya, oksidlash, omik kontaktlar hosil qilish, quritish, yig`ish, kavsharlash, germetiklash va shu kabilar) ni o`tkazishda kerakli sharoitlar (gazli muhit) ni ta`minlashda ishlatiladi. Yordamchi materiallarga qo`shimcha aslahalar (kassetalar, lodochkalar, tigellar, podstavkalar, emirtirish qurilmalari va shu kabilar)ni tayyorlash uchun kerak bo`ladigan materiallar ham kiradi. Bulardan tashqari ko`pgina texnologik operatsiyalarda o`ta toza (distirlangan, deionlashgan) suvdan foydalaniladi. Tayyor

boʻlgan mahsulotlarga tovar koʻrinishini berish uchun har xil boʻyoqlardan foydalaniladi.

1.2 Metallar va qotishmalar tuzilishining fizik asoslari

Metallar deb, yuqori issiqlik va elektr oʻtkazuvchanlikka, ishlov berishlikka, plastiklikka, mustahkamlikka va oʻziga xos yaltiroqlikka ega boʻlgan moddalarga aytiladi.

Metallarning xossalari kristall panjaraalarining tuzilishiga bogʻliq boʻladi. Metallarning koʻpchiligi yoqli markazlashgan, hajm markazlashgan kub yoki zich joylashgan geksogonal panjarali boʻladi.

Metallarda valent elektronlar atomlarga tegishli boʻlmasdan balki umumlashgan holatda kristall panjara ichida erkin siljib yuradi. Bunday umumlashgan valent elektronlar “elektronli gaz” ham deyiladi. Valent elektronlarini bergan atomlar musbat zaryadlangan ionlarga aylanadi va kristall panjara tugunlarida elektronlar bilan boʻladigan elektrostatik taʼsir natijasida ushlab turiladi. Shunday qilib, bunday materiallardagi metall bogʻlanish erkin valent elektronlar bilan musbat zaryadlangan ionlarning oʻzaro taʼsiri natijasida boʻladi.

Metallar qora (temir) va rangli (alyuminiy, magniy, mis, rux va xokazolar)ga boʻlinadi. Bular esa oʻz navbatida engil, ogʻir, qiyin eruvchan, nodir, kamyob, radiaktiv, transuran va xokazolarga boʻlinadi.

Metallli qotishma deb, har xil metallarning bir fazali yoki ko`p fazali aralashmalariga aytiladi.

Ikki yoki bir necha metallarning birgalikda eritilganda hosil bo`ladigan fazalar yo qattiq qotishmalar, yo intermetall birikmalar ko`rinishida bo`ladi. Qattiq qotishma hosil bo`lganda metall – eritkichning kristall panjarasi saqlanadi. Kristall panjara turlari bir xil bo`lgan ko`pgina metallar bir-biri bilan ixtiyoriy nisbatlarda aralashib qattiq qorishmalarning uzluksiz qatorini hosil qiladi. Biroq shunday metallar ham borki, ular biri-biri bilan chekli eriydi yoki umuman qattiq fazada erimaydi.

Qattiq qorishmalarda uch xil turdagi struktura kuzatiladi: o`rin olish, kirish va ayrish. O`rin olish kuzatiladigan qattiq qorishmalarda erigan metallning atomlari kristall panjara tugunlarida joylashgan metall – eritkich atomllarining o`rniga o`tiradi. Bunda ular ma`lum bir qonuniyat asosida taqsimlanadi. Kirish kuzatiladigan qattiq qorishmalarda erigan metallning atomlari eritkich metall atomlarining o`rnini olmasdan, uning kristall panjarasidagi atomlar oralig`iga joylashadi. Kirish kuzatiladigan qattiq qorishmalar atom radiuslari kichik bo`lgan metallar eriganda hosil bo`ladi. Ayrish kuzatiladigan qattiq qorishmalar qotishma komponentlarining birortasining etishmasligi natijasida hosil bo`ladi.

Erituvchi va erigan metallarning atomlari har xil radiusga ega bo`lganligi sababli qattiq qorishmaning kristall panjarasi o`rin olishda

nisbatan kamroq, kirish va ayrish strukturalarda esa ko`proqqa buziladi.

1.3. Yarim o`tkazgichlar va ularning xossalari

*Yarim o`tkazgichlar* deb, elektr o`tkazuvchanliklari metall va dielektriklar oralig`ida bo`lgan moddalarga aytiladi.

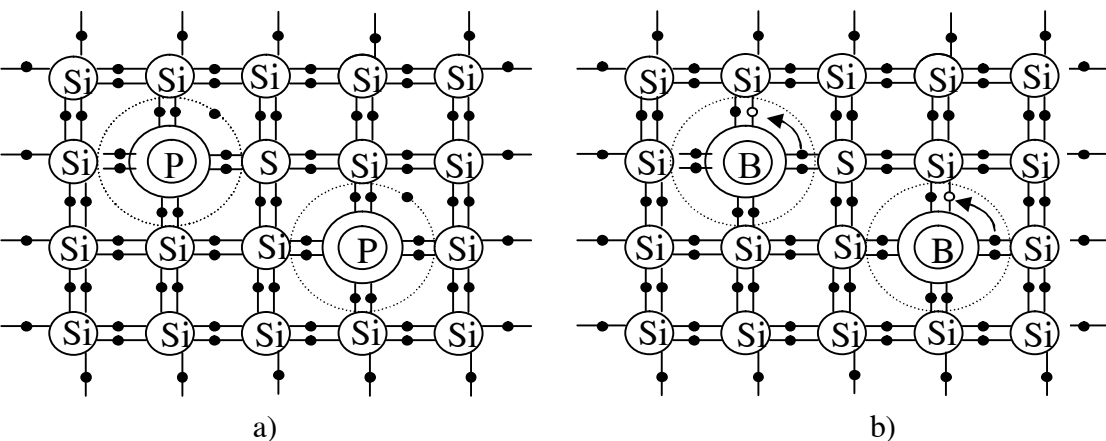
Biroq bu ta`rif qisman to`g`ri bo`lib, yarim o`tkazgichlarga xos bo`lgan xususiyatlarning hammasini o`zida aks ettira olmagan. Bu ta`rifni to`ldirish uchun yarim o`tkazgichlarning ikkita xususiyatini qo`shimcha qilish kerak. Birinchidan, temperatura oshishi bilan yarim o`tkazgichlarning elektr o`tkazuvchanligi oshadi, ikkinchidan, bu o`tkazuvchanlik kristall panjara davriyligini buzadigan yarim o`tkazgichdagi har xil kirishmalar va strukturaviy nuqsonlarning konsentrasiyalariga kuchli bog`liq bo`ladi. Yarim o`tkazgichga kirishma kiritilganda faqatgina uning elektr o`tkazuvchanligi o`zgarmasdan, balki temperaturaga bog`lanishining xarakteri ham o`zgaradi. Yarim o`tkazgichlar asosida mikroelektronika mahsulotlarini tayyorlashda asosiy kriteriy ularning kristall strukturasining mukammalligi hisoblanadi.

Yarim o`tkazgichlar materialining tozaligi bo`yicha *xususiy* va *kirishmali yarim o`tkazgichlarga* bo`linadi.

Xususiy yarim o`tkazgichlarda kirishmalar bo`lmaydi. Biroq kirishmasiz yarim o`tkazgich olish oson emas. Shu sababli xususiy yarim

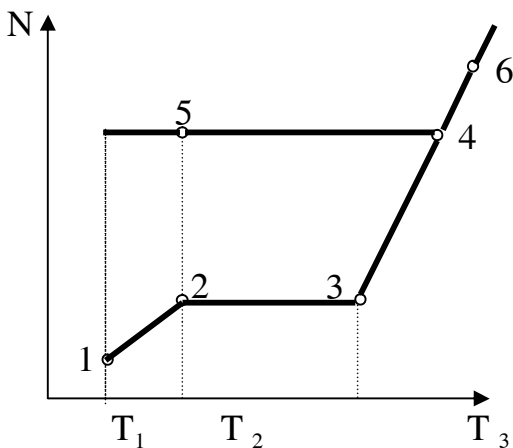
o`tkazgich deyilganda, undagi qoldiq kirishmalarning ta`sirini ma`lum bir temperaturagacha hisobga olmasa ham bo`ladigan yarim o`tkazgichlar tushiniladi. Xususiylar yarim o`tkazgich absolyut nol temperaturada (-273°C) elektr o`tkazuvchanlikka ega emas, chunki undagi valent elektronlar erkin holatda bo`lmaydi. Demak absolyut nolda yarim o`tkazgichlar xuddi dielektriklarday bo`ladi. Absolyut noldan farqli temperaturalarda elektron biror bir kovalent bog`ning uzilishi natijasida atomdan ajraladi (masalan, yarim o`tkazgichli materialga issiqlik ta`sir ettirilganda). Natijada xususiylar yarim o`tkazgichda erkin elektron va uzilgan (to`lmagan) bog` hosil bo`ladi. Uzilgan yoki to`lmagan bog` shartli ravishda musbat zaryadga ega bo`lgan zarracha ya`ni kovak deb qabul qilingan. Demak xususiylar yarim o`tkazgichlarda erkin elektronlar soni kovaklar soniga teng bo`ladi.

Kirishmali yarim o`tkazgichlarda ularning elektrofizikaviylar xossalari kiritilayotgan kirishmaning turi va miqdori bilan aniqlanadi. Kiritilgan kirishmaning turiga bog`liqlar holda elektron – n turdagi va kovak – p turdagi elektr o`tkazuvchanlikli yarim o`tkazgichlar bir-biridan farq qilinadi. Qo`shimcha elektronlar yoki kovaklar hosil qiladigan kirishmalar mos holda donorlar va akseptorlar deyiladi (1.1-rasm: a,b).



1.1-rasm. Kirishmali yarim o'tkazgichlarning strukturasi: a – fosfor bilan legirlangan n – turli kremniy; b – bor bilan legirlangan p-turli kremniy

Kiritilayotgan kirishmaning konsentratsiyasi ma'lum bir qiymatdan oshganda hosil bo'layotgan kirishma zonasi o'tkazuvchanlik zonasi bilan birlashib ketadi. Bunday yarim o'tkazgichlar *aynigan* yarim o'tkazgichlar deyiladi. Aynigan yarim o'tkazgichlarda kirishmali eektr o'tkazuvchanlik kuzatiladigan temperaturalar oralig'ida elektr o'tkazuvchanligining qiymati o'zgarmas bo'lib temeraturaga bog'liq bo'lmaydi. Shunday qilib, aynigan yarim o'tkazgichlar yuqori elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'ladi va ularni yarim metall ham deyishadi. Zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi N ning har xil turdagi yarim o'tkazgichlarda temperatura T ga bog'liqligi 1.2-rasmda keltirilgan.



1.2-rasm. Donor kirishma konsentratsiyalari har xil bo'lgan yarim o'tkazgichlarda zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining temperatura bog'liqligi: 1-2 va 2-3 – kirishmali, 3-6 xususiy, 5-4 - aynigan

T
emperat
ura T_1
dan T_2
gacha
oshirilga
nda
kirishma
atomlar
i
(donor)
hisobiga
erkin
elek-
tronlar
hosil
bo'ladi

va erkin zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi oshadi (1-2 kesma). Temperaturaning keyingi T_2 dan T_3 gacha oshishida zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi o'zgarmaydi (2-3 kesma), chunki hamma kirishma atom-larining yarim o'tkazgich atomlari bilan kovalent bog'lanmagan elektronlari erkin bo'lib qoladi, yarim o'tkazgich atomlarining elektronlari esa o'z atomlari bilan kovalent bog'langan holda bo'ladi. T_3 dan yuqori temperaturalarda xususiy yarim o'tkazgichning atomlari orasidagi kovalent bog'larning uzilishi natijasida erkin elektronlar hosil bo'la boshlaydi va erkin zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi yana osha boshlaydi (3-6 kesma). Donor kirishmaning katta konsentratsiyalarida yarim

o`tkazgich aynigan holatga o`tdi va uning temperaturaviy bog`lanishi ikki kesmadan iborat siniq chiziqli tarzida ifodalanadi (5-4 va 4-6 kesmalar). 5-4 kesma oralig`ida zaryad tashuvchilarning miqdori o`zgarmaydi, 4-6 kesma oralig`ida esa xususiy yarim o`tkazgich kovalent bog`larning uzilishi natijasida ularning konsentratsiyasi yana osha boshlaydi.

Yarim o`tkazgichlarga xos xususiyatlardan biri ularning elektr o`tkazuvchanligining yorug`likka bog`liqligidir. Yorug`lik ta`sirida hosil bo`layotgan qo`shimcha erkin elektronlar hisobidagi elektr o`tkazuvchanlik fotoo`tkazuvchanlik deyiladi. Bunda yarim o`tkazgichning tabiatiga bog`liq holda erkin elektronlar tushayotgan nur ul`trabinafsha sohadan infraqizil sohagacha o`zgarganda hosil bo`lishi mumkin. Yarim o`tkazgichning fotoo`tkazuvchanligi tushayotgan nurning intensivligiga va to`lqin uzunligiga bog`liq bo`ladi. Yarim o`tkazgichlarga xos bo`lgan yana bir xususiyatlardan biri unda hosil qilingan temperatura farqi natijasida termoelektr yurituvchi kuch deb ataladigan potentsiallar farqining hosil bo`lishidir. Kirishmalar bir tekis taqsimlangan yarim o`tkazgich kristalli notekis qizdirilganda unda zaryad tashuvchilarning konsentratsiyalari farqi hosil bo`ladi. Buning natijasida issiqroq sohadan sovuqroq sohaga zaryad tashuvchilarning diffuziya oqimi yuzaga keladi, bu esa termoelektr yurituvchi kuchning (termoe.yu.k) hosil bo`lishiga sabab bo`ladi.

Yarim o'tkazgich namunasidan ma'lum yo'nalishda elektr toki o'tayotganda unga tok yo'nalishiga perpendikulyar bo'lgan magnit maydoni ta'sir ettirilsa namunaning yon yoqlari orasida potentsiallar farqi hosil bo'ladi. Bu pol'tensiallar farqi Xoll e.yu.k. deyiladi (Xoll effekti).

Bundan tashqari yarim o'tkazgichning xossalari zaryad tashuvchilarning harakatchanligiga, yashash vaqti va diffuziyali uzunlik kabi parametrlar bilan xarakterlanadi.

Zaryad tashuvchilarning harakatchanligi deganda, ularning tartibli harakati o'rtacha tezligining elektr maydoni kuchlanganligiga bo'lgan nisbati tushiniladi:

$$\mu = \frac{g_{o'r}}{E}, \left[\frac{m^2}{V \cdot s} \right] \quad (1.1)$$

Harakatchanlik SI birliklar sistemasida $m^2/V \cdot s$ bilan o'lchanadi. Amalda esa ko'proq $cm^2/V \cdot s$ birligidan foydalaniladi.

Haqiqatdan ham, elektr maydoni ta'sirida zaryad tashuvchilar ma'lum bir tartibli harakat (dreyf) tezligiga ega bo'lib, elektr tokini hosil qiladi. Elektr o'tkazuvchanligi n - va r -turli bo'lgan yarim o'tkazgichlarda elektronlarning harakatchanligi - μ_n va kovaklarning harakatchanligi - μ_p larning qiymatlari bir - biridan farq qiladi. Ko'p hollarda $\mu_n > \mu_p$ bo'ladi.

Zaryad tashuvchilarning yashash vaqti deganda, tashqi ta'sir to'xtagandan so'ng ortiqcha

konsentrasiyaning e marta kamayadigan vaqt tushiniladi (e – natural logarifm asosi). Umuman, yashash vaqti bu zaryad tashuvchining hosil bo'lgan (generasiya) vaqtdan to'yoq bo'lib ketishgacha (rekombinasiya) bo'lgan vaqt oralig'idir. Zaryad tashuvchilarning yashash vaqti xususiy yarim o'tkazgichlarda eng katta bo'ladi. Kirishmali yarim o'tkazgichlarda esa kamayadi, ayniqsa agar ularning kristall strukturasi nuqsonlar miqdori ko'p bo'lsa bu kamayish sezilarli bo'ladi. Temperatura oshishi bilan yashash vaqti oshadi, chunki bu holda zaryad tashuvchilarning nuqsonlar tomonidan ushlab qolinishi qiyinlashadi.

Diffuziyali uzunlik deganda, elektr va magnit maydonlarining ta'sirlari to'xtagandan so'ng yarim o'tkazgichdagi zaryad tashuvchilarning ortiqcha konsentrasiyasi e marta kamayadigan masofa tushiniladi. Boshqacha aytganda, zaryad tashuvchi o'zining yashash vaqti davomida diffuziya natijasida siljiydigan masofa diffuziyali uzunlik deyiladi.

1.4. Dielektriklar va ularning xossalari

Dielektriklar deb, amalda elektr toki o'tkazmaydigan moddalarga aytiladi. Dielektriklar qattiq, suyuq va gazsimon bo'ladi.

Mikroelektronikada eng ko'p qattiq dielektriklar qo'llanilishi sababli, ularda kuzatiladigan asosiy fizik jarayonlarni ko'rib chiqamiz.

Tashqi elektr elektr maydoniga kiritilgan dielektrlarlarda *qutblanish* jarayoni yuz beradi. Bunda dielektrlarning har bir elementar hajmida elektr dipol momenti hosil bo`ladi. Tashqi elektr maydoni ta`sirisiz o`z-o`zidan (spontan) qutblanish yuz beradigan dielektrlar segnetoelektrlar deyiladi. Dielektrlarda qutblanish mexanik kuchlanish ta`sirida ham yuz berishi mumkin. Dielektrlarda qutblanish jarayonlari *dielektrlar singdiruvchanlik* va *dielektrlar qabul qiluvchanlik* deb ataladigan kattaliklar bilan xarakterlanadi.

Dielektrlarning *dielektrlar singdiruvchanligi* izolyator sifatida shu dielektrlardan foydalanilgan kondensator sig`imining izolyatori vakuum bo`lgan kondensator sig`imiga nisbati bilan aniqlanadi.

Dielektrlar qabul qiluvchanlik dielektrlarning elektr maydonida qutblana olish qobiliyatini ko`rsatadi.

Dielektrlarning asosiy xarakteristikalaridan biri bu *sirt elektr o`tkazuvchanligidir*. Dielektrlar sirtida yuz beradigan fizik jarayonlar namli va gazlar adsorbsiyalangan qatlamlarning hosil bo`lishiga bog`liq. Dielektrlarning sirtida yupqa namli qatlamning hosil bo`lishi unda sezilarli sirt elektr o`tkazuvchanlikning hosil bo`lishiga sabab bo`ladi. Bundan tashqari, dielektrlarning sirt elektr o`tkazuvchanligi sirtidagi iflosliklar, nuqsonlarning miqdori va xarakteriga hamda o`lchash o`tkazilayotgan muhitning nisbiy namligiga kuchli bog`liq bo`ladi. Dielektrlarning sirt elektr o`tkazuvchanligini kamaytirish uchun

ularning sirtiga astoydil ishlov beriladi va iflosliklardan tozalaniladi.

Dielektrlarda elektr maydonining uzluksiz ta'siri natijasida ma'lum bir miqdorda issiqlik ajraladi, ya'ni elektr quvvatining yo'qolishi ro'y beradi. Bu *dielektrik yo'qotish* deyiladi va u dielektrik yo'qotish burchagi yoki uning tangensi bilan xarakterlanadi. Sig'imli zan-jirda tok va kuchlanish orasidagi faza siljish burchagi - φ ni 90° gacha to'ldiruvchi burchak *dielektrik yo'qotish burchagi* - δ deyiladi. Ideal dielektrlarda faza siljish burchagi φ 90° ga teng bo'ladi va dielektrik yo'qotish burchagi δ esa nolga teng bo'ladi. Real dielektrlarda δ noldan farqli bo'ladi va dielektrlarda sochilayotgan quvvat qancha katta bo'lsa faza siljish burchagi shuncha kichik, dielektrik yo'qotish burchagi esa shuncha katta bo'ladi.

Elektr maydonining katta qiymatlarida dielektrikning *teshilishi* ro'y beradi. Bunda elektr maydoni kuchlanganligining ma'lum bir kritik qiymatdan oshib ketishi natijasida dielektrikning izolyasiyalovchi xossasi yo'qoladi. Dielektrikning teshilishiga olib keladigan eng kichik kuchlanish *teshuvchi kuchlanish* va bunga to'g'ri keladigan elektr maydon esa *dielektrikning elektr mustahkamligi* deyiladi.

1.5. Magnitli materiallar va ularning xossalari

Ba'zi bir materiallar tashqi magnit maydoni ta'sirida magnit momenti – M ga ega bo'lib

qoladi. Materialning birlik xajmiga to'g'ri keladigan magnit momenti *magnitlanganlik* – J_m deyiladi:

$$J_m = M / V \quad (1.2)$$

Magnitlanganlik magnit maydoni kuchlanganligi bilan *magnit qabul qiluvchanlik* deb ataladigan koeffitsient bilan bog'lanadi:

$$J_m = k_m N, \quad (1.3)$$

bu erda k_m – magnit qabul qiluvchanlik bo'lib, u razmersiz bo'lib berilgan moddaning magnit maydonida magnitlana olish xususiyatini xarakterlaydi.

Magnit maydonining ta'siriga bog'liq holda hamma materiallar beshta guruhga bo'linadi: *diamagnetiklar*, *paramagnetiklar*, *ferromagnetiklar*, *antiferromagnetiklar* va *ferrimagnetiklar*.

Diamagnetiklarga magnit qabul qiluvchanligi manfiy va u tashqi magnit maydon kuchlanganligiga bog'liq bo'lmaydigan moddalar kiradi. Masalan, ba'zi bir metallar (mis, kumush, oltin, rux kabilar), yarim o'tkazgichlar (germaniy, kremniy, $A^{III}V^V$ $A^{II}V^{VI}$ kabi birikmalar) va ko'pchilik organik birikmalar. Bularda magnit qabul qiluvchanlikning qiymati $k_m = - (10^{-6} - 10^{-7})$ atrofida bo'ladi.

Paramagnetiklarga magnit qabul qiluvchanligi musbat va u tashqi magnit maydon kuchlanganligiga bog'liq bo'lmaydigan moddalar kiradi. Paramagnetiklarga ishqor, ishqorli-er va ba'zi bir oraliq metallar, temir, kobalt, nikel va

kamyob elementlar tuzlari misol bo`ladi. Bularda magnit qabul qiluvchanlikning qiymati xona haroratida  $k_m = (10^{-3} - 10^{-6})$  atrofida bo`ladi.

Ferromagnetiklarga magnit qabul qiluvchanligi katta va musbat hamda uning qiymati tashqi magnit maydon kuchlanganligiga va temperaturaga kuchli bog`liq bo`lgan moddalar kiradi. Bularda magnit qabul qiluvchanlikning qiymati 10^6 gacha bo`ladi. Ferromagnetiklarning eng asosiy xossalardan biri bu ularning kuchsiz magnit maydonlarida ham magnitlana olishidir. Ferromagnetiklarga temir va ikki (kam hollarda - bir) valentli metallar oksidlari asosidagi murakkab tarkibli moddalar kiradi.

Antiferromagnetiklarga katta bo`lmagan musbat va temperaturaga kuchli bog`liq bo`lgan magnit qabul qiluvchanlikka ega bo`lgan moddalar kiradi. Bularda magnit qabul qiluvchanlikning qiymati $k_m = (10^{-3} - 10^{-5})$ atrofida bo`lib temperaturaga kuchli bog`liq bo`ladi. Antiferromagnetiklar qizdirilganda paramagnetik holatga o`tadi. Bularga xrom, marganes, kamyob er elementlari misol bo`ladi.

Ferrimagnetiklarga magnit qabul qiluvchanligi katta va uning qiymati magnit maydoni hamda temperaturaga bog`liq bo`lgan moddalar kiradi. Ferrimagnetiklarning magnit xossalari kompensirlanmagan antiferromagnetizm hisobiga yuzaga keladi. Bunday materiallarga oksidli birikmalar-ferritlar kiradi.

Dia -, para- va antiferromagnit materiallarni kuchsiz magnit moddalar guruhiga, ferro- va

ferrimagnit materiallarni esa kuchli magnit moddalar guruhiga kiritish mumkin

Monokristalli ferromagnit materiallarning magnit xossalari har xil kristallografik yo`nalishlarda har xil bo`ladi, ya`ni *magnit anizotropiyaga* ega bo`ladi. Ferromagnit materiallarda kuchsiz va kuchli magnitlanish olish yo`nalishlari mavjud bo`ladi.

Materiallarning magnit xossalari magnit singdiruvchanlik deb ataladigan kattalik bilan xarakterlanadi. Bu kattalik magnit induksiyasining magnit maydoni kuchlanganligining magnit doimiysiga bo`lgan ko`payitmasiga nisbatiga teng bo`ladi:

$$\mu = B / \mu_0 N, \quad (1.4)$$

bu erda $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Gn/m – SI birliklar sistemasidagi magnit doimiysi. Magnit singdiruvchanlik bilan magnit qabul qiluvchanlik bir-biri bilan quyidagicha bog`langan:

$$\mu = 1 + k_m \quad (1.5)$$

Magnit materiallarining asosiy xossalaridan bittasi bu – *magnitstriksiya* bo`lib, bunda magnit maydoni o`zgarganda, masalan, ferromagnetik namunalarning geometrik (chiziqli) o`lchamlari o`zgaradi. Magnitstriksiya magnit maydoni ta`siri yo`nalishida namunaning nisbiy deformasiyasi bilan baholanadi.

Materiallarning magnit xossalariga temperatura katta ta`sir ko`rsatadi. Ferromagnetiklar qizdirilganda ularning spontan

magnitlana olishi kamayadi, magnit singdiruvchanlik avvaliga oshadi, maksimumga erishgandan so`ng esa kamaya boshlaydi, hamda magnitstriksiya effekti va magnit kristallografik anizotropiyasi kuchsizlanadi.

1.6. Plastik materiallar va ularning xossalari

Plastmassalar deb, tabiiy yoki sintetik smolalar (polimerlar) asosida olinadigan hamda qizdirish va bosim ta`sirida kerakli shakldagi mahsulot tarzida shakllanadigan, keyin esa bu shaklni uzoq vaqt saqlaydigan materiallarga aytiladi.

Plastmassalar *asosdan* (*bog`lovchi moddadan*), *to`ldirg`ichdan*, *qotirg`ichdan*, *plastifikator*dan va *yoqlovchi qo`shilmalardan* tashkil topadi. Bog`lovchi modda sifatida har xil epoksidli, kremniyorganikli va poliefirli smolalardan foydalaniladi. To`ldirg`ich shisha kukuni, tal`k, asbest, grafit yoki boshqa materiallardan iborat bo`lib, plastmassalar-ning kerakli mexanik xossalarini ta`minlaydi. Qotirg`ich plastmassaning eng kerakli tashkil etuvchi qismi bo`lib, u smolalarning suyuq cho`ziluvchan holatdan qattiq holatga o`tishini ta`minlaydi. Qotirg`ich sifatida dietilentriamin, geksametilendiamin va boshqalardan foydalaniladi. Plastifikator plastmassaning elastikligini oshiradi. Plastifikator sifatida ko`p atomli spirtlarning efirlari, olein kislotasi, stearin va dibutilftalatlar ishlatiladi. Yog`lovchi qo`shilmalar (vosk, parafin)

plastmassaning qolip devoliga yopishib qolishining oldini oladi.

Bog'lovchi materialning turi bo'yicha plastmassalar termoplapstik va termoreaktivga bo'linadi.

Termoplastik plastmassalar sovutilgan suyuq holatdan qattiq holatga va qayta qizdirilganda esa qattiq holatdan suyuq holatga o'tishi mumkin, ya'ni termoaqaytuvchan bo'ladi.

Termoreaktiv plastmassalar harorat ta'sirida suyuq holatdan qattiq holatga (sovutilganda) o'tadi, lekin qayta qizdirilganda qattiq holatdan suyuq holatga o'tmaydi, ya'ni termoaqaytmas bo'ladi.

Plastmassalarning xossalari tarkibga va tashkil etuvchilarning miqdoriy nisbatlariga bog'liq bo'ladi. Ularning asosiy xususiyatlari quyidagicha: zichligining kamligi ($1-2 \text{ g/sm}^3$); issiqlik o'tkazuvchanligining kichikligi; temperaturaviy chiziqli kengayish koeffisientining qiymati $5 \cdot 10^{-6}$ dan $10^{-4} \text{ 1/}^\circ\text{S}$ gacha bo'ladi; yaxshi elektr izolyasiyalovchi hossalarga egaligi (dielektrik singdirivchanligi 1-10 ga teng, solishtirma qarshiligi – $10^{12} - 10^{18} \text{ Om}\cdot\text{sm}$, dielektrik yo'qotishlar 0,1 dan oshmaydi, elektr mustahkamligi esa 10-70 kV/mm ni tashkil qiladi); korroziya va kimyoviy chidamligi yuqori; mexanik hamda texnologik xossalarning yaxshiligi (shakl berish, presslash va quyish imkoniyatlari).

Plastmassalarni ishlatilishiga qarab shartli ravishda quyidagi guruhlariga bo'lish mumkin:

yuqori mexanik xossalarga ega bo`lgan konstruksiyaviy; dielektrik xossalari yaxshi bo`lgan elektrizolyatsiyaviy; uzoq kimyoviy ishlov berish va yuqori namlik sharoitida xossalarini saqlab qola oladigan namlikka va kimyoviy chidamli; urilishga mustahkamlikli; issiqlikka chidamli; radiasiyaga chidamli; tropik iqlimga chidamli; tebranishga chidamli; yorug`lik texnikasi va optikaviy.

2- bob. Elektron texnika materiallarini hosil qilishda xomashyo materiallariga qayta ishlov berish jarayonlari

2.1. Elektron texnika materiallari texnologiyasidagi asosiy jarayonlarning umumiy xarakteristikalar

Elektron texnika materiallarini xosil qilishning texnologik jarayoni xomashyoni o`tkazgichlar, yarimo`tkazgichlar, dielektriklar va magnit materiallariga aylantiradigan usullar va jarayonlarning yig`indisidir. Texnologik sxema deganda mos apparatlarda kechadigan operatsiyalar ketma ketligi tavsiflangan usullar tushuniladi. Operatsiya – bitta yoki bir qancha uskunalarda kechadigan har xil texnologik jarayonlar: issiqlik, massa almashuvi, mexanik, kimyoviy va shu kabi

jarayonlar yig'indisidan iborat bo'ladi. Elektron texnika materiallari asosan kimyoviy texnologik jarayon yordamida hosil qilinib, ular o'z navbatida bir qancha elementar fizikaviy, fizik-kimyoviy va kimyoviy jarayondan tashkil topadi. Ular quyidagi bosqichlarga bo'linadi:

1. Xomashyo tayyorlash va reaksiya zonasiga komponentlarni olib kelish.

2. Kimyoviy reaksiya.

3. Hosil bo'lgan maxsulotlarni reaksiya zonasidan olib ketish va asosiy mahsulotni ajratib olish.

Birinchi bosqichda kechadigan fizikaviy jarayonlar natijasida qayta ishlanayotgan materiallar faqat tashqi shakllarini yoki fizikaviy xossalarini o'zgartiradi va ikkinchi bosqichga kimyoviy o'zgarishdan o'tadi. Reaksiyaga kirishadigan komponentalar reaksiya zonasiga gazlarning diffuziyasi yoki konveksiyasi, absorbsiyasi yoki desorbsiyasi, bug'larning kondensasiyasi, qattiq moddalarning suyultirilishi yoki ularning suyuqliklarda eritilishi, suyuqliklarning bug'lanishi yoki qattiq moddalarning vozgonkasi orqali olib kelinadi.

Ikkinchi bosqichda kechadigan jarayonlar natijasida boshlang'ich materiallarda chuqur o'zgarishlar yuz beradi. Buning natijasida nafaqat fizik xossalar balki moddaning agregat holati va kimyoviy tarkibi ham o'zgaradi.

Uchinchi bosqichda kimyoviy o'zgarishlar kuzatilmaydi, faqat ajralish bo'ladi: kerakli

(asosiy) va qo`shimcha mahsulotlar ajratib olinadi va qolganlari jarayon boshiga qaytariladi.

Texnologik jarayonni tashkil etish va optimallashtirishda texnologik rejimning ahamiyati katta. Texnologik rejim deb jarayonning tezligiga, mahsulotning chiqishi va sifatiga ta`sir etuvchi asosiy omillar (parametrlar) yig`indisiga aytiladi.

Elektron texnika materiallari ishlab chiqarishda texnologik rejim-ning asosiy parametrlariga: harorat, bosim, reagentlarni olib kelish va aralashtirish usullari hamda boshqalar kiradi. Texnologik rejim parametrlarining optimal qiymatlari apparatlarning sermahsulligini va personalning mehnat umumdorligi maksimal bo`lishini ta`minlashi kerak. Texnologik jarayonlar vaqt bo`yicha kechish xarakteriga qarab 3 xil bo`ladi:

1. Davriy.
2. Uzluksiz.
3. Kombinatsiyali.

Davriy jarayon alohida bosqichlarning bitta joyda kechishini ifodalaydi va bunda oxirgi mahsulot apparatdan ma`lum bir vaqt oralig`ida to`liq yoki qisman olib turiladi.

Uzluksiz jarayonda oxirgi mahsulot uzluksiz ravishda olib turiladi, bunda uzluksiz ishlayotgan apparatning ixtiyoriy qismidagi fizik kattaliklar va parametrlar jarayonning kechish vaqtida o`zgarishsiz turadi.

Kombinatsiyali jarayonda uzluksiz jarayonning ba`zi bir bosqichlari davriy bo`ladi

yoki davriy jarayonning baʼzi bir bosqichlari uzluksiz boʻladi.

Uzluksiz boshqariladigan jarayon boshqalarga qaraganda bir qator ustunliklarga ega.

2.2. Issiklik uzatish jarayonlari

Jismlar orasida issiqlik koʻchishi yoki issiqlik almashuvi jarayonining harakatlantiruvchi kuchi haroratlar farqi boʻlib, buning natijasida termodinamikaning ikkinchi qonuniga binoan, issiqlik oʻz holicha issiqroq jismdan issiqligi kamroq jismga oʻtadi.

Issiqlik tarqalishining uchta usuli mavjud:

1. Issiqlik oʻtkazuvchanlik hisobiga.
2. Issiqlik nurlanishi hisobiga.
3. Konveksiya.

Real sharoitlarda issiqlik almashishining bu turlari alohida kuzatilmasdan koʻpincha ular bir biri bilan bogʻliq holda birgalikda namoyon boʻladi. Masalan, konveksiya koʻpincha issiqlik nurlanishi bilan birgalikda kechadi, gʻovak jismlarda issiqlik oʻtkazuvchanlik - konveksiya va gʻovaklardagi nurlanish bilan, issiqlik nurlanishi esa issiqlik oʻtkazuvchanlik va konveksiya bilan kechadi.

2.2.1. Issiklik oʻtkazuvchanlik hisobiga issiqlik uzatish

Issiqlik oʻtkazuvchanlik hisobiga issiqlik uzatishning asosiy qonuni Fur'e qonunidir. Bu

qonunga binoan, issiqlik oqimiga perpendikulyar boʻlgan dS sirt yuzasi elementiga $d\tau$ vaqt ichida tushayotgan dQ issiqlik miqdori temperatura gradienti dT/dx ga, sirt yuzasi elementi dS ga va vaqt $d\tau$ ga toʻgʻri proporsionaldir:

$$dQ = - \lambda_T dT/dx dS d\tau, \quad (2.1)$$

bu erda λ_T - issiqlik oʻtkazuvchanlik koeffitsienti boʻlib, son jihatdan birlik yuzadan birlik vaqt ichida temperatura gradienti birga teng boʻlganda oʻtadigan issiqlik miqdoriga teng boʻlib, moddalarning fizik xarakteristikasi hisoblanadi va uning qiymati, vt/ (m·grad): metallar uchun – $2 \div 417$; suyuqliklar uchun - $0,1 \div 0,7$; gazlar uchun – $0,0062 \div 0,165$ atrofida boʻladi.

Furʼe qonunini boshqacha quyidagicha yozish mumkin:

$$J = - \lambda_T dT/dx, \quad (2.2)$$

bu erda J - issiqlik oqimining zichligi, yoki birlik yuzadan birlik vaqt ichida uzatilayotgan issiqlik miqdori.

Koʻzgʻalmas muhitda temperaturaning taqsimlanishi umumiy koʻrinishda issiqlik oʻtkazuvchanlikning differensial tenglamasi yoki Furʼe tenglamasi koʻrinishida ifodalanadi:

$$dT/d\tau = a_T \nabla^2 T, \quad (2.3)$$

bu erda $a_T = \lambda_T / (c \cdot \rho)$ - temperatura oʻtkazuvchanlik koeffitsienti; ρ —muhitning

zichligi, c - solishtirma issiqlik sig'imi; a_T ning o'lchami m^2/s bo'lib, jismlarning issiqlik inersiya xossasini ifodalaydi.

Issiqlik o'tkazuvchanlik hisobiga issiqlik uzatish muvozanatlashgan jarayonda $dT/d\tau = 0$ ga teng va (2.3) tenglama $a_T \cdot \nabla^2 T = 0$ ko'rinishga ega bo'ladi. Bu erda a_T 0 ga teng bo'lolmaydi, shu sababli ifodani quyidagicha yozish mumkin:

$$\nabla^2 T = 0. \quad (2.4)$$

(2.4) tenglama qo'zg'almas muhitda issiqlik rejimi muvozanatida issiqlik o'tkazuvchanlikning differensial tenglamasi hisoblanadi.

2.2.2. Issiqlik nurlanishi hisobiga issiqlik uzatilishi

Kondensirlangan jismlar (qattiq, suyuq) uzluksiz nurlanish spektriga ega bo'ladi. Issiqlik nurlanishning intensivligi temperatura oshishi bilan oshib boradi va temperatura $T > 600^\circ\text{C}$ da kondensirlangan jismlar orasidagi nurli issiqlik almashuvi boshqa usullarga nisbatan ustunlikka erishadi.

Issiqlik va yorug'lik nurlanishining fizik tabiati bir xil bo'lib, bir xil qonunlarga, ya'ni qaytish, sinish va yutilish qonunlariga bo'ysinadi. Ular bir biridan fakat to'lqin uzunliklari bilan farqlanadi: ko'rinadigan nurlar uchun to'lqin uzunliklarining qiymati $0,4 \div 0,8$ mkm, ko'rinmaydigan issiqliq (infrakizil) nurlarining

to'liq uzunliklari esa $0,8 \div 40$ mkm ga teng bo'ladi.

Qizdirilgan jismdan chiqayotgan nurlar oqimi boshqa jism sirtiga tushganda uning bir qismi qaytadi, bir qismi yutiladi, bir qismi esa jismning ichidan o'tib ketadi. Agar jismga tushayotgan nurlarning umumiy energiyasini - Q , yutilayotgan energiyani - Q_{yut} , qaytayotgan energiyani - Q_{kayt} , jism ichidan o'tib ketgan energiyani - $Q_{o't}$ deb belgilab olsak, unda:

$$Q = Q_{yut} + Q_{kayt} + Q_{o't} . \quad (2.5)$$

(2.5) tenglamaning o'ng va chap tarafini Q ga bo'lib va belgilashlar kiritib quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$A + R + D = 1 , \quad (2.6)$$

bu erda $A = Q_{yut}/Q$ - yutilish koeffisienti; $R = Q_{kayt}/Q$ - qaytish koeffisienti; $D = Q_{o't}/Q$ - o'tish koeffisienti. Bo'lishi mumkin bo'lgan xususiy chegaraviy xollar:

1. $A=1$ bo'lgan hol, bunda $R=D=0$, jism yuzasiga tushayotgan nurlarning hammasini yutadi. Bunday jismlar absolyut qora jism deyiladi.

2. $R=1$ bo'lgan hol, bunda $A=D=0$, jism o'ziga tushayotgan nurlarning hammasini qaytaradi. Bunday jismlar absolyut oq jism deyiladi.

3. $D = 1$ bo'lgan hol, bunda $A = R=0$, jism tushayotgan nurlarning hammasini o'tkazib

yuboradi. Bunday jismlar absolyut shaffof yoki diatermik jism deyiladi.

Tabiatda absolyut jismlar bo'lmaydi. Yarim o'tkazgichli va dielektrik materiallar tushayotgan yorug'lik kvantlarining energiya diapazonlari taqiq-langan zona kengligidan kichik bo'lgan nurlar uchun yuqori shaffoflikka ega. Har qanday to'liq uzunlikdagi tushayotgan nurlar energiyasining fakat bir qisminigina yutadigan, qaytaradigan va o'tkazib yuboradigan jismlar kulrang jismlar deyiladi. Issiqlik nurlanishining asosiy xarakteristikalaridan biri bu jismning integral nur chiqarish (nurlanish) qobiliyati E_T bo'lib, u berilgan T temperaturada birlik vaqtda to'liq uzunligining barcha intervalida ($\lambda = 0$ dan $\lambda = \infty$ gacha) jismning birlik yuzasidan nurlanayotgan energiya miqdoridir:

$$E_T = Q / (s\tau), \quad (2.7)$$

bu erda Q – jismdan nurlanayotgan energiya.

Nur chiqara olish qobiliyatining to'liq uzunlik intervaliga (λ dan $\lambda + d\lambda$ gacha) nisbati issiqlik nurlanishining spektral xarakteristikasi xisoblanadi. Uni jismning nurlanish intensivligi deyiladi va quyidagi nisbat bilan ifodalanadi:

$$I_{T\lambda} = dE_T / d\lambda. \quad (2.8)$$

E_T va $I_{T\lambda}$ bir biri bilan quyidagi ifoda orqali bog'langan:

$$E_T = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} I_{T\lambda} d\lambda. \quad (2.9)$$

Absolyut qora jism har qanday teperaturada, berilgan to`lqin uzunlikda eng ko`p nurlanish intensivligiga ega bo`ladi. Absolyut qora jismning nurlanish intensivligi Plank tenglamasi bilan aniqlanadi:

$$I_{0T\lambda} = c_1 \lambda^{-5} / [\exp (- c_2 / (\lambda T)) - 1] , \quad (2.10)$$

bu erda: T - absolyut temperatura; λ - nurlanishning to`lqin uzunligi; $c_1 = 3,22 \cdot 10^{-16}$ Vt/m^2 ; $c_2 = 1,24 \cdot 10^{-2}$ Vt/m^2 .

(2.9) ifodani $\lambda=0$ dan $\lambda= \infty$ gacha integrallab absolyut qora jism uchun nurlanishning to`liq energiyasi yoki nur chiqara olish qobiliyatining ifodasini hosil qilamiz:

$$E_{0T} = \sigma_0 T^4 , \quad (2.11)$$

bu erda $\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$ $\text{Vt/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$ – absolyut qora jismning nur chiqarish konstantasi.

(2.11) formula Stefan-Boltsman qonunini ifodalaydi. Bu qonunni kulrang jismlar uchun ham qo`llash mumkin:

$$E_T = \varepsilon \sigma_0 T^4 , \quad (2.12)$$

bu erda $\varepsilon = \sigma / \sigma_0$ – nisbiy nur chiqarish koeffisienti yoki kulrang jismning qoralik darajasi, σ - kulrang jismning nur chiqarish koeffitsienti. ε ning kiymati doim birdan kichik bo`lib, temperaturaga bog`liq holda 0,01dan 0,96 (qora kuya) gacha bo`ladi.

Kulrang jismlarning nur chiqarish qobiliyati bilan yutish qobiliyati Kirxgof qonuni orqali bog`langan bo`lib, bunga binoan, har qanday jismning nur chiqarish qobiliyati E_T ning nur

yutish qobiliyati A_T ga nisbati temperatura bir xil bo'lganda o'zgarmas kattalik bo'lib, absolyut qora jismning nur chiqarish qobiliyatiga teng bo'ladi.

$$\frac{E_T}{A_T} = \frac{E_{0T}}{A_{0T}}, \quad (2.13)$$

bu erda A_{0T} - absolyut qora jismning yutish qobiliyati. Shu sababli notekis sirtli jismlarning yutish qobiliyati issiqlik nurlarining ko'p marta qaytishi hisobiga silliq sirtga qaraganda ancha yuqori bo'ladi.

2.2.3. Issiqlikning konveksiya hisobiga uzatilishi

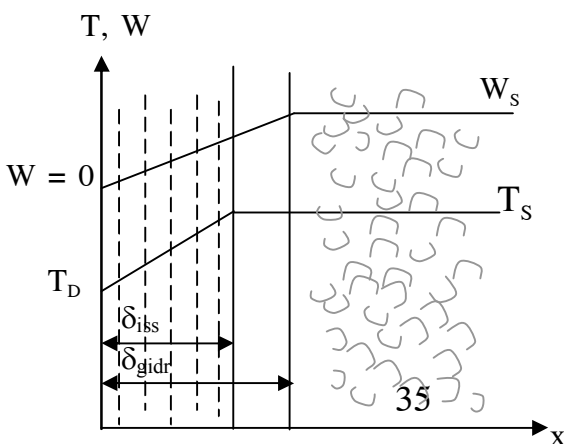
Har qanday tashqi kuchlar maydonining ta'sirisiz faqat og'irlik kuchi maydonida yoki uning yo'qligida suyuq muhitning nobirjinsligi tufayli statik muvozanat turg'unligining yo'qolishi yoki muvozanatning buzilishi natijasida tabiiy konveksiya yuz beradi.

Issiqlik konveksiyasi deb, notekis qizdirilgan suyuqlik yoki gazlarda og'irlik kuchi maydonida muhit zichligining temperaturaga bog'liqligi natijasida yuz beradigan harakatga aytiladi. Suyuqliklarning zichligi odatda temperaturaning oshishi bilan kamayadi. Agar temperaturaning farqi uncha katta bo'lmasa, unda zichlikning temperaturaga chiziqli bog'lanishidan foydalanish mumkin:

$$\rho = \rho_0(1 - \beta_T \Delta T), \quad (2.14)$$

Suyuq va gazsimon jismlarda issiqlikning uzatilishi o'sha muhitning mexanik uzatilishiga uzviy bog'langan bo'ladi, ya'ni suyuqlik oqimining gidrodinamik sharoitiga bog'liq bo'ladi. Suyuqlik va gazlarning massasi qancha ko'proq turbulent (quyunsimon) harakatlansa va uning zarrachalari kuchliroq aralashtirilsa, konveksiyali issiqlik uzatish shuncha intensiv bo'ladi. Suyuqliklarning asosiy massasida issiqlik uzatilishi asosan issiqlik o'tkazuvchanlik va konveksiya hisobiga ro'y beradi. Bunday birgalikdagi issiqlik uzatish konvektiv issiqlik uzatish deyiladi. Idish devoriga yaqinlashib borilgan sari turbulent harakatning intensivligi kamayadi, issiqlik o'tkazuvchanlikning hissasi oshib boradi, natijada issiqlik almashuvi kamayadi. Devor yaqinida issiqlik uzatilishi faqat devorga normal bo'lgan issiqlik o'tkazuvchanlik bilangina amalga oshiriladi, natijada bu sohada ma'lum bir temperatura gradienti hosil bo'ladi.

qatlam δ_{gidr}
ga
o`xshatilib
issiqlik
chegaraviy
qatlam
 δ_{iss} deyiladi,
lekin
ularning



2.1-rasm. Issiqlik va gidrodinamik chegaraviy qatlamlarning strukturasi

qalinliklari bir biridan farq qiladi. Issiqlik chegaraviy qatlamda issiqlik o'tkazuvchanlik asosiy rol o'ynaydi (2.1-rasm). Qovushqoqlikning oshishi bilan δ_{gidr} oshishiga o'xshab, suyuqlikning issiqlik o'tkazuvchanligining oshishi δ_{iss} qalinligining oshishiga olib keladi. Issiqlik chegaraviy qatlam - δ_{iss} chegarasida issiqlik uzatilishining intensivligi temperatura o'tkazuvchanlik koeffisienti a_T orqali ifodalanadi.

Oqim turbulentligining kuchayishi issiqlik chegaraviy qatlam δ_{iss} ning kamayishiga olib keladi. Bu esa issiqlik uzatilish intensivligida konveksiyaning ta'siri oshib borishi bilan ifodalanadi. Shunday qilib, konvektiv issiqlik o'tkazish jarayoni murakkab mexanizmga ega. Shu sababli u issiqlik uzatishning soddalashgan qonuni yoki N'yutonning sovutish qonuni bilan aniqlanadi. Bu qonunga binoan, dS devor yuzasi elementi orqali $d\tau$ vaqt ichida uzatilayotgan issiqlik miqdori dQ devor va suyuqlik temperaturallari farqiga, dS va $d\tau$ ga to'g'ri proporsional bo'ladi:

$$dQ = -\alpha(T_0 - T_C)dS \cdot d\tau \quad (2.15)$$

Muvazanat holatida:

$$Q = -\alpha(T_{\text{fl}} - T_C)S \cdot \tau, \quad (2.16)$$

bu erda α - issiqlik uzatish koeffisienti deyiladi va tajriba yo'li bilan aniqlanadi.

2.3. Massa uzatish jarayoni

Massa uzatish jarayoni bir fazadan boshqa fazaga modda uzatish bilan ifodalanadi. Bunda bitta yoki bir nechta komponentlarning bir fazadan boshqa fazaga ko`chishi natijasida geterogen yoki gomogen tizimlar (gazlar aralashmasi, suyuq yoki qattiq eritmalar va boshqalar) hosil bo`lishi mumkin.

Massa uzatish murakkab jarayon bo`lib, bunda bitta faza chegarasida yoki fazalar farqini chegaralovchi sirt orqali va boshqa faza chegarasida modda uzatilsa *massa uzatish* deyiladi. Har bir faza ichida moddaning taqsimlanishi molekulyar va konvektiv diffuziya yo`li bilan boradi. Shu sababli massa ko`chish jarayoni *diffuziyali jarayon* ham deyiladi. *Massa uzatish jarayonlarining xarakatlantiruvchi kuchi taqsimlanayotgan moddalarning kimyoviy potentsiallar farqi hisoblanib, ular tizimning muvozanat vaziyatidan og`ish darajasini ifodalaydi. Hisoblashlarda massa ko`chish jarayonining harakatlantiruvchi kuchini taxminan konsentrasiyalar farqi bilan ifodalaydilar.*

Texnologik jarayonlar o`tkazishning ko`pincha uchraydigan real sharoitlarida massa uzatishning yo`nalishini aniqlash uchun konsentrasiyalar farqidan tashqari tashqi kuchlar ta`sirida bo`layotgan temperatura va bosim gradientlarini ham hisobga olish kerak bo`ladi.

Massa uzatish jarayonlarini hisoblashda va analiz qilishda hodisalarning quyidagi uchta tomoni ko`rib chiqiladi:

1. Fazalar qoidasi va muvozanat qonunlari bilan aniqlanadigan fazalar miqdori va ulardagi komponentlar taqsimoti qonunlarining tizimda amal qilishlari uchun kerakli va etarli shartlar.

2. Ishchi sharoitlar deb ataladigan va jarayonni o`tkazish uchun hosil qilinadigan kerakli va etarli shartlar; ishchi shartlar orasidagi bog`lanishlar jarayonning ishchi liniyasi deb ataladigan holda ifodalanadigan qayta ishlanadigan mahsulotlarning boshlang`ich va oxirgi konsentrasiya-lyari va miqdorlarining qiymatlarini berish yo`li bilan aniqlanadi.

3. Jarayonning harakatlantiruvchi kuchiga, tizimning fizik xossalarga va jarayon o`tadigan gidrodinamik sharoitlarga bog`liq bo`lgan moddaning bir fazadan boshqasiga o`tish tezligini aniqlaydigan kerakli va etarli shartlar; bu omillar orasidagi bog`lanish diffuziya kinetikasining tenglamasi yordamida aniqlanadi.

Massa uzatish jarayonlaridagi muvozanat holatini bilish mana shu jarayonlarning kechishi mumkin bo`lgan chegaralarni aniqlash imkoniyatini beradi. Tizimdagi fazalar muvozanati fazalar qoidasi bilan aniqlanadi:

$$F+C=K+2, \\ (2.17)$$

bu erda F -fazalar soni, C -erkinlik darajasi soni, ya`ni tizimdagi fazalar sonini va tarkibini buzmasdan ixtiyoriy o`zgartirish mumkin bo`lgan

ixtiyoriy o'zgaruvchanlar soni, K -tizimdagi komponentalar soni.

Demak, fazalar qoidasi massa uzatish jarayonida muvozanatni hisoblashda ixtiyoriy o'zgartirish mumkin bo'lgan parametrlar sonini belgilaydi. Odatda massa uzatish jarayonlarida ikki fazali tizimlar qatnashadi va ular uchun $F=2$. Unda ikki komponentli tizimda ($K=2$) erkinlik darajasi soni $C=2$ bo'ladi. Demak, bunday tizimlarda muvozanat quyidagi parametrlar kombinasiyasi bilan aniqlanadi: C_x, P ; yoki C_x, T ; yoki C_u, C_x . Bu erda P - tizimdagi bosim, T - tizimning temperaturasi, $C_u - F_u$ fazadagi komponentning miqdori, $C_x - F_x$ fazadagi shu komponentning muvozanat miqdori.

Massa uzatish tezligi massa almashuv kuzatilayotgan fazalardagi taqsimlanayotgan moddalarning ko'chish mexanizmlariga bog'liq bo'ladi.

Faza ichida modda molekulyar diffuziya yoki konveksiya va molekulyar diffuziya birgalikda bo'lgan usullar yordamida uzatilishi mumkin. Modda bitta molekulyar diffuziya yordamida faqat qo'zg'almas muhitdagina siljishi mumkin. Harakatlanayotgan muhitda moddaning ko'chishi ham molekulyar diffuziya bilan, ham muhitning o'zi bilan uning harakati tomonga yoki uning alohida zarrachalari bilan har xil yo'nalishlarda amalga oshiriladi. Turbulent oqimda molekulyar diffuziya orqali ko'chish asosan fazalar chegarasi yaqinida ko'proq bo'ladi. Suyuqlikning turbulent oqimida tezlikning

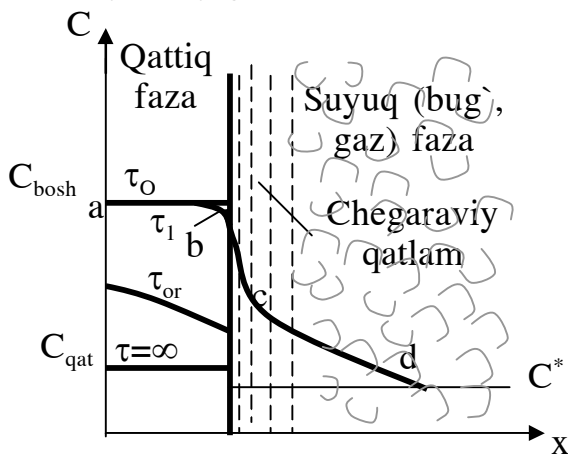
pul'sasiyalanishi yuz beradi. Buning natijasida zarrachalar hamma tomonga harakat qilishi mumkin. Turbulent pul'sasiya natijasida, moddalarning konvektiv ko'chishi *turbulent diffuziya* deb ataladi.

Qattiq va harakatlanuvchi suyuq fazalar orasidagi massa uzatish ikkita jarayondan iborat bo'ladi:

Taqsimlanayotgan modda qattiq jism ichida fazalar chegarasi sirtiga ichki massa uzatish yoki massa o'tkazuvchanlik natijasida siljiydi.

Shu moddaning suyuqlikka (gaz yoki bug'ga) uzatilishi tashqi massa uzatish yo'li bilan boradi.

Shunday qilib, massa uzatish ichki va tashqi diffuziyalar yig'indisidan iborat bo'ladi.



2.2-rasm. Qattiq fazali tizimda massa uzatish jarayoni uchun fazalarda taqsimlanayotgan modda konsentrasiyasining o'zgarish sxemasi

Qattiq fazada diffuziya tezligi juda kichik bo'lganligi sababli undagi massa uzatish beqaror jarayondir. Vaqtning boshlanish lahzasida, ya'ni τ_0 da

qattiq jism ichidagi taqsimlanadigan moddaning konsentrasiyasi oʻzgarmas ($C_{\text{bosh}} = \text{const}$) boʻladi. Moddaning sirt qatlamdan uni yuvib turgan fazaga oʻtishi davomida qattiq jismda konsentrasiya gradienti $\frac{dC}{dx}$ hosil boʻladi va u vaqt boʻyicha oʻzgaradi (2.2- rasm). Undan keyin modda qattiq jismni yuvib turgan suyuqlik (gaz, bugʻ) oqimiga oʻtadi. Yuvayotgan fazada massa uzatish jarayoni undagi turbulent oqimning strukturasiga bogʻliq boʻladi. Turbulent harakatda qattiq devor yaqinida laminar chegaraviy qatlam hosil boʻladi. Chegaraviy qatlamda qattiq jismning sirti yaqinida massa uzatish molekulyar diffuziya hisobiga roʻy beradi va bu erda toʻgʻri chiziqqa yaqin keskin kamayadigan modda konsentrasiyasining oʻzgarishi kuzatiladi. Boʻlinish chegarasidan uzoqlashgan sari turbulent diffuziyaning roli oshib boradi va oxirida yuvayotgan fazaning asosiy massasida modda asosan turbulent diffuziya natijasida koʻchadi. Fazaning bu qismida taqsimlanayotgan moddaning konsentrasiyasi nisbatan sekin tekis kamayib, oʻzining chegaraviy muvozanatli konsentrasiyasi C^* ga intiladi.

Bir-biriga tegib turgan fazalarda taqsimlanayotgan modda konsentrasiyasining τ_1 vaqt mobaynida oʻzgarishi abvg chizigʻi bilan ifodalanadi (2.2-rasm). Cheksiz vaqt oʻtgandan keyin, yaʼni $\tau = \infty$ da qattiq fazadagi modda konsentrasiyasi ham muvozanat konsentrasiyasi C^* gacha kamayadi.

Qattiq jismlarda massa oʻtkazuvchanlik natijasida modda uzatish jarayoni molekulyar diffuziya uchun boʻlgan Fik qonunlariga boʻysunadi.

Fikning 1-qonuni quyidagicha ifodalanadi:

$$\vec{J} = -K \nabla C, \quad (2.18)$$

bu erda C - konsentratsiya, J - modda oqimining zichligi, ∇C - diffuziyalanayotgan atomlarning konsentratsiya gradienti boʻlib, $\nabla C = \frac{\partial C}{\partial X} + \frac{\partial C}{\partial Y} + \frac{\partial C}{\partial Z}$ Laplas operatori bilan aniqlanadi, K - massa oʻtkazuvchanlik yoki qattiq jismdagi taqsimlanayotgan moddaning diffuziya koeffitsienti deyiladi va u qoʻzgʻalmas muhitga moddaning diffuziya natijasida kira olish qobiliyatini ifodalaydi. Diffuziya koeffisientining qiymati diffuziyalanayotgan moddaning xossalriga, muhitning xossalriga, temperaturasiga, bosimga va oz miqdorda diffuziyalanayotgan moddaning konsentratsiyasiga bogʻliq boʻladi.

Fikning 2-qonuni quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = K \left(\frac{\partial^2 C}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial Z^2} \right) \quad (2.19)$$

Massa oʻtkazuvchanlik masalasining echimi taʼsirlashayotgan fazalar chegarasidagi uzatish shartlarini, yaʼni chegaraviy shartlarni tavsiflaydigan tenglama hamda (2.19) tenglamani birgalikda echish bilan bogʻlangan.

2.4. Vaznsizlik sharoitida issiqlik va massa uzatish jarayoni

Uzoq vaqtga mo'ljallangan orbital stansiyalarning yaratilishi yangi ilmiy texnik yo'nalishning shakllanishiga sabab bo'ldi. Bu yo'nalishning maqsadi Er sharoitida olish mumkin bo'lmagan yoki nihoyatda qimmatga tushadigan yuqori sifatli elektron texnika materiallarini kosmik-fazo sharoitlaridan foydalanib olishdir.

Kosmik texnologiyaning erdagi texnologiyadan farq qiladigan asosiy omillar quyidagilar: 1) o'ta quvvatli radiasiyalı maydon; 2) o'ta chuqur va cheksiz vakuum; 3) katta miqdordagi quyosh energiyasining borligi, 250 km balandlikda quyosh energiyasi oqimining zichligi taxminan $1,4 \text{ kVt/m}^2$ ni tashkil qiladi; 4) vaznsizlik, to'g'rirog'i Er sharoitiga nisbatan og'irlik kuchining kamligi, u $10^{-3}g$ dan $10^{-7}g$ gachani tashkil qiladi (ya'ni Erdagiga nisbatan $10^3 \div 10^6$ marta kichik).

Materiallar olishning kosmik texnologiyasini ishlab chiqish uchun vaznsizlik sharoitida gidrodinamika, issiqlik va massa almashuvlarning qanday borishini bilish kerak.

Vaznsizlikning «nazariy» holati $g = 0$ ning real holatdan qanchalik farqlanishining miqdoriy o'lchovi g/g_0 hisoblanadi, bu erda g_0 – og'irlik kuchining Er sirtidagi tezlanishi; g – orbital uchish sharoitidagi tezlanish. Orbital stansiyaning real sharoitdagi uchishida $g/g_0 \approx 10^{-3} \div 10^{-6}$ bo'lganligi uchun vaznsizlikning real holatini

mikrogravitasiya yoki kuchsiz gravitasiya deb ham aytiladi.

Vaznsizlik sharoitida suyuqlikka botirilgan jismga ta'sir qilayotgan kuchlarning teng ta'sir etuvchisining qiymati g/g_0 marta kamayadi. Bu esa vaznsizlik sharoitida texnologik jarayonlarga quyidagi imkoniyatlarni yaratadi:

1. Suyuqlik hajmi ichida jismlarning, shular qatorida suyuq massaning erkin osilib turishi va siljishi;

2. Tashkil etuvchilarining zichligi asosiydan katta yoki kichik bo'lgan har xil turdagi ko'p fazali strukturalar yaratish (suyuqlikdagi pufakcha, suyuqlikdagi og'ir zarrachalar, suspenziyalar);

3. Yer sharoitida zichliklari har xil bo'lgan, aralashmaydigan komponentlardan yangi qotishmalar hosil qilish;

4. Suyuqlikdagi alohida zarrachalarni juda kam energiya sarf qilib aralashtirish mumkinligi geterogen strukturalar yaratishda va chet aralashmani chiqarib tashlashda qo'llaniladigan ko'p fazali tizimlarning dinamikasini boshqarish uchun har xil vibrasiyali ta'sirlardan foydalanish imkoniyatini beradi.

2.5. Kimyoviy jarayonlar

Kimyoviy jarayonlar elektron texnika materiallari texnologiyasida modda tarkibining kimyoviy o'zgarishi bilan kechadigan eng asosiy jarayonlardan bittasi hisoblanadi.

Ko`p hollarda kimyoviy texnologik jarayondagi qonuniyatlar bir-biri bilan o`ta murakkab bog`langan va ular tenglamalar sistemasi ko`rinishida ifodalanadi. Amalda bu tenglamalarni birgalikda echish mumkin emasligi sababli kimyo – texnologik jarayonlarni tahlil qilishda uning eng kerakli tomonlari ajratib olinadi va ularning o`zaro ta`siri ko`rib chiqiladi. To`liq nazariy tahlil asosida texnologik rejimlar tanlash va kimyoviy texnologik jarayonlar o`tkaziladigan reaktorlar ishlab chiqish termodinamik va kinetik tahlil o`tkazishni talab qiladi.

Termodinamik tahlilning asosiy bosqichlari quyidagicha: kerakli mahsulotni hosil qilish uchun texnologik jarayonni ishlab chiqish, bunda birinchi navbatda tanlab olingan xomashyoni qayta ishlashda kechadigan hamma kimyoviy reaksiyalarni aniqlash zarur; undan keyin esa, reaksiyaning issiqlik effektlari hisoblanadi; reaksiyalarning o`z holicha kechish imkoniyati tahlil qilinadi, ya`ni kimyoviy muvozanat ko`rib chiqiladi. Izobar-izotermik holatdagi tizimlarda muvozanat izobar-izotermik potensial kattaligining (Gibbsning erkin energiyasining) shu sharoit uchun minimal qiymatida, ya`ni $G=\min$ yoki $\Delta G=0$ bo`lganida o`rnatiladi. Agar $\Delta G>0$ bo`lsa, reaksiya o`z-o`zidan o`ngdan chap tomonga, $\Delta G<0$ bo`lsa chapdan o`ng tomonga kechish ehtimoli ko`proq bo`ladi.

Asosiy reaksiyaning muvozanati to`g`risidagi ma`lumotlarga asoslanib kerakli

maxsulotning maksimal chiqishi to'g'risidagi tasavvurga ega bo'lishi mumkin. Termodinamik tahlil asosida mahsulot chiqishini ko'paytirish yo'lini aniqlash mumkin, reaksiya kechadigan optimal sharoit: temperatura, bosimni tanlash va boshlang'ich aralashmaning tarkibini aniqlash mumkin.

Termodinamik tahlildan keyin texnologik sharoitning optimal holatini belgilash uchun reaksiyaning vaqt bo'yicha kechish xarakteristikasini ham bilish kerak, ya'ni kinetik tahlil o'tkazilishi shart.

Kimyoviy reaksiyalarning kechish tezligiga har xil omillar ta'sir qiladi. Umumiy holda kimyoviy reaksiya tezligi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$U = \frac{dC}{d\tau} = \kappa C^n, \quad (2.20)$$

bu erda $\kappa = \kappa_0 \exp(-\frac{E}{\kappa T})$ - reaksiya tezligi konstantasi deyiladi; κ_0 - eksponenta oldi koeffisienti yoki ko'paytma; E - aktivlash energiyasi; n - reaksiya tartibi; C - konsentrasiya. Umumiy holda,

$$U = \kappa_0 e^{-\frac{E}{\kappa T}} C^n \quad (2.21)$$

(2.21) tenglamadan tezlik temperaturaga va komponentlar konsentrasiyasiga bog'liq ekanligi kelib chiqadi. Umumiy holda reaksiya tezligiga bosim (agar reaksiyada gaz fazasi ham bor bo'lsa) va katalizatorlar ham ta'sir qiladi.

2.6. Qattiq fazali reagent va mahsulotlarning aktiv holati

Qattiq jismlarning reksiyaga kirisha olish qobiliyati faqat kimyoviy yoki fazaviy tarkib bilangina aniqlanib qolmasligi uning o`ziga xos xususiyatlaridan biri hisoblanadi. Qattiq fazali reagentlarning aktivligi xususan kristall panjaradagi nuqsonlarning qanday hosil bo`lganligi (reagentlarni tayyorlash va qayta ishlash usullari, masalan: ionlashtiruvchi reaksiya, lazer yoki akustik nurlanish, uruvchi to`lqin va x.k.) bilan aniqlanadigan holatlarga bog`liq bo`ladi.

Qattiq jismning *normal holati* deganda ulardagi nuqsonlarning holat parametrlarining bir qiymatli funksiyasi hisoblangan panjaraning xususiy tartibsizligi natijasida hosil bo`lgan holatiga aytiladi. Bunga mos holda qattiq jismlarning *aktiv holati* ulardagi nomuvozanatli nuqsonlar borligi bilan xarakterlanadi.

*Qattiq fazaning aktivlik o`lchovi* sifatida normal xolatdagi o`xshash tarkibli fazaga nisbatan undagi erkin energiyaning ortiqqligi tushuniladi:

$$\Delta G^{opm} = G_K^* - G_K, \quad (2.22)$$

bu erda G^* va G - normal va aktiv xolatdagi fazaning erkin energiyasi.

Qattiq fazalarning aktivligini oshirish uchun ko`pincha mikroqo`shilmalar qo`shiladi, ya`ni legirlanadi. Legirlashning qattiq fazaning aktivligiga ta`siri mikroqo`shilmaning tabiati,

konsentrasiyasi va uning matrisadagi taqsimlanish xarakteriga bog'liq bo'ladi.

2.7. Texnologik yonish

Yonish reaksiyalari ikkita xususiyatga ega:

1. Sekin hajmiy ta'sirlashuvdan juda tez ta'sirlashuvga o'tishning kritik sharoitlari mavjud bo'ladi. Bunday holda texnologik yonish rejimlaridan biri bo'lgan *issiqlik portlashi* amalga oshadi.

2. Kimyoviy reaksiya modda bo'ylab o'zgarmas tezlik bilan mustaqil tarqalishi mumkin; bunda texnologik yonishning yana bir rejimi - *o'z-o'zidan kechadigan yuqori haroratli sintez* amalga oshadi.

Elektron texnika materiallarini sintez qilishda (masalan, keramikali) yonish reaksiyasidan foydalanish kukunlar aralashmasi asosida amalga oshiriladi. Boshlang'ich kondensirlangan kukunlar aralashmasida yonishni amalga oshirish uchun quyidagi shartlar bo'lishi kerak:

1. Yonishning aktivlash energiyasi E shu jarayonning harorati T^* ga to'g'ri keladigan molekulalarning issiqlik harakati energiyasidan katta bo'lishi, ya'ni β ning nisbati quyidagi tengsizlikni qanoatlantirishi kerak:

$$\beta = \frac{RT^*}{E} \ll 0,025 \quad (2.23)$$

2. Yonish reaksiyasi ekzotermik bo'lishi shart. Uning issiqlik effekti Q ning qiymati

maʼlum bir masshtabli issiqlik miqdoridan ancha katta boʻlishi kerak.

$$\gamma = \frac{c_P \left(\frac{RT^*}{E} \right)}{Q} \ll 1 \quad (2.24)$$

bu erda s_R – issiqlik sigʻimi ($r = \text{const}$).

Boshlangʻich komponentlarning yonish reaksiyasiga elektron texnika materiallari sintezining ikkita texnologik usuli asoslangan:

1) oʻzi tarqaladigan yuqori temperaturali sintez (OʻYuS);

2) energiyaning qoʻshimcha nokimyoviy (elektr) manbali issikli portlashi (EIP).

Asosiy texnologik vazifa tarkibida oraliq mahsulotlar boʻlmagan muvozanatli kristall struktura hosil boʻlish boshlanadigan boshlangʻich namunaning minimal xarakterli oʻlchamini aniqlashdan iboratdir. Bu struktura hosil boʻladigan kimyoviy reaksiya vaqti τ_k bilan issiqlik relaksasiyasi vaqti τ_u ni solishtirishdan kelib chiqadi:

$$\tau_K = \left[\frac{Q}{c_p} \cdot \frac{E}{RT^2} K_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \right]^{-1}; \quad \tau_U = \frac{L^2}{a_T}, \quad (2.25)$$

bu erda K_0 – Arrenius qonunidagi eksponentaoldi koʻpaytmasi; L – namunaning xarakterli oʻlchami; a_T – temperatura oʻtkazish koeffisienti.

Agar $\tau_k > \tau_u$ boʻlsa, unda struktura hosil boʻlish jarayoni oxirigacha amalga oshmaydi va nomuvozanatli kristall panjara hosil boʻlishiga

olib keladi. Agar $\tau_k \leq \tau_u$ bo`lsa, unda muvozanatli kristall panjara hosil bo`ladi. τ_k va τ_u ning qiymatlari boshlang`ich aralashmalarning tarkibiga bog`liq bo`ladi.

Struktura hosil bo`lish jarayonini tashqi fizikaviy maydonlar ta`sirida faollashtirish mumkin. Masalan, yonishda struktura hosil bo`lish jarayonini tezlashtirish uchun namunadan elektr toki o`tishini ta`minlovchi elektr maydonidan EIP usulida foydalaniladi. O`YuS va EIP usullarida esa tashqi bosimdan foydalaniladi.

2.8. Xomashyo materiallarini qayta ishlash jarayonlari

2.8.1. Qattiq jismlarni maydalash va ajratish jarayonlari

Texnologik jarayonning tezligi reagentlarning kontakt sirtlarining yuzasiga va ularning ortiqcha erkin energiyasiga to`g`ri proporsional bo`ladi. Shu sababli yarimo`tkazgichli va dielektrik materiallarni qattiq xomashyo moddalardan hosil qilishdagi ko`pgina texnologik jarayonlar intensivligini oshirish uchun boshlang`ich material bo`lakchalarining o`lchamlari kichraytiriladi. Bu jarayon *bo`laklash* deyiladi. Ko`pincha yirik bo`laklarni maydalash *bo`laklash*, kichik bo`laklarni maydalash esa *talqonlash* deyiladi. Maydalash quruq yoki nam holda o`tkazilishi mumkin. Eng yirik bo`laklarning ko`ndalang o`lchamlarining

maydalashgacha va maydalashdan keyingi nisbatlari *maydalash darajasi* deyiladi:

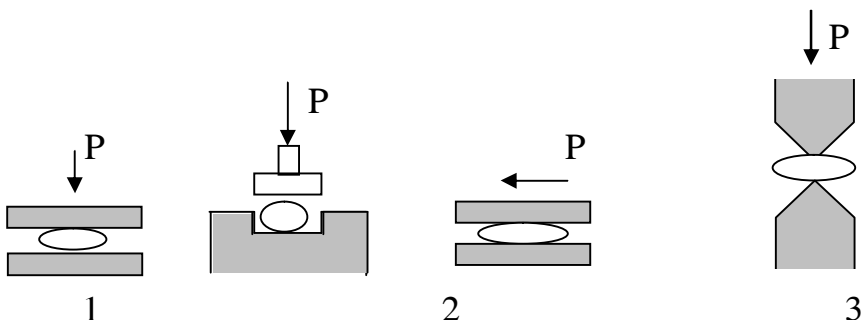
$$n = d_1/d_2, \quad (2.26)$$

bu erda d_1 – bo`lakning maydalashgacha bo`lgan o`lchami,  $d_2$  – bo`lakning maydalashdan keyingi o`lchami.

Bir marta ishlov berishdagi maydalash darajasining qiymatlari: yirik bo`laklar ( $d_1 > 250$  mm) uchun -  $n = 2 \div 6$ ; o`rta bo`laklar ( $50 < d_1 < 250$  mm) uchun -  $n = 5 \div 10$ ; mayda bo`laklar ($20 < d_1 < 50$ mm) uchun - $n = 10 \div 50$; eng mayda bo`laklar ( $d_1 < 3$  mm) uchun -  $n > 60$  ni tashkil qiladi. Kerakli maydalash darajasi bir necha marta bo`laklashdan keyin hosil qilinadi.

Maydalashning bir qancha usullari mavjud:

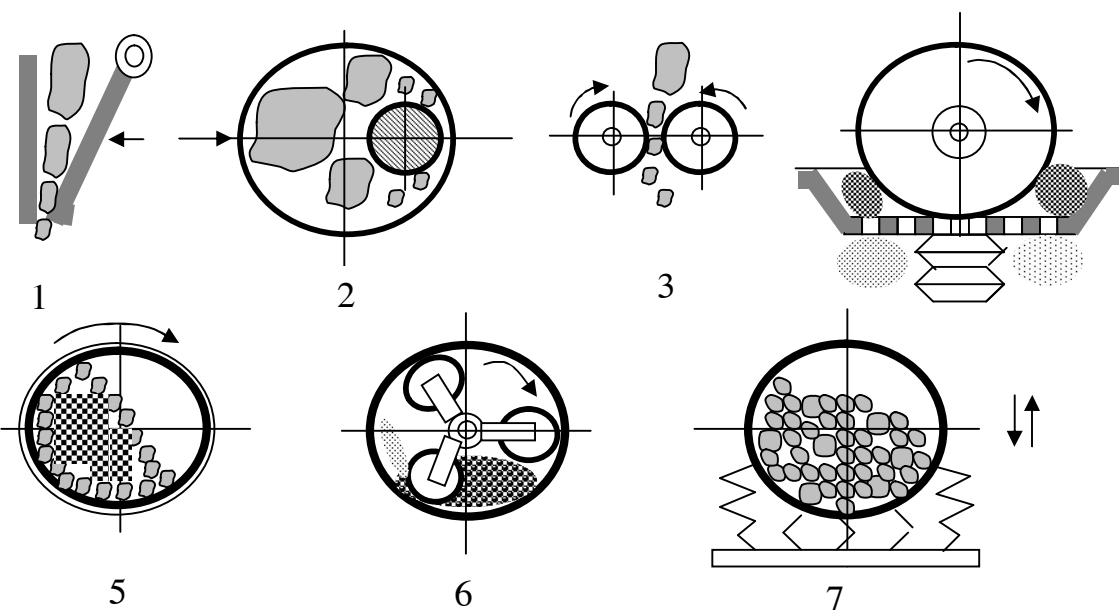
1. Bosib maydalash (2.3-rasm, 1).
2. Uriib maydalash (2.3-rasm, 2).
3. Ishqalab maydalash (2.3-rasm, 3).
4. Yorib maydalash (2.3-rasm, 4) .



2.3 -rasm. Materiallarni maydalash usullari

Maydalash usullari materialning fizik xossalari asosida tanlab olinadi. Qattiqligi yuqori boʻlgan materiallarni maydalashda 1 va 2 - usul, qovushqoq materiallarni maydalashda 3-usul, moʻrt materiallarni maydalashda esa 4 - usuldan foydalanilsa, maydalashning samaradorligi yuqori boʻladi.

Texnologik jarayon talablariga mos ravishda boshlangʻich xomashyoni maydalash yirik, oʻrtacha va nozik maydalash mashinalarida amalga oshiriladi. Eng koʻp tarqalgan maydalash mashinalariga sharli, markazdan qochma va halqali tegirmonlar kiradi (2.4-rasm).

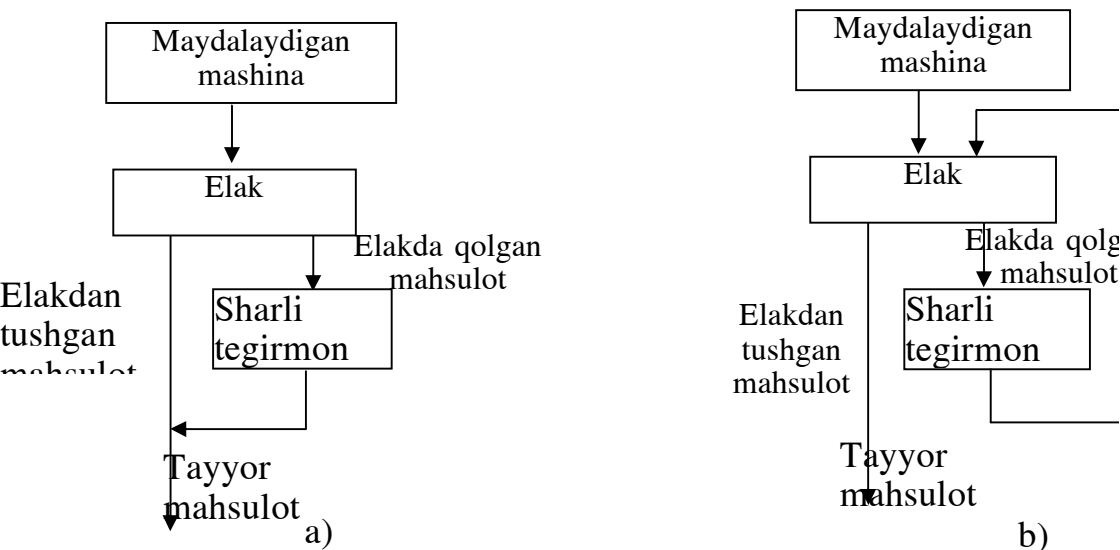


2.4 - rasm. Materiallarni maydalash uchun ishlatiladigan mashinalar asosiy turlarining ishlash sxemalari:

1 – yoqli; 2 – konusli; 3 – valkali; 4 – begunkali;
5 – sharli; 6 – markazdan qochmali; 7 - vibrasiyal

Maydalangan materiallarning donalarini bir xil kattalikda boʻlgan fraksiyalarga ajratish uchun elakli apparatlardan foydalaniladi.

Odatda nozik maydalash maydalash sxemasida ajratish operatsiyasi bilan birlashtirilib, ochiq yoki berk sikl bo'yicha amalga oshiriladi (2.5-rasm). Ochiq sikl bo'yicha ishlanganda elakdan o'tmagan yuqorigi mahsulot sharli tegirmonga tushadi va undan chiqib elangan pastki



2.5-rasm. Materiallarni maydalash sikllarining sxemasi:
a – ochiq sikl; b – yopiq sikl

mahsulot bilan birgalikda texnologik jarayonning keyingi bosqichiga o'tadi. Yopiq siklda esa keyingi bosqichga faqat berilgan granulali tarkibli material elak orqali o'tadi, elakdan o'tmagan kattaroq donalar esa qaytadan maydalovchi agregatga o'tib maydalanib yana elakka tushadi.

Maydalangan materiallarni har xil texnologik reaktorlarga aniq miqdorda bir xil berib turish uchun oziqlantirgich yoki dozator deb ataladigan mahsus mexanizmlardan foydalaniladi.

2.8.2. Ajratish va tozalas jarayonlaring asoslari

Modda tozaligining umumiy xarakteristikasi. Materiallarning kimyoviy tozaligi degan tushuncha va uni belgilash usullari har xil bo`lib, materialning qaysi sohada qo`llanilishiga bog`liq bo`ladi. Agar modda tarkibidagi chet kirishmalarning miqdori asosiy moddaning kerakli hossalriga ta`sir qilmaydigan darajada kichik bo`lsa, *shu modda etarlicha toza hisoblanadi.*

Kimyoviy va metallurgiya amaliyotida toza moddalar uchun tozalanish darajasiga bog`liq holda quyidagi tasniflar belgilangan:

«Toza» – Ch rusumli deyiladi va bunda kirishmalarning miqdori $2 \cdot 10^{-5}$ dan 1% gacha bo`ladi.

«Tahlil uchun toza» - ChDA rusumli deyiladi va bunda kirishmalarning miqdori $1 \cdot 10^{-5}$ dan 0,4% gacha bo`ladi.

«Kimyoviy toza» - XCh rusumli deyiladi. Kirishmalarning miqdori $5 \cdot 10^{-6}$ dan 0,5% gacha bo`ladi.

"O`ta toza» - OSCh rusumli deyiladi va bunda kirishmalarning miqdori 0,05% dan kichik bo`lishi kerak.

Metallmaslar va kimyoviy birikmalarda limitlangan kirishmalar XCh rusumli moddaga qaraganda 10 marta, ChDA rusumli moddaga qaraganda 100 marta va Ch rusumli moddaga qaraganda 1000 marta kichik bo`lgandagina

ularni yuqori tozalikdagi modda deb hisoblash mumkin.

Metall va yarim o'tkazgichli materiallarda nazorat qilanadigan har bir kirishmaning miqdori $1 \cdot 10^{-4} \%$ dan oshmasa (massa bo'yicha), hamda gazlarda harbir nazorat qilinadigan kirishmalarning miqdori $1 \cdot 10^{-3} \%$ oshmasa (hajm bo'yicha) ular yuqori tozalikdagi moddalar deb hisoblanadi.

Yuqori tozalikdagi moddalarga nazorat qilanadigan kirishmalarning soni va konsentrasiyalar yig'indisiga bog'liq holda VECh va OSCh rusumlari beriladi.

VECh rusumli moddalarda ham kirishmalarning umumiy miqdori, ham pastroq sathda ba'zi bir keraksiz kirishmalarning soni va miqdori chegaralanadi. VECh belgidan avval kirishmalarning umumiy miqdorini ko'rsatuvchi son yoziladi, undan keyin esa tire orqali ikkita son: birinchisi keraksiz kirishmalarning chegaralangan sonini, ikkinchisi esa bu kirishmalar miqdori yig'indisining manfiy daraja ko'rsatkichini ko'rsatadigan son yoziladi. Masalan: 003 VECh 4-5 rusumi umumiy kirishmalar miqdori 0,003% ligini, ya'ni asosiy modda miqdori 99,997% ekanligini, keraksiz kirishmalar soni 4 ta bilan chegaralanganligini va ularning yig'indisi $n \cdot 10^{-5} \%$ bo'lishini ko'rsatadi.

OSCh rusumli moddalarda juda ham past sathda katta sondagi keraksiz kirishmalar miqdori chegaralanadi. OSCh belgisidan keyin tire orqali ikkita son keladi: birinchi son berilgan o'ta toza moddada chegaralangan kirishmalar sonini,

ikkinchisi esa shu kirishmalar miqdori yig'indisining manfiy daraja ko'rsatkichini ko'rsatadi. Masalan: OSCh 10-5 rusumli o'ta toza SiO_2 da chegaralangan kirishmalar soni 10ta bo'lib (Al, B, Fe, Ca, Mg, Na, P, Ti, Sn, Pb), ularning umumiy miqdori esa massa bo'yicha $1 \cdot 10^{-5} \%$ dan oshmaydi.

Chet el adabiyotida moddalarning tozaligi asosiy moddaning 1000 atomiga to'g'ri keladigan kirishma atomlarining (molekulalarining) soni n bilan tasniflanadi va $n \text{ } ^0/_{00}$ (n promille) bilan belgilanadi. Agar asosiy moddaning 10^6 atomiga (molekulasiga) to'g'ri kelsa - n ppm (n parts per million), agar asosiy moddaning 10^9 atomiga (molekulasiga) to'g'ri kelsa - n ppb (n parts per billion) belgi bilan belgilanadi. Masalan: 1ppm yozuvi 10^6 asosiy modda atomiga 1 kirishma atomi, 1 ppb yozuvi esa 10^9 asosiy moddaning atomiga 1 kirishma atomi to'g'ri kelishini ko'rsatadi.

Bundan tashqari yuqori darajali toza moddalarni belgilash uchun N simvoldan foydalaniladi va moddalar sifat bo'yicha sonli indeks orqali farqlanadi. Bunda N ning oldida turgan son asosiy komponentning prosentda ifodalangan konsentratsiyasidagi 9larning umumiy miqdorini ko'rsatadi. N dan keyingi son esa shu sonning oxirgi soni hisoblanadi. Masalan: $5N8 = 99,9998 \%$, $2N5 = 99,5 \%$, $3N3 = 99,93 \%$. Agar o'ta toza modda olish uchun zonali eritish usuli qo'llanilgan bo'lsa, unda Z xarfi qo'shiladi. Masalan: $6N(Z) = 99,9999 \%$.

Yanada aniqroq bo`lishi uchun ko`pincha har bir nazorot qilinayotgan kirishmaning miqdori ko`rsatiladi. Bunda tarkibida massa bo`yicha $1 \cdot 10^{-2}$, $2 \cdot 10^{-5}$ % kirishmalar bo`lgan materillar deb gapiriladi yoki materialning bir kub metrda (yoki santimetrda) bo`lgan kirishma atomlarining soni deyiladi va 10^{17} , 10^{24} at/m³ kabi ko`rsatiladi.

Ajratish va tozalash jarayonlarining umumiy xarakteristikasi. Dielektrik va yarim o`tkazgichli materiallar hamda ularning komponentlarini chuqur tozalashning hamma usullari ajratiladigan komponentlarning kimyoviy, fizikaviy va fizik kimyoviy hossalarning harxilligiga asoslangan.

Yarimo`tkazgichli va dielektrik fazadagi materiallarni ajratish va tozalash asosiy jarayonlarining tasnifi quyidagicha:

1. Sorbsiyaga asoslangan jarayonlar. Bunga adsorbsiyali jarayonlar, ion almashish va xromatografiya jarayonlari kiradi.

2. Suyuqlik ekstraksiyasiga asoslangan jarayonlar.

3. Kristallanish jarayonlari.

4. Gaz fazasi orqali haydashga bog`liq jarayonlar. Bunga sublimasiya, distillyasiya, rektifikasiya jarayonlari va kimyoviy transport jarayoni kiradi.

5. Elektrolizga asoslangan jarayon.

6. Diffuziya koeffisientlarining har xilligiga asoslangan jarayonlar.

7. Tanlab o`tqazish, oksidlash va qaytarilish jarayonlari.

Harbir individual materialni tozalash uchun eng samarali usulni yoki usullarni tanlashda shu materialning va uning birikmalarining aniq fizik-kimyoviy xossalari e'tiborga olinadi.

2.8.3. Sorbsiyali jarayonlar yordamida moddalarni ajratish va tozalash

Moddalarning ikki faza chegarasida: qattiq va suyuq, qattiq va gazsimon, suyuq va gazsimon chegaralarda sirtga (*adsorbsiya*) va hajmga (*absorbsiya*) yutilishi *sorbsiyali jarayon* deyiladi.

Sorbsiyali jarayonlar yarim o'tkazgichlar va dielektriklarning zamonaviy texnologiyasida eng asosiy rol o'ynaydi, chunki ular fizik-kimyoviy hossalari bir-biriga juda yaqin bo'lgan moddalarni bir-biridan ajratish imkoniyatini beradi.

Yarim o'tkazgichlar va dielektriklar texnologiyasida suyuq fazada erigan moddalarni qattiq sorbentlarga yuttirishga asoslangan ajratish va tozalash jarayonlarining turlari ko'proq qo'llanilmoqda. Bular asosan *adsorbsiya*, *ion almashish* va *xromatografiya* jarayonlaridir.

Adsorbsiyali tozalashning mohiyati. Adsorbsiya tizimi *adsorbentdan* (yuzasiga yutib oluvchi modda) va *adsorbatdan* (molekulalar yutilayotgan modda) tashkil topadi. Adsorbsiya *fizikaviy* va *kimyoviy* turga bo'linadi. *Fizikaviy adsorbsiyada* adsorbat molekulalari adsorbent bilan fizikaviy (Van Der Val's kuchlari) bog'lanadi. *Kimyoviy adsorbsiyada* (*xemosorbsiya*)

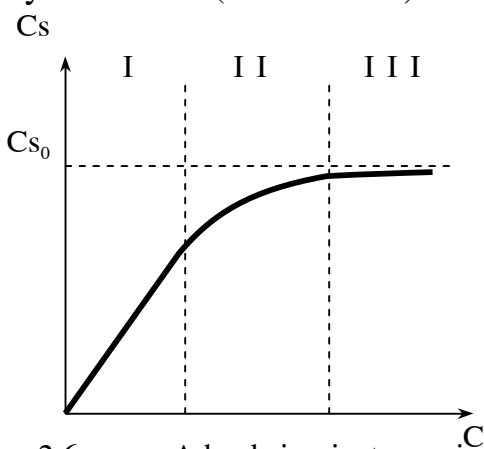
adsorbat molekullari adsorbent bilan kimyoviy birikib yuzada kimyoviy birikma xosil qiladi.

Adsorbsiyaga teskari jarayon, ya'ni yuzadan molekullarning chiqib ketishi

desorbsiya deyiladi. Fizikaviy adsorbsiyada, kimyoviydan farqli o'laroq, teskari jarayon kuzatilishi mumkin. Desorbsiya jarayonidan ham tozalash usuli sifatida foydalanish mumkin. Adsorbsiya tanlovchi jarayon bo'lib, adsorbentning yuzasiga faqat sirtqi qatlamning erkin energiyasini kamaytiruvchi moddalargina yutiladi.

Shunday qilib, eritmadagi moddalar-ning adsorbsiyalik qobiliyatlarning harxilligidan foydalanib tozalash va ajratish jarayonlarini o'tkazish mumkin. Bunda moddalardan bittasi adsorbatga yutiladi, ikkinchisi esa eritmada qoladi.

Adsorbsiya tizimining miqdoriy xarakteristikasi sifatida *adsorbsiya izotermasidan* foydalaniladi (2.6 - rasm). U eritmadagi modda



2.6-rasm. Adsorbsiya izotermasi

konsentratsiyasi S ning o'zgarmas temperaturada muvozanat holatda adsorbentning birlik yuzasiga yutilgan miqdori C_s bilan bog'lanishni ifodalaydi. 2.6-

rasmda keltirilgan bog`lanishdan eritmadagi modda konsentratsiyasining oshishi uning adsorbsiyalangan holatdagi modda miqdorining oshishiga olib kelishi ko`rinib turibdi. Boshlang`ich I uchastkada eritmadagi modda konsentratsiyasi oshishi bilan uning yutilayotgan miqdori ham oshib boradi va bu bog`lanish to`g`ri proporsional bo`ladi. Tashqi fazadagi modda konsentratsiyasining undan keyingi oshishi bilan bu bog`lanish ancha susayadi (II uchastka). Katta konsentratsiyalarda izoterma S_s asimptotaga intiladi (III uchastka). Izotermaning bunday xarakteri adsorbent yuzasining yutiladigan modda bilan sekin asta to`yinib borishi bilan tushintiriladi.

Adsorbsiya jarayonining ikkinchi miqdoriy xarakteristikasi tempera-turaviy bog`lanishni va adsorbsiya muvozanatining mexanizmini xarakterlaydigan *adsorbsiya issiqligi* hisoblanadi. Uning kattaligi fizik adsorbsiyada kondensasiya issiqligiga yaqin bo`lib, oddiy molekulalar uchun $4 \div 20$ MJ/kmol, murakkab molekulalar uchun $40 \div 80$ MJ/kmol atrofida bo`ladi. Kimyoviy adsorbsiyada xemosorbsiya issiqligi kimyoviy reaksiya issiqligiga yaqin bo`lib $40 \div 400$ MJ/kmol atrofida bo`ladi.

Eng ko`p tarqalgan sorbentlarga silikagel`lar, aktivlangan ko`mir va boshqa kuchli g`ovaklashtirilgan alyuminosilikatlar misol bo`ladi.

Silikagel kremniy kislotasining quritilgan geli bo`lib, globulyar strukturaga ega bo`ladi. Silikagel` rivojlangan g`ovak tizimiga ega bo`lib,

ularning o'lchamlari va shakllari sferik zarrachalarning o'lchamlari va taxlanish zichligiga bog'liq bo'ladi. Sferik zarrachalarning sirtlari g'ovaklarning ichki sirtlarini tashkil qiladi. Bu g'ovaklarning solishtirma sirti silikagelning tayyorlanish texnologiyasiga bog'liq bo'lib $(3\div 7) \cdot 10^5 \text{ m}^2/\text{kg}$ atrofida bo'ladi. Silikagel geteropolyar sorbent bo'lib, polyar va kuchsiz polyar moddalarni yaxshi yutadi, hamda u effektiv quritgich sifatida ham ma'lum.

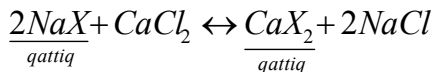
Ion almashlab tozalashning mohiyati. Ion almashish deganda suyuq eritma va u bilan kontaktda bo'lgan, erimaydigan qattiq modda orasida bir xil zaryadli ionlarning o'zaro qaytuvchan almashinuvi tushuniladi. Ionlar almashinishi-ni amalga oshirayotgan qattiq jism *ionit* yoki *ion almashtirgich* deyiladi. Faqat musbat ionlar almashiladigan ionit *kationit*, manfiy ionlar almashiladigani esa *anionit* deyiladi. *Amfoter* ionitlar bir vaqtning o'zida kation va anion almashishlarni amalga oshiradi.

Ion almashish stexiometrik o'rinni olish kabi bo'lib, eritmadan yutilayotgan ionning harbir ekvivalentining o'rniga ionit shu eritmaga zaryad ishorasi bir xil bo'lgan boshqa ionning bir ekvivalentini beradi. Mana shu bilan ion almashish adsorbsiya jarayonidan farq qiladi.

Ionitlardan foydalanib eritmadan ma'lum turdagi ionni butunlay chiqarib olish mumkin. Buning uchun tozalanadigan eritma ionit donachalari bilan to'ldirilgan ion almashgichli reaksiya kolonkasidan o'tkaziladi.

Quyida ion almashish reaksiyalariga doir misollarni ko`rib chiqamiz.

Masalan: kationli almashish reaksiyasida kal`siy ionini chiqarib olish quyidagicha bo`ladi:

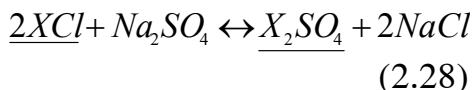


(2.27)

(bu reaksiyada va keyingilarida qattiq fazaning tagiga chizilgan; X – ionitning ma`lum guruhi).

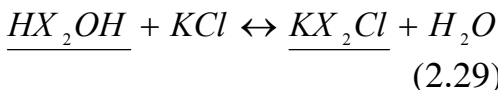
Bu reaksiyadan shu narsa ko`rinib turibdiki, NaX qattiq ionit qatlami orqali eritmaning o`tkazilishi natijasida eritmadagi Ca^{2+} ionlari ionit tomonidan yutiladi, eritmaga esa Na^{1+} ionlari o`tadi ya`ni ion almashinishi kuzatiladi.

Anionli almashish reaksiyasiga umumiy misol tariqasida eritmadan $(SO_4)^{2-}$ ionini chiqarib olish reaksiyasini keltirish mumkin:



(2.28)

Bir vaqtning o`zida kation va anion almashinishda amfoterli ionitlardan foydalaniladigan reaksiyaga misol:



(2.29)

Ionit ishining samaradorligini va uning tanlab ajrata olish xarakteristikasini baholash uchun *ajratish koeffitsienti* kiritiladi. Bu koeffitsient ionitning A va B ionlarini miqdoriy jihatdan ajrata olish qobiliyatini ko`rsatadi.

Ajratish koeffitsienti K_B^A ionit va eritmadagi A va B ionlar ekvivalent qismlari nisbatlarining nisbati bilan ifodalanadi:

$$K_B^A = \frac{\overline{\gamma_A}}{\gamma_A} : \frac{\overline{\gamma_B}}{\gamma_B} = \frac{\overline{\gamma_A \gamma_B}}{\gamma_A \gamma_B} \quad (2.30)$$

Agar ionit A ionlarni ko`proq yutsa, unda  $K_B^A > 1$ , agar B ionlarni ko`proq yutsa, unda $K_B^A < 1$ bo`ladi.  $K_B^A$  ning qiymati birdan qancha kattaroq miqdorga farq qilsa, ionitning selektivligi shuncha yuqori bo`ladi.

Sorbentning eng zarur fizik – kimyoviy xarakteristikasi uning sig`imi bo`lib, u eritmadan chiqarib olinadigan komponentning sorbent tomonidan yutish qobiliyatini ko`rsatadigan miqdoriy o`lchov hisoblanadi. Sig`im berilgan hajmdagi eritmani tozalash uchun qancha miqdordagi sorbent kerakligini bildiradi.

Sorbentlarning sig`imi ko`pincha sorbentning massa birligiga nisbati (massali sig`im) yoki hajm birligiga nisbati (hajmiy sig`im) bilan aniqlanadi. Ko`pincha u quruq sorbentning kilogrammiga to`g`ri keladigan milliekvivalentlarda (mekv/kg), yoki  $1 \text{ m}^3$  yoki 1 kg sorbentga to`g`ri keladigan adsorblangan moddaning kilogrammlarida ifodalanadi.

Ko`pgina tabiiy va sun`iy moddalar ionitlik hossalari namoyon qiladi. Bulardan asosiylari sintetik smola va ko`mir asosidagi ionitlar, hamda ba`zi bir mineralli ionitlardir (harxil alyumosilikatlar, oksidlar va shu kabilar).

Ion almashish jarayoni qaytuvchan jarayon boʻlganligi uchun ionitdan koʻp marta foydalaniladi. Ionit ajratilishi kerak boʻlgan ionlar bilan toʻyin-ganidan soʻng ion almashinish reaksiyasi toʻxtatiladi. Shundan soʻng ionit adsorbsiyalangan B ionlarni chiqarib, uning oʻrniga A ionlarni almashtiradigan eritma bilan yuviladi. Bu jarayon ionitni regenerasiyalash deyiladi.

Xromatografiya yordamida ajratishning mohiyati. Xromatografiya grekcha soʻzlardan tashkil topgan (xromas - rang, grafo – yozish) boʻlib, «rangni yozaman» degan maʼnoni bildiradi.

Xromatografiya moddalarni chuqurroq ajratish va tozalashda keng qoʻllaniladi. Hamma xromatografik usullar ajralishi kerak boʻlgan aralashma komponentlarining sorbentga har xil soʻrilishiga asoslangan. Bu ajralishi kerak boʻlgan aralashma komponentlarining gʻovak sorbsiyali muhitda harxil tezlik bilan harakatlanishiga sabab boʻladi. Aralashmadagi harbir komponentning harakat tezligi ularning soʻrilish darajasiga teskari proporsional boʻladi. Buning natijasida aralashmalar bir qator yoʻl va zonalarga ajralib xromatogrammani hosil qiladi. Ajralgan komponentlar keyin mexanik usulda bir biridan ajratiladi.

Xromatografik usul deb ajratishning shunday usuliga aytiladiki, bunda ajratiladigan komponentlar ikki faza oʻrtasida – kuchli gʻovak sirtga ega boʻlgan qattiq holdagi harakat siz yutuvchi qatlam va mana shu harakat siz qatlam

orqali fil'trlanayotgan suyuq eritma oqimlari o'rtasida taqsimlanadi.

Ajralayotgan aralashmaning va yutuvchining agregat holatlariga qarab xromatografiya usullari to'rt turga bo'linadi (2.1- jadval).

Xromatografiyali ajratish jarayonlari ularni amalga oshirishning shakllari bo'yicha bir-biridan ancha farq qiladi. Misol tariqasida suyuqlikli - adsorbsiya xromatografiyani ko'rib chiqamiz. Uning uchta usuli mavjud:

1. Ochiltiruvchi.
2. Siqib chiqaruvchi.
3. Frontal.

2.1 - jadval

Ajralgan aralashma va yutuvchining agregat xolati	Xromatografiya usullarining		
	Suyuqlikli-adsorbsiya	Gazli-adsorbsiya	Suyuqlik taqsimlanishi
Qo'zg'almas qatlam	Qattiq jism	Qattiq jism	Suyuqlik
Qo'zg'aluvchan qatlam	Suyuqlik	Gazli aralashma	Suyuqlik

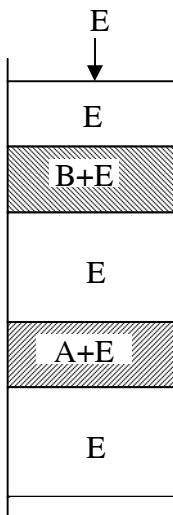
Mana shu usullarni A va B komponentlardan tashkil topgan aralashmani ajratish misolida ko'ramiz. Bunda B modda A ga qaraganda adsorbsiyalanishi kuchliroq bo'lsin.

1. Ochiltirish usuli (*elyuent* yoki *yuvish usuli*). Bu usulda sorbentli kolonkaning yuqori qismiga ajratiladigan A+B aralashmasi kiritiladi va u shu zahoti adsorbsiyalanadi. Shundan so'ng kolonka orqali A va B komponentlarning ikkaloviga ham nisbatan adsorbentga kuchsizroq

so`riladigan suyuqlik (ochiltirgich) E o`tkaziladi. Ochiltirgich adsorbsiyalangan A va B komponentlar bo`lgan qatlam orqali o`tib, sekin asta ikkita komponentni yuvib tusha boshlaydi.

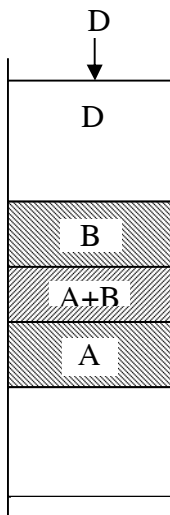
Biroq A komponent kuchsiz adsorbsiyalanganligi uchun u ko`proq yuviladi. Ma`lum bir vaqtdan so`ng A va B komponentlar har xil adsorbsiya zonalariga ajraladi (2.7 - rasm, a). Kolonkaning pastki qismida toza ochiltirgich yordamida bir biridan ajritilgan A va B komponentlar kolonkadan yuvuvchi suyuqlik bilan birgalikda alohida alohida chiqarib olinadi.

Очилтиргич



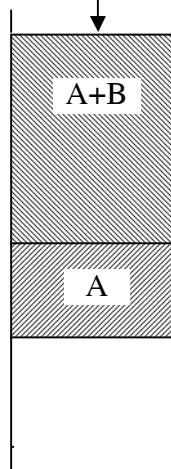
a)

Сиқиб чиқаргич



b)

A+B
аралашма



c)

2.7-rasm. Xromatografiyaning uchta usuli bilan ajralayotgan A+B aralashmadagi komponentlarning taqsimlanish sxemasi:
a – ochiltiruvchi; b – siqib chiqaruvchi; c - frontal

2. *Siqib chiqaruvchi usul (siqib chiqarish bilan ochiltirish).* Bu usulda yuvuvchi suyuqlik sifatida ikkala A va B komponentga qaraganda ham ko`proq adsorbsiyalanadigan D suyuqligi (siqib chiqargich) qo`llaniladi. Natijada, aralashmaning ikkala komponenti A va B siqib chiqaruvchi D tomonidan adsor-bentdan siqib chiqariladi. Bunda A komponent kuchsiz adsorbsiyalangani sababli tezroq siqib chiqariladi. Bu komponentlarning ajralishiga olib keladi (2.7 - rasm, b), lekin bunda alohida bo`lgan A va B

zonalaridan tashqari ikkala komponent boʻlgan oraliq zona ham mavjud boʻladi.

3. *Frontal usul*. Bu usulda kolonka orqali faqat ajraladigan aralashma oʻtkaziladi. A komponent kuchsizroq adsorbsiyalanganligi uchun komponentlarning ajralishi roʻy beradi (2.7 - rasm, c). Bu usul bilan faqat kuchsiz adsorbsiyalanadigan A komponentning toza holdagi maʼlum bir miqdorini ajratib olish imkoniyatini beradi.

Yuqorida koʻrib chiqilgan xromatografiyaning usullarida adsorbent sifatida aktivlangan koʻmir, silikagel, alyuminiyning aktiv oksidi va hokazolar qoʻllaniladi.

Xromatografik usul bilan murakkab aralashmalardan ionlari bir-biriga yaqin boʻlgan komponentlarni ajratib olishda (masalan: kam uchraydigan kamyob metallar ionlarini ajratishda) qoʻllaniladi.

2.8.4. Suyuq ekstraksiya jarayonlari yordamida ajratish

Ekstraksiya jarayoni umuman tanlangan moddani suyuq fazaga chiqarib olib ajratish jarayonidir. Bunda chiqarib olib ajratish gazsimon, suyuq yoki qattiq fazali aralashmalardan amalga oshiriladi.

Ekstraksiyaning harxil turlari mavjud boʻlib, gazni suyuqlik bilan ekstraksiyalash *absorbtsiya*, qattiq jismlarni suyuqlik bilan ekstraksiyalash esa – *ishqorlash* (*vishelachivanie*), erigan moddani

bir suyuq fazadan ikkinchi suyuq fazaga ekstraksiyalash *suyuq ekstraksiya* yoki oddiy qilib *ekstraksiya* deyiladi.

Suyuq ekstraksiyada erigan moddani bir suyuq erituvchidan boshqa suyuq erituvchi yordamida chiqarib olish jarayoni yuz beradi. Bunda ikkita erituvchi bir biri bilan aralashmasligi shart.

Yarim o`tkazgichlar va dielektriklar texnologiyasida erigan moddaning ekstraksiyasi o`tkaziladigan suyuqlik sifatida suv ishlatiladi. *Ekstragent* deb ataladigan, uning yordamida ekstraksiya o`tkaziladigan ikkinchi suyuqlik sifatida esa organik tabiatli suyuqlikdan foydalaniladi. Odatda ekstragent deganda toza erituvchi emas, balki reagent (ajratib olinadigan modda bilan kimyoviy birikadigan komponent) va suyultiruvchidan (qovushqoqlikni kamaytirish uchun) tashkil topgan suyuqlik tushuniladi.

Ko`pincha erigan modda ekstraksiyalanadigan suvli eritgich tarkibiga tuzlovchi deb ataladigan (tuz yoki kislota ko`rinishidagi) modda qo`shiladi. Bu modda ekstraksiyalanayotgan birikma bilan bir xil nomli ionga ega bo`lib, uning eruvchanligini kamaytiradi va uning suvli qorishmadan ajralish darajasining oshishiga olib keladi.

Suyuq ekstraksiya yarim o`tkazgichlar va dielektriklar texnologiyasida keng qo`llaniladi va uning yordamida quyidagi vazifalar hal qilinadi:

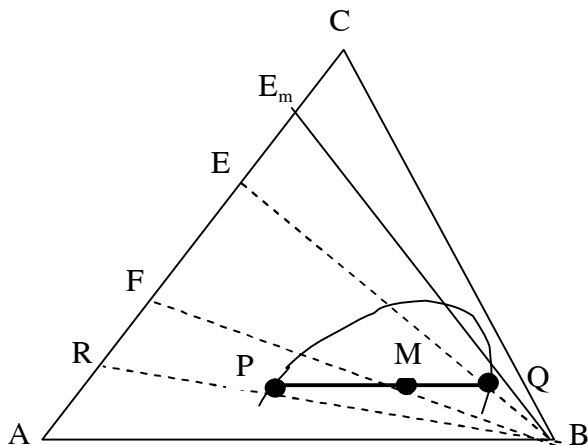
1. Ikkita modda aralashmasini harxil erituvchilarda konsentrasionalan holda alohida ajratish (masalan, suv va organik erituvchida);

2. Aralashmadagi asosiy komponentni organik erituvchiga ekstraksiya qilish va kirishmalarni suvli qorishmada qoldirish;

3. Organik erituvchiga kirishmalarni ekstraksiya qilish, asosiy komponentni esa suvli qorishmada qoldirish.

Ekstraksiyalik ajratish jarayonining mohiyatini 2.8 - rasmda keltirilgan uch komponentli xolat diagrammasi yordamida ko`rib chiqamiz. Bir biri bilan butunlay aralashadigan, tarkibi F bo`lgan A va C suyuqliklarga B erituvchi (ekstragent) qo`shilgan. Bunda u aralashma bilan to`liq aralashmaydigan va bitta komponentni tanlab olib, masalan bizning misolimizda C ni, eritadigan (ekstraksiyalaydigan) bo`lishi kerak. Bunda uchlangan tizimning tarkibiga mos keluvchi nuqta FB chizig`i bo`ylab xarakat qiladi. Ko`rayotgan misolimizda hosil bo`layotgan uchlangan tizimdagi aralashma miqdori bilan ekstragent tarkibi orasidagi nisbat M nuqtaga mos kelsin. Uchlangan tizimning qatlamlanishi natijasida hosil bo`layotgan geterogen fazaning tarkibi M nuqta orqali o`tkazilgan PQ konodaning holati bilan aniqlanadi. Q nuqtaga mos keluvchi fazada erituvchining tarkibi yuqori va bu faza ekstrakt fazasi yoki erituvchining fazasi deyiladi. P nuqtaga mos keluvchi fazada erituvchining miqdori kam va bu faza rafinat fazasi yoki qoldiq faza deb ataladi.

Q va R fazalarni bir-biridan ajratib va undan erituvchini chiqarib yuborib (distillyasiya yoki yuvish bilan)



erituvchisi bo'lmagan va mos holda

2.8-rasm Bir bosqichli ekstraksiyada olinayotgan mahsulotlarning tarkibi va

tarkibi E va R bo'lgan ekstrakt va rafinat olinadi. Boshlang'ich F tarkibli aralashmaga qaraganda E aralashma C komponentga ko'proq, R aralashma esa kamroq ega bo'ladi. Bundan keyin R rafinatga ekstragent qo'shib, fazalar ajratilib va ekstragent chiqarilgandan so'ng C ning miqdori yanada kam bo'lgan yangi rafinat hosil qilamiz va hokazo. Shunday yo'l bilan Boshlang'ich F tarkibli aralashmadan ko'p bosqichli (davriy) ekstraksiya o'tkazib istalgan darajali tozalikdagi A komponentni olishimiz mumkin.

Ekstraktdan C komponentni olish masalasiga kelsak, uning bu ko'p bosqichli jarayondagi mumkin bo'lgan maksimal tozalik darajasi B nuqtadan binodal egri chiziqqa o'tkazilgan urinma bilan AS chiziqning kesishish nuqtasi E_m ning holati bilan aniqlanadi (2.8 - rasm).

2.8.5. Kristallanish jarayonlari yordamida tozalash

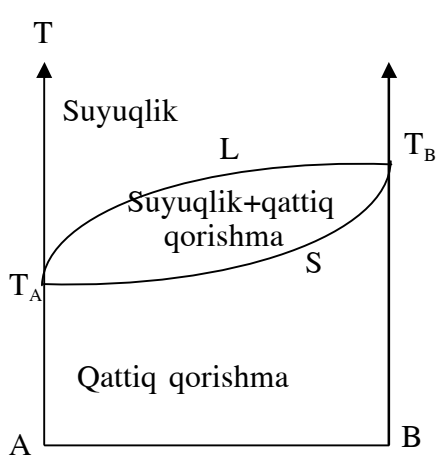
Kristallanish jarayoni deb, moddalarning suyuq holatdan qattiq kristall holatga o'tishiga aytiladi. Tozalashning kristallanish usullari kirishmalarning suyuq va qattiq fazalarda eruvchanligining har xilligiga asoslangan.

Hozirgi vaqtda yarim o'tkazgichli va dielektrikli materiallarni tozalashda eritmalarni kristallashdan keng foydalanilmoqda. Bu usul odatda moddalarni tozalash texnologik jarayonining oxirgi bosqichida qo'llaniladi.

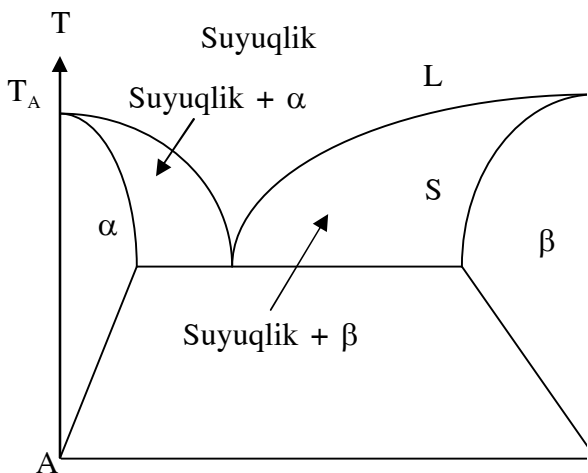
Moddalarni kristallash jarayonlari yordamida tozalashni o'tkazish uchun shu moddaning undagi kirishmalar bilan hosil qiladigan fazalar holati diagrammasini bilish shart. Kristallash usullari tozalash jarayonining oxirgi bosqichida qo'llanilgani sababli moddadagi qoldiq kirishmalar miqdori juda kam bo'ladi va ularning o'zaro yoki asosiy material bilan ta'sirlashuvi amalda kuzatilmaydi. Shu sababli keltirilgan fazalar diagrammasi ancha ixchamlashadi va murakkab ko'p komponentli tizimning fazalar diagrammasidan binar tizimning: asosiy komponent – kirishma faza diagrammasiga o'tish mumkin.

Binar tizimlarning erish-qotish diagrammalari turli tuman bo'ladi. 2.9 – rasmda yarim o'tkazgichlar va dielektriklar texnologiyasida eng ko'p to'qnash keladigan asosiy fazalar diagrammasining turlari keltirilgan.

Moddalarda kirishmalarning konsentrasiyalari juda kichik boʻlgan hollari uchun bu diagrammalar yanada soddalashadi. Haqiqatda kirishmaning kichik konsentratsiyalari sohasida, ya'ni toza komponentning erish nuqtasiga yaqin boʻlgan fazalar diagrammasining Boshlang'ich burchagida harxil tipdagi fazalar diagrammalari orasidagi farqlar yoʻqoladi. Buning natijasida kristallashli tozalash jarayonlarini tavsiflashda fazalar diagrammasining hamma turlarini asosiy komponentning erish nuqtasidan likvidus va solidus chiziqlariga urinma qilib oʻtkazilgan ikkita chiziq bilan almashtirish mumkin. Agar kirishma



a)



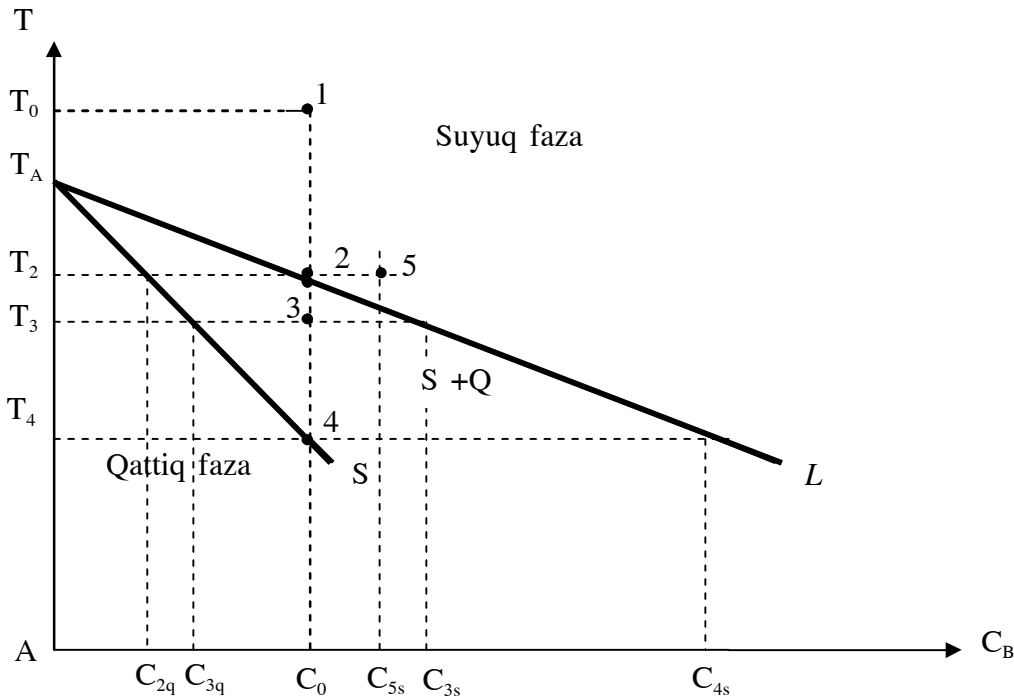
b)

2.9-rasm. Fazalar diagrammasining asosiy turlari: a – uzluksiz qattiq va suyuq qorishmalarning holat diagrammasi; b - α va β sohali qattiq qorishmalar evtektik holat diagrammasi

qorishmaning temperaturasi kamaytirsam, bu chiziqlar pastga yoʻnaladi, agar oshirsam, tepaga yoʻnaladi.

Endi binar tizimli suyultirilgan qorishmani kristallanish jarayonlari yordamida tozalashning prinsipini ko`rib chiqamiz. Bunda kirishma qorishmaning erish temperaturasi kamaytiradigan va konsen-trasiyasi juda kichik bo`lgan hol uchun likvidus va solidus egri chiziklari bilan ustma ust tushadigan to`g`ri chiziqli fazalar diagrammasi qismidan foydalanamiz (2.10-rasm). Konsentratsiyasi C_0 ga teng bo`lgan B kirishmali,  $T_0$  haroratli A komponentning eritmasi mavjud bo`lsin. Tizimning bunga mos keluvchi boshlang`ich holati koordinatlari  $C_0$  va  $T_0$  bo`lgan 1-figurativ nuqta bilan ifodalanadi.

Harorat pasaytirilganda figurativ nuqta vertikal chiziq bo`yicha pastga harakatlanadi va tizimning ketma-ket xolatlarini belgilaydi. 2-nuqta vertikal traektoriyaning likvidus chizig`i bilan kesishgan nuqtasi bo`lib, u qorishmaning kristallanishining boshlanish haroratini aniqlaydi.



2.10-rasm. A komponentda eritilgan B komponentli suyultirilgan korishmaning kristallanishida kirishmalarning suyuq va qattiq fazalarda taqsimlanishi

Bu haroratda kristallanishning boshlanish harorati bilan belgilanadigan 2 - nuktadan o'tkazilgan gorizontall chiziqning solidus chizig'i bilan kesishishidan aniqlanadigan tarkibi C_{2q} bo'lgan qattiq faza hosil bo'ladi.

Haroratning bundan keyingi pasayishlaridan to kristallanishning oxirigacha tizimning holati ikkita nuqta bilan ifodalanadi. Bu esa tizimda bir vaqtning o'zida bir biri bilan muvozanatda bo'lgan ikkita fazaning borligini ko'rsatadi. Bu nuqtalarning bittasi solidus chizig'ida bo'lib qattiq fazaning tarkibini beradi, ikkinchisi esa likvidus chizig'ida bo'lib suyuq fazaning tarkibini beradi. Erish intervali C_0 vertikal chizig'ining solidus va likvidus chiziqlari bilan kesishish nuqtalarining o'rinlari bilan aniqlanadi. 4-nuktaga mos

keladigan haroratda suyuq faza butunlay yo`qoladi va tizim yana bir fazali bo`lib qoladi, qattiq fazaning tarkibi esa suyuqlikning boshlang`ich tarkibi  $C_0$  bilan bir xil bo`lishi kerak. Haroratning keyingi pasayishi bilan qattiq fazaning tarkibi o`zgarmaydi. Agar haroratni oshiradigan bo`lsak, shu holatlarni tizim teskari ketma ketlikda bosib o`tadi.

Demak, ko`rib o`tilganlardan shunday xulosa chiqadiki, bunda kristallanayotgan quymaning tarkibi boshlang`ich eritma tarkibidan farq qilishi kerak emas va bir fazali sohadagi eritmaning tarkibi kabi bo`lishi kerak. Shunday qilib, kristallanayotgan materialda bir jinsli bo`lmagan tarkib hosil bo`lmasligi kerak edi, lekin odatda bunday tarkiblar hamma vaqt hosil bo`ladi. Bunday bo`lishiga sabab kristallanish jarayonining tahlilida termodinamik yondashishdan foydalanganlikdadir, ya`ni har qanday vaqtda tizim muvozanat holatida bo`ladi deb xulosalar chiqarilgan. Aslida kristallanish jarayonida harorat uzluksiz ravishda o`zgarib turadi. Demak bunday sharoitda tizim yangi muvozanat holatga kelishga ulgurishi uchun haroratning o`zgarishi cheksiz sekin bo`lishi shart, ya`ni kvazistatik jarayon amalga oshishi kerak.

Real tizimda yangi tashqi sharoitga (haroratga) javob beradigan muvozanat suyuq va qattiq fazalarda komponentlarning diffuziyasi bilan bog`liq mexanizmlari jarayonlar yordamida amalga oshadi. Suyuq fazadagi diffuziya koeffisienti qattiq fazadagiga qaraganda bir necha tartib

yuqori bo`ladi. Masalan, 800 °C li haroratda germaniyda indiyning diffuziya koeffisienti  $2 \cdot 10^{-17}$  m<sup>2</sup>/s ga teng bo`lsa, suyuq germaniyda esa 10^{-9} m²/s atrofida bo`ladi. Shu sababli eritmada muvozanatga kelish tezligi qattiq fazadagiga qaraganda ancha katta bo`ladi.

Real sharoitda, ya`ni qattiq fazada diffuziyaning juda xam kichik bo`lgan sharoitdagi eritmaning kristallanish jarayonini ko`rib chiqamiz. Bunda kristallanish jarayoni eritmada va fazalarning bo`linish chegarasidagi muvozanat cheksiz bo`lib turishiga ulguradigan tezlikda bo`lmoqda deb faraz qilamiz. Bundan tashqari qattiq fazada diffuziya shunchalik sekin bo`ladiki, bunda kristall ichki qismining tarkibi kristallanish haroratidagi tegib turgan eritmaning tarkibiga mos kelmaydi. Bunda qattiq faza tarkibining diffuziya ta`siridagi o`zgarishlarini hisobga olmasa ham bo`ladi.

Eritmaning haroratini kristallanishning boshlanish haroratigacha kamaytirilganda (2.10-rasm, likvidus chizig`idagi 2 - nuqta) tarkibi  $C_{q_2}$  va suyuq fazaga qaraganda A komponentga boyroq bo`lgan qattiq faza hosil bo`ladi. Eritma esa B kirishma komponentga boyib qoladi. Buning natijasida bu eritmani ifodalaydigan figurativ nuqta 2-nuqtaga qaraganda birmuncha o`ng tomonga siljiydi (5-nuqta). Ko`rinib turibdiki, T_2 harorat 5-nuqta bilan ifodalanadigan eritmaning kristallanish haroratidan birmuncha yuqoridir. Haroratning keyingi kamayishi natijasida 5-figurativ nuqta yana likvidus

chizig`iga keladi va buning natijasida ajralayotgan qattiq faza qatlamlarining tarkibi endi B komponentga boyroq bo`lib qoladi. Bularning kristallanishi natijasida figurativ nuqta yana o`ng tomonga siljiydi va shunday qilib eritmaning keyingi qismlari pastroq haroratda kristallana boshlaydi. Qattiq fazada diffuziyaning tezligi juda kichik bo`lganligi sababli, kristallning o`sinh jarayonida o`sayotgan qatlamlar borgan sari B komponentga boyib boradi.

Shunday qilib, real sharoitdagi kristallanish jarayonlari natijasida qattiq faza tarkibiga ko`ra bir jinsli bo`lmagan holda kristallanar ekan. Hosil bo`lgan kristall quymasi konsentrasiyasi uzluksiz o`zgaradigan qattiq qorishma ko`rinishida bo`ladi. Bu hodisa va o`zgarmas tarkibning bunday buzilishi *segregatsiya* deyiladi. Yuqorida keltirilganlardan shu narsa ayon bo`ldiki, segregasiya ikkita holatning birgalikdagi ta`siri natijasida yuzaga keladi:

1. Muvozanat holatdagi suyuq va qattiq fazalar tarkibidagi farq;

2. Qattiq fazada tekislanish jarayonlarining (diffuziyaning) sekinligi.

Kristall real sharoitlarda o`sayotganida fazalar chegarasi  $0,01 \div 10$  mm/min tezlik bilan harakatlanadi. Bunga nisbatan qattiq faza ichidagi komponentlarning diffuziyali siljish tezligi juda ham kichik. Bundan tashqari o`sayotgan kristallning qatlami bir zumda kristall o`sinhida hosil qilinadigan harorat gradientining past haroratli sohasiga tushib qoladi va bu erda

diffuziya jarayonlari yanada sekinlik bilan kechadi. Buning natijasida tarkibning bir jinsli emasligi saqlanadi, hamda kristallanish jarayoni yordamida moddalarni ajratish yoki tozalash mumkin boʻladi.

Eritmani kristallash natijasida moddalarning tozalanish samaradorligini baholash uchun taqsimlanish koeffitsienti K qabul qilingan. K son jihatdan qattiq fazada erigan modda konsentrasiyasining shu moddaning suyuq fazadagi konsentrasiyasiga nisbatiga teng. Asosiy komponent – kirishma tizimiga bogʻliq holda K birdan katta yoki kichik boʻlishi mumkin va uning qiymati 10^{-5} – 10 oraligʻda oʻzgaradi.

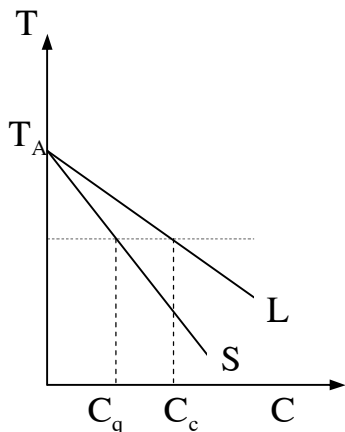
Taqsimlanish koeffitsienti ikki xil boʻladi: *muvozanatli taqsimlanish koeffitsienti va samarali taqsimlanish koeffitsienti.*

Muvozanatli taqsimlanish koeffitsienti kristall va eritma orasidagi har bir muvozanat paytida aralashmadagi komponentlarning ajralish holatini xarakterlaydi. Muvozanatli taqsimlanish koeffitsienti fazalar diagrammasi asosida hisoblanadi. Bunda u berilgan T harorat uchun izoterma chiziq bilan likvidus va solidus chiziqlari kesishishidan hosil boʻlgan gorizontalar kesmalar - « C_{qat} » va « C_{suyuq} » konsentrasiyalarning nisbatidan topiladi:

$$K_0 = C_q / C_s \quad (2.31)$$

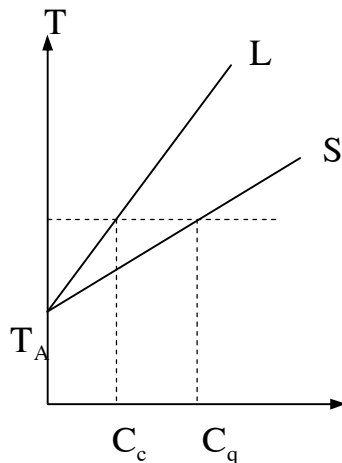
Agar kirishma tozalanayotgan moddaning kristallanish haroratini kamaytirsa, $K_0 < 1$ boʻladi, chunki $C_q < C_s$ (2.11-rasm) , agar kirishma

kristallanish haroratini oshirsa, $K_0 > 1$ bo'ladi chunki $C_q > C_s$ (2.12-rasm).



2.11 – rasm. Kirishma asosiy komponentning erish temperaturasi kamaytiradigan
1- holat

$$\begin{aligned} &\leq \\ K_0 &= \frac{C_q}{C_c} < 1 \\ &\Rightarrow \\ K_0 &= \frac{C_q}{C_c} > 1 \end{aligned}$$

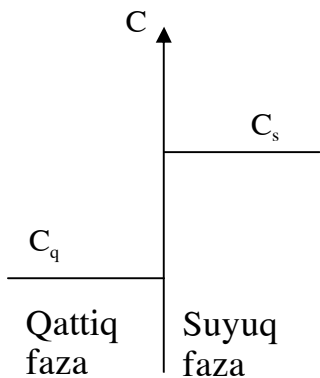


2.12 – rasm. Kirishma asosiy komponentning erish temperatura oshiradigan
2- holat

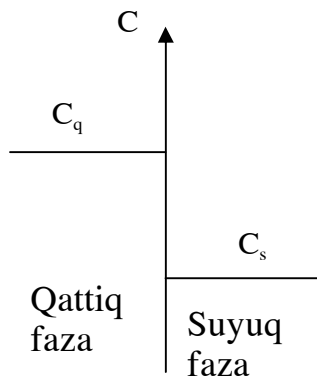
Agar holat diagrammasida likvidus va solidus chiziqlari to'g'ri chiziqlardan iborat bo'lsa, unda har xil haroratlarda C_q va C_s kesmalarda qurilgan uchburchaklar o'xshashligidan K_0 ning konsentrasiya va haroratga bog'liq bo'lmasligi kelib chiqadi.

Muvozanat sharti eritmaning kristallanishi juda kichik bo'lgan tezliklardagina bajariladi. Bunda eritmaning hajmida C_s o'zgarmas bo'ladi (2.13-rasm) va uning kristallangan qismdagi konsentrasiyasi quyidagi formula bo'yicha topiladi:

$$C_q = K_0 C_s, \quad (2.32)$$



1-holat uchun



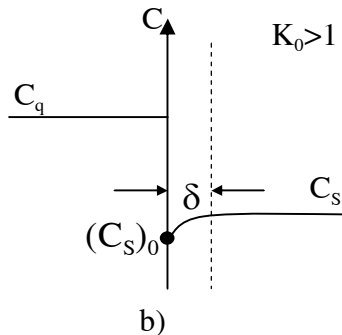
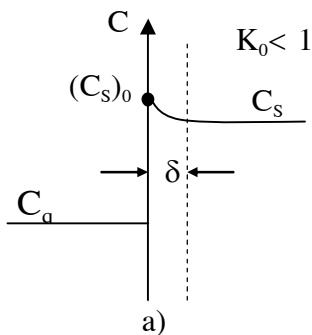
2-holat uchun

2.13-rasm. Qattiq va suyuq fazalarning chegara qatlamidagi kirishmalar taqsimotini sxematik tasviri (kristallanish tezligi cheksiz kichik)

Real sharoitda kristallanish frontining harakat tezligi eritmadagi aralashmaning diffuziya tezligidan katta bo`ladi.

Buning natijasida kristallanish frontining oldida, agar $K_0 < 1$ bo`lsa, effektiv qalinligi « $\delta$ » bo`lgan kirishmaga boyigan (2.14-rasm, a), agar $K_0 > 1$ bo`lsa, kirishmaga taqchil eritma qatlami hosil bo`ladi (2.14-rasm, b).

Bunday sharoitda kristallangan qismdagi



2.14-rasm. Nomuvozanat sharoitda fazalarning bo`linish chegarasida kirishmalarning taqsimoti: kristallanish tezligi chekli qiymatga ega

kirishmaning konsentrasiyasi « C_q » kristallanish fronti yaqinida eritmadagi kirishma konsentrasiyasi $(C_s)_0$ bilan aniqlanadi. Umumiy holatda $(C_s)_0$ noma'lum bo'lgani uchun qattiq va suyuq fazalardagi kirishmalarning konsentrasiyasi effektiv taqsimlanish koeffisienti bilan aniqlanadi:

$$K = \frac{C_{\kappa}}{C_c}, \quad (2.33)$$

Kirishmalarning δ qatlamdagi massa uzatilishi diffuziyali xarakterga ega bo'lgan hol uchun effektiv va muvozanatli taqsimlanish koeffisientlari bir-biri bilan quyidagicha bog'lanadi:

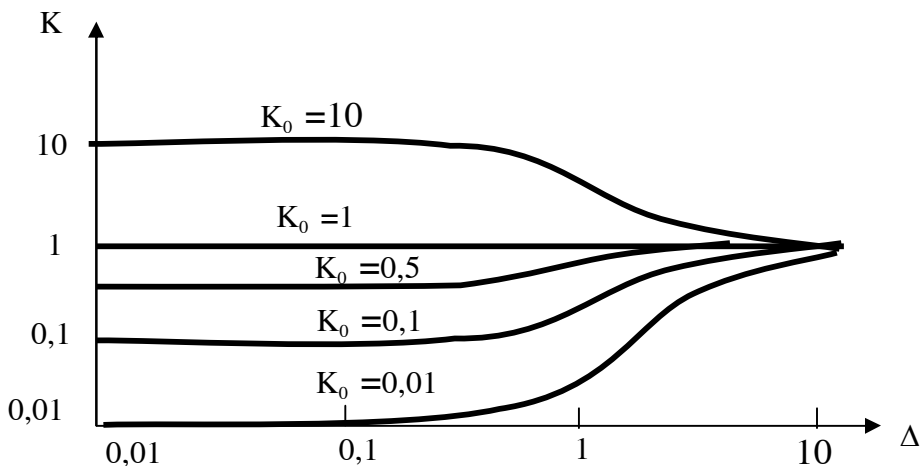
$$K = \frac{K_0}{K_0 + (1 - K_0) \cdot e^{-\frac{\nu\delta}{D}}} \quad (2.34)$$

Bu tenglamadagi $\Delta = \frac{\nu\delta}{D}$ o'lchamsiz

kattalik bo'lib, «keltirilgan kristallanish tezligi» deyiladi; ν - kristallanish tezligi; D - eritmadagi kirishmaning diffuziya koeffisienti.

Shunday qilib, agar mana shu kattaliklar va muvozanatli taqsimlanish koeffisienti ma'lum bo'lsa, K ning qiymatini hisoblash mumkin.

2.15-rasmda har xil asosiy komponent-kirishma tizimlari uchun effektiv taqsimlanish koefisientining Δ kattalikka bogʻlanishi



2.15-rasm. Kirishma taqsimoti effektiv koefisienti K ning har xil qiymatlari uchun oʻsishning keltirilgan tezligi Δ ga bogʻlanish grafigi

keltirilgan. Bu bogʻlanishlardan shu narsa koʻrinyaptiki, keltirilgan kristallanish tezligi Δ ning

oshishi bilan K ning qiymati birga tomon intiladi.

Δ ning kamayishi esa K ning qiymatini K_0 ga yaqinlashtiradi. Bundan tozalash jarayonining effektivligini oshirish uchun effektiv taqsimlash koefisientining qiymatini muvozanatli taqsimlash koefisienti qiymatiga mumkin qadar yaqinlashtirish kerakligi kelib chiqadi. Mana shu effektga kristallash bilan tozalashda suyuq fazani intensiv aralashtirib turiladigan sharoitda ham erishish mumkin.

2.8.6. Gaz fazasi orqali haydash jarayonlari yordamida tozalash

Gaz fazasi orqali haydash jarayonlarini bug`larining bosimi yuqori qiymatlarga ega bo`lgan oddiy moddalar va kimyoviy birikmalarni tozalash uchun qo`llash mumkin. Masalan P, Sb, S, Mg, Ca, Zn va ba`zi bir elementlarning suyuq xloridlari (GeCl_4 , SiCl_4 , TiCl_4 kabi) hamda yarim o`tkazgichli va dielektrik materiallarni ishlab chiqarishda uchuvchan birikma shaklidagi oraliq mahsulotlar (past galogenidlar) va shu kabilarni tozalashda gaz fazasi orqali haydash jarayonlaridan foydalaniladi. Gaz fazasi orqali haydash jarayonlarining sublimasiya va distillyasiya, kimyoviy transport reaksiyasi yordamida tozalash kabi usullari moddalarni ajratish va tozalashda keng qo`llaniladi.

Sublimasiya va distillyasiya usuli bilan moddalarni ajratish va tozalash. Sublimasiya deganda moddaning qattiq holatdan bug` holatiga to`g`ridan to`g`ri o`tish jarayoni tushuniladi. Sublimasiyani ajratish va tozalash usuli sifatida erish haroratidan past haroratlarda qizdirilganda bug`larining bosimi keraklicha yuqori bo`lgan moddalar uchungina qo`llash mumkin. Bunda moddada asosiy moddaga nisbatan ko`proq uchuvchan kirishmalar bo`lsa ular past haroratlarda haydaladi. Kamroq uchuvchan kirishmalar esa asosiy komponent uchib ketgandan so`ng qoldiqda yig`iladi.

Distillyasiya – bu suyuq qorishmani bug`ining bosimi harxilligi bilan xarakterlanadigan tarkibiy qismlarga ajratish jarayoni bo`lib, bunda ular avval bug`latiladi, keyin esa bug`lar kondensasiyalanadi.

Cheksiz qattiq va suyuq qorishmalar qatorini hosil qiladigan A va B komponentalardan tashkil topgan ikkilangan tizim misolida moddani ajratish va tozalashda bug`latish va kondensasiyalash jarayonining asosini ko`rib chiqamiz.

Agar A va B komponentlar tarkibi, molekulalarining kattaligi, tuzilishi va xossalari jihatdan bir-biriga yaqin bo`lsa va ular bir-biri bilan kimyoviy birikma hosil qilmasa, unda qorishma ustidagi harbir komponent to`yintiruvchi bug`ining parsial bosimi o`zgarmas haroratda uning qorishmadagi molli qismiga proporsional bo`ladi, ya`ni:

$$P_A = N_A P_A^O, \quad (2.35)$$

$$P_B = N_B P_B^O, \quad (2.36)$$

bu erda P_A va P_B - A va B komponentalarning qorishma ustidagi parsial bosimlari; N_A va N_B - ularning qorishmadagi molli qismlari; P_A^O va P_B^O – toza holatdagi A va V komponentalarning bug` bosimi.

Qorishma bilan muvozanatdagi bug` ning umumiy bosimi:

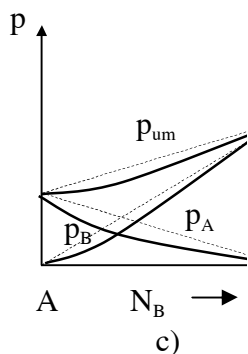
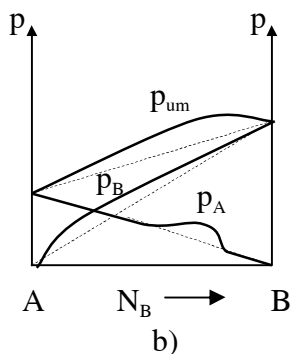
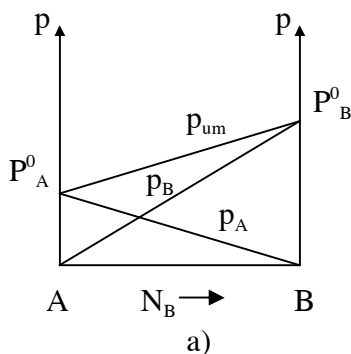
$$P_{AB} = N_A P_A^O + N_B P_B^O \quad (2.37)$$

Odatda $N_A + N_B = 1$ va $N_A = 1 - N_B$ bo'lgani uchun (2.35) va (2.36) tenglamalardan:

$$\begin{aligned} & , \quad , \quad (P_A^O - P_A) / P_A^O = N_B \\ & P_{AB} = P_A^O + N_B (P_B^O - P_A^O). \end{aligned} \quad (2.39)$$

Bu ifodalar molli qismga nisbatan chiziqli funksiyalar bo'lib, ularga o'zgarmas haroratda bug'ning umumiy va parsial bosimlarining eritma tarkibiga bog'liqligi keltirilgan diagrammadagi to'g'ri chiziqlar mos keladi (2.16-rasm, a).

Yuqoridagi (2.39) - ifoda ideal tizim uchun Raul qonuni deyiladi va u quyidagicha ta'riflanadi: A erituvchi to'yingan bug' bosimining nisbiy kamayishi undagi erigan B moddaning molli qismiga teng va aksincha.



2.16-rasm. Ikki komponentli tizimlarda bug`ning umumiy va parsial bosimlarining tarkibga bog`lanish grafiklari:

a – ideal tizim; b – Raul qonunidan musbat chetlangan tizim; c – Raul qonunidan manfiy chetlangan tizim (harorat o`zgarmas)

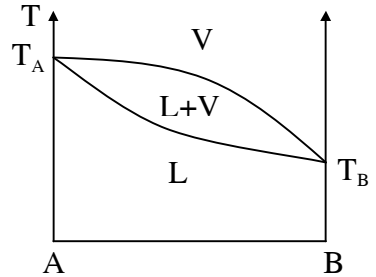
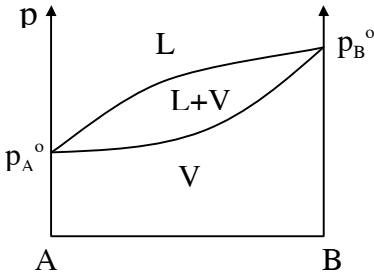
Amalda ideal qorishmalar nisbatan kam uchraydi va ularning hosil bo`lishida issiqlik effekti yoki hajm o`zgarishi kuzatilmaydi. Real eritmalar esa qorishma bug` bosimi bilan uning tarkibi o`rtasidagi chiziqli bog`lanishdan chetlanish kuzatiladi (2.16-rasm, b, c). Bunda Raul` qonunidan musbat va manfiy chetlanadigan eritmalar farq qiladi. Musbat chetlanishli eritmalar issiqlik yutilishi va hajmning kengayishi orqali hosil bo`ladi (2.16-rasm, b). Manfiy chetlanishli eritmalarining hosil bo`lishida esa issiqlik ajralishi va hajmning kamayishi kuzatiladi (2.16-rasm, c).

Qorishma ustidagi bug`ning tarkibi bilan qorishmaning tarkibi orasidagi bog`lanishni ko`rib chiqamiz. Umumiy holatda bug`dagi qorishma komponentlarining nisbiy miqdori ularning qorishmadagi nisbiy miqdorlaridan farq qiladi. Faqat bug` bosimlari toza holatda bir xil bo`lgan komponentlardan tashkil topgan ideal tizimdagina qorishma ustidagi bug` va qorishmadagi komponentlar nisbati bir xil bo`ladi. Boshqaideal holatlarda esa bug` fazasi

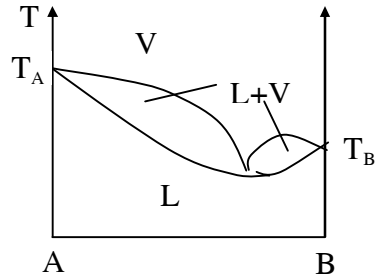
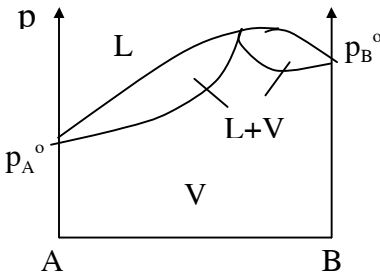
qorishmaga nisbatan bug` bosimi toza holda yuqoriroq bo`lgan komponentga boyroq bo`ladi.

Bug` tarkibining qorishma tarkibiga va tizimdagi umumiy bosimga bog`lanishi D.P. Konovalov ochgan qonunlar bilan ifodalanadi. Bu qonunlarning asosiy mazmuni koordinatalari qaynash harorati – qorishma tarkibi va bug` bosimi – qorishma tarkibi bo`lgan diagrammalarda aks ettirilgan (2.17-rasm).

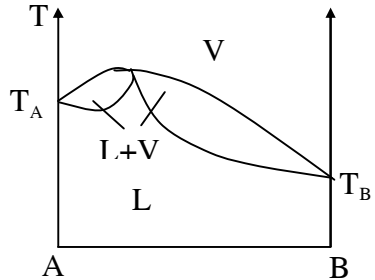
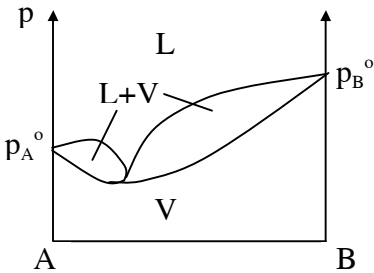
1-tur



2-tur



3-tur



2.17-rasm. Cuyuqlik L – bug` V tizimining har xil turlari uchun tarkib - bug` bosimi P va tarkib - qaynash temperaturasi T holat diagrammalari

Bu rasmlarda holat diagrammasining uch xil turi keltirilgan. Bularning harbirida ikkita egri chiziqli qurilgan bo`lib, ularning bittasi holat parametrlarini bug` tarkibi bilan, ikkinchisi esa

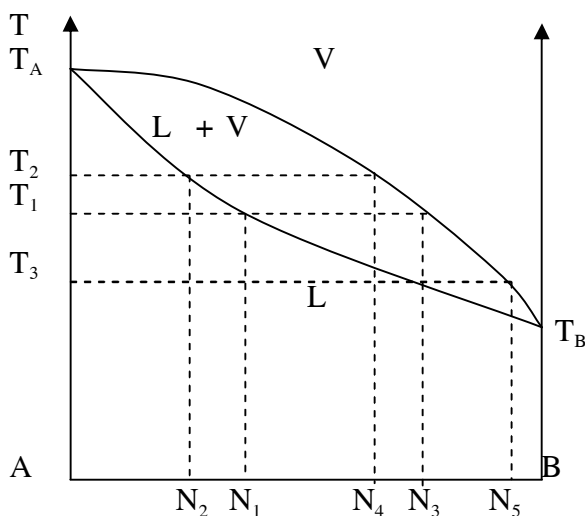
suyuq faza tarkibi bilan bogʻlaydi. Qaynash harorati - qorishma tarkibi diagrammasida pastki egri chiziq Suyuqliktarkibiga, yuqorigisi esa bugʻ tarkibiga toʻgʻri keladi. Bugʻ bosimi - qorishma tarkibi diagrammasida bu egri chiziqlar teskari joylashgan. Qaynash harorati minimum nuqtali tizimlar bugʻ bosimida maksimumga ega boʻladi va aksincha. Maksimum va minimum nuqtalarga mos keluvchi qorishmalarning tarkibi u bilan muvozanatda boʻlgan bugʻ tarkibi bilan bir xil boʻladi (Konovalovning 2-qonuni). Shu nuqtalarga mos keluvchi qorishmalar azeotrop qorishma yoki ajralmasdan (hamisha) qaynovchi qorishmalar deyiladi.

Har xil turdagi fazali diagramma bilan xarakterlanadigan tizimlar distillyasiya jarayonida oʻzini har xil tutadi.

Avval eng sodda boʻlgan birinchi turdagi diagrammaga mos keladigan A va B komponentlardan iborat tizimni koʻrib chiqamiz (2.18-rasm). B komponentning qaynash temperaturasi A ga qaraganda pastroq boʻlsin. Agar tarkibi N_1 boʻlgan eritmani qizdira boshlasak, temperatura T_1 ga etganda qaynay boshlaydi. Bu qorishma bilan muvozanatda boʻlgan bugʻ N_3 tarkibga ega boʻladi va bu tarkib qorishmaga qaraganda B komponentga boyroq boʻlib qoladi. (Konovalovning 1-qonuni).

Qorishmaning maʼlum bir miqdori bugʻlanib ketganidan keyin qorishma A komponentga boyib qoladi va uning tarkibi endi N_2 nuqta bilan xarakterlanadi. N_2

tarkibli qorishmaning temperaturasi T_2 ga etganda qaynay boshlaydi va bu qorishma bilan muvozanatda bo'lgan bug'ning tarkibi qorishmaga qaraganda B komponentga yanada boyroq bo'lib qoladi. Bug'lanish davom etishi natijasida qoldiq qorishma A ga borgan sari boyib boraveradi, qaynash temperaturasi mos ravishda kattalashib T_A ga yaqinlashadi va oxirida toza holdagi A komponent qoladi va uning qaynash temperaturasi T_A ga teng bo'ladi. Agar T_1 temperaturada qorishmadan bug'lanayotgan N_3 tarkibli bug'ni kondensasiyalasak va bu kondensatni distillyasiya qiladigan bo'lsak, u T_3 temperaturada qaynaydi va uning bug'i N_5 tarkibga ega bo'ladi, ya'ni B komponentga boyib qoladi. Bu kondensasiya va distillyasiya



jarayoni ni takrorlab ajralayotgan bug' toza B komponentdan iborat bo'lishini ta'minlash mumkin.

2.18-rasm. Distillyatsiyada qorishma va bug' tarkiblari o'zgarishining sxematik tasviri

Shunday qilib, bunday turdagi tizimlarda har qanday ikki komponentlik aralashmani distillyasiya usuli bilan toza komponentlarga ajratish mumkin.

Ikkinchi va uchinchi turdagi tizimlarda esa bu usul bilan qorishmani toza komponentlarga ajratish mumkin emas.

Azeotrop bug'lanish vaqtida komponentlarga bo'linmaydi va uni ajratish uchun boshqa usullardan (ekstraksiya, kristallash kabi) foydalaniladi. Azeotrop qorishmalar amaliy jihatdan zarur bo'lgan ko'pgina tizimlarda uchraydi: xlorli vodorod + suv – ($H_2O + HCl$), azot kislotasi + suv – ($HNO_3 + H_2O$), etil spirti + suv, oltingugurtli uglerod + aseton va shu kabilar.

Distilyasiya usulida tozalash yoki ajratish jarayonlarni miqdoriy xarakterlash uchun taqsimlanish koeffisientidan foydalaniladi:

$$K = \frac{N'}{N}, \quad (2.40)$$

bu erda N' va N – mos ravishdagi bug' va qorishmadagi komponentlarning molli qismi.

Ko'rilayotgan ikki komponentli tizim uchun :

$$K_A = \frac{N'_A}{N_A}; \quad K_B = \frac{N'_B}{N_B}. \quad (2.41)$$

Modda distillyasiya usuli bilan chuqur tozalanganda asosiy komponent va kirishmaning bug' va suyuq fazalar orasida taqsimlanishining effektivligini baholash uchun ham ajratish koeffisientidan foydalaniladi:

$$K_{AJ} = \frac{\frac{N_A'}{N_B}}{\frac{N_A}{N_B}} = \frac{K_A}{K_B} \cdot \quad (2.42)$$

Ideal (Raul qonuniga bo'ysunadigan) eritmalar uchun ajratish koeffitsienti qorishmaning tarkibiga bog'liq bo'lmaydi va uni quyidagicha yozish mumkin:

$$K_{AJ}^{id} = \frac{P_A^0}{P_B^0} \cdot \quad (2.43)$$

Bu koeffitsient nisbiy uchuvchanlik koeffisienti ham deyiladi. Real qorishmalar uchun ajralish koeffitsienti (nisbiy uchuvchanlik koeffitsienti) quyida ko'rinishga ega bo'ladi:

$$K_{AJ} = \left(\frac{P_A^0}{P_B^0} \right) \cdot \left(\frac{\gamma_A}{\gamma_B} \right), \quad (2.44)$$

bu erda γ_A va γ_V - A va V komponentlarning aktivlik koeffisienti bo'lib, qorishma xossalari ideal holatdan qanchalik chetlanganlik darajasini ifodalaydi va quyidagi nisbat bilan aniqlanadi:

$$\gamma = \left(\frac{P}{P^0} \right) \cdot \left(\frac{1}{N} \right). \quad (2.45)$$

Kirishma komponenti konsentratsiyasining juda kichik qiymatlarida asosiy komponentning aktivlik koeffitsienti $\gamma \rightarrow 1$ ga intiladi. Masalan: A asosiy komponentni B kirishmaning izlaridan tozalashda $\gamma_A \rightarrow 1$ va (2.44) ifoda quyidagicha yoziladi:

$$K_{AJ} = \left(\frac{P_A^0}{P_B^0} \right) \cdot \left(\frac{1}{\gamma_B} \right) = K_{AJ}^{id} \left(\frac{1}{\gamma_B} \right). \quad (2.46)$$

Demak, kirishmalar konsentrasiyasining juda kichik qiymatlarida tozalash jarayoni asosan kirishmaning aktivlik koeffisienti bilan aniqlanadi yoki qorishmaning ideal holatidan chetlanganlik kattaligi va xarakteri bilan aniqlanadi.

Masalan, baʼzi bir binar tizimlarda ajratish koeffisientlarining (nisbiy uchuvchanlik) qiymatlari kirishmalarning kichik konsentratsiyalari uchun 2.2-jadvalda keltirilgan. Bu binar tizimlar uchun K_{AJ} ning qiymati birdan ancha katta ekanligi bu tizimlarni shu kirishmalardan distillyasiya yordamida tozalash mumkinligini koʻrsatadi.

2.2 - jadval

Asosiy komponent	Kirishma	K_{AJ}
$SiHCl_3$	– PCl_3	– 4,47
$SiHCl_3$	– CCl_3	– 2,65
$SiHCl_3$	– $TiCl_4$	– 3,10
$SiHCl_3$	– $SnCl_4$	– 11,0
$SiHCl_3$	– $CHCl_3$	– 5,25

Sublimatsiya - distillyatsiya usuli bilan moddalarni ajratish va tozalash jarayonlarining samaradorligi va sifati tozalanayotgan

moddalardagi kirishmaning tarkibi, bug`lanish va haydash sirti kattaligi, modda va kondensator temperaturasi, apparatdagi gazlarning tarkibi va bosimi kabi kattaliklarga bog`liq bo`ladi.

Asosiy komponent va kirishmalarning nisbiy uchuvchanliklariga bog`liq holda oson uchadigan kirishmalar past temperaturalarda haydaladi, yuqoriroq temperaturalarda esa kam uchadigan kirishmalar haydaladi. Bug`lanish va haydash jarayonlarining tezligini oshirish uchun ajraladigan moddalarning sirtini imkon qadar katta bo`lishligini ta`minlash kerak. Tozalash samaradorligini oshirish maqsadida ko`pincha gaz holatdagi toza vodorod qo`llaniladi. U juda ko`p oksidlarni, sul`fidlarni, selenitlarni va galogenitlarni qaytarish xususiyatiga ega. Qaytarilgan kirishmalar esa eritmadan bug`lanib ketadi.  $O_2$ , S, Se va galogenlar esa  $N_2$  ning birikmalari sifatida uchib chiqib ketadi. Nam vodorod kremniy eritmasidan borni uchuvchan  $BN_3$  gidridini hosil qilish yo`li bilan haydash uchun ishlatiladi.

Texnikada uzluksiz jarayon faqat distillyasiya usuli uchun amalga oshirilgan. Ajratish va tozalashning bunday uzluksiz jarayoni va bunda alohida fraksiyalar uchun distillyasiya va kondensasiya operasiyalarining ko`p marta qaytarilishi rektifikatsiya deyiladi va bu jarayon o`tadigan apparat esa rektifikatsiya kolonnasi deyiladi (2.19-rasm).

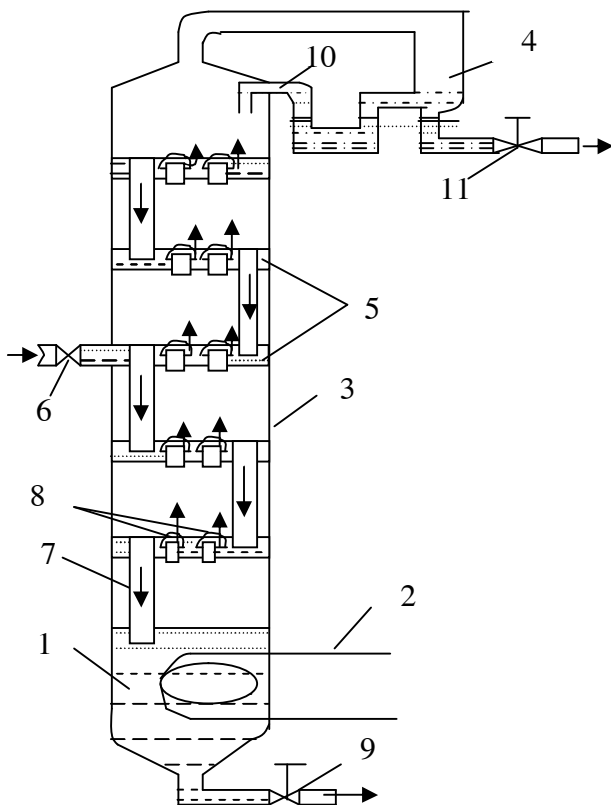
Rektifikasiyaning	samaradorligi
distillyatsiyaga qaraganda	juda yuqori

hisoblanadi. Masalan: ikki komponentli suyuq aralashmani ajratishda ularning qaynash harorati distil-lyasiya usulida kamida 50 gradusga farq qilishi kerak. Rektifikasiya usulida esa 0,5 °C va ba`zi hollarda 0,05 °C farq qilsa ham etarli hisoblanadi.

Shu bilan bir qatorda rektifikatsiya ajratishning eng mahsuldor jarayonlaridan biri hisoblanadi. Bundan tashqari u nisbatan oddiy, qurilmalari ixcham, jarayon uzluksiz, isrofgarchilik yo`q darajada. Mana shularning hammasi sanoatda yarim o`tkazgich va dielektriklarning toza komponentlarini (oddiy modda yoki uchuvchan birikmalar ko`rinishda haydash bilan) olishda, xususan SiCl_4 , TiCl_4 , CCl_4 , GeCl_4 , CH_3SiCl_3 , AlCl_3 , SbCl_3 , BBr_3 , oltingugurt, selen, fosfor, sirkoniy va gafniy birikmalarini tozalashda va hokazolarda rektifikasiya usulining keng qo`llanilishiga asos bo`ldi.

2.19-rasmda rektifikasiya qurilmasining prinsipial sxemasi keltirilgan. Qurilmaning asosiy qismlariga kub (qozon) 1, qizdirgich 2, rektifikasiya

kolonnasi 3 va kondesator 4 kiradi.



2.19-rasm. Rektifikatsiya qurilmasining sxemasi

Rektifikatsiya kolonnasi gorizontal joylashgan qator 5 taqsimchalarga ega. Oldindan isitilgan, rektifikatsiya qilinadigan qorishma kran 6 orqali oʻrtadagi taqsimchalarning bittasiga beriladi.

Uni toʻldirgandan soʻng quvur 7 orqali pastdagi taqsimsimchaga oqib tushadi. Pastdan tepaga koʻtarilayotgan bugʻlar quvurcha 8 orqali taqsimchadagi qorishmadan oʻtayotganda unda pufakchalar hosil qilib tepaga koʻtariladi. Quvurchadagi qalpoqchalar taqsimchadagi qorishma bilan bugʻlarning yaxshi kontaktda boʻlishini taʼminlaydi. Qoʻshimcha qizdirgichlar

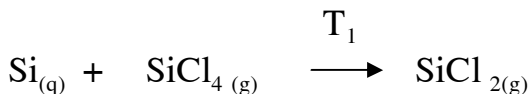
yordamida kolonna bo`ylab temperatura gradienti hosil qilinadi. Bunda eng yuqori temperatura kubda eng past temperatura esa kondensatorida bo`ladi. Buning natijasida bug`lar va qorishmalarning qarama-qarshi harakat i hamda ular orasida uzluksiz massa va issiqlik almashuvi ta`minlanadi. Natijada kolonnaning tepa qismidan toza, oson uchuvchan komponentning bug`lari chiqadi, kubga esa toza, qiyinroq uchuvchan komponentdan tashkil topgan suyuqlik oqib tushadi. Kondesator 4 ga kelib tushgan oson uchuvchan kompo-nentnng bug`lari kondensasiyalanadi va uning *flegma* deb ataladigan bir qismi quvur 10 orqali kolonna tepa qismining normal holatda ishlashini ta`minlash uchun yuqori taqsimchaga berib turiladi. Ajratilgan va tozalangan mahsulotlar kondensator va kubdan mos holda 11 va 9 kranlar orqali chiqarib olinadi.

Kimyoviy transport reaksiyalari yordamida tozalash. Kimyoviy transport reaksiyalari (uzatish reaksiyalari) deb, gaz fazasi qatnashadigan va bunda hosil bo`ladigan oraliq gazsimon mahsulotlar yordamida moddani bosim va temperaturalarini harxil bo`lgan ikkita reaksiya zonasi oraliq`ida uzatish (ko`chirish) amalga oshiriladigan qaytariluvchan geterogen reaksiyalariga aytiladi. Odatda transport reaksiyalarini amalga oshirish uchun teperataralar farqi bo`lgan tizimlardan foydalaniladi.

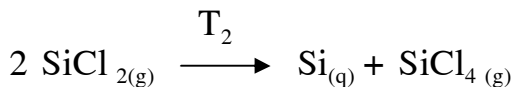
Ko`pgina yarim o`tkazgichlar va dielektriklarni chuqur tozalashda mumkin bo`lgan texnologik

temperaturalarda kirishmalar hosil qiladigan bug` bosimlari juda kichik bo`ladi. Natijada bunday moddalar uchun sublimasiya va distillyasiya usullarini qo`llash o`ta samarasiz bo`lib qoladi. Bunday holda samaradorlikni oshirish uchun asosiy moddani kirishmalarga qaraganda ko`proq uchuvchan kimyoviy birikmalarga aylantirish yaxshi natijalar beradi. Bunda hosil bo`lgan oson uchuvchan birikmalardan yana ajratib hosil qilingan asosiy modda sublimasiya va distillyasiya usuliga nisbatan tozaroq bo`ladi. Misol tariqasida kremniyning digalogenid ko`rinishida ko`chishini ko`rib chiqamiz.

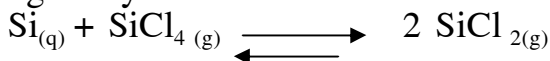
Kremniyni $T_1 = 1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ haroratda tetraxlorid bilan qayta ishlash natijasida oraliq gazsimon modda -SiCl_2 xosil bo`ladi:



Hosil bo`lgan gazsimon  $\text{SiCl}_2$  reaktorning oxiriga ko`chadi, u erda $T_2 = 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ haroratda kremniy quyidagi reaksiya bo`yicha ajraladi:

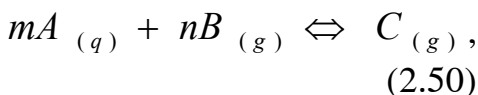


Bu reaksiyalar qaytariluvchan bo`lganligi sababli ularni quyidagicha yozish mumkin:



Shunday qilib, transport reaksiyasi bilan moddani tozalashda tozalanadigan moddadan tashqari maxsus reagent (masalan: kremniy tetraxloridi), ba`zan esa o`z oqimi bilan reagent va oraliq gazsimon mahsulotni ko`chiruvchi inert gazi qatnashishlari shart .

Umumiy holda transport reaksiyasi tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:



bu erda, A - tozalanayotgan modda, qattiq yoki suyuq fazada bo`lishi mumkin; B- gazsimon reagent bo`dib, A komponenta bilan gazsimon oraliq birikma C ni hosil qiladi.

Amalda bu reaksiyaning yo`nalishi reaksiya bo`ladigan xajmdagi zonalar orasidagi haroratlarning farqi bilan beriladi.

Ko`chishning samaradorligi va yo`nalishi reaksiya vaqtidagi erkin energiyaning o`zgarishi bilan aniqlanadi:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S, \quad (2.51)$$

bu erda ΔN va ΔS - ental`piya va entropiyalarning reaksiya davomida T haroratda o`zgarishlari. Agar ΔS kichik bo`lsa, ko`chishning yo`nalishi  $\Delta N$  ning ishorasi bilan aniqlanadi. Ekzotermik reaksiyalarda ko`chish past haroratdan yuqori harorat tomonga, endotermik reaksiyalarda esa yuqori haroratdan past harorat tomonga bo`ladi.

2.9. Qotish jarayonlarining fizik-kimyoviy asoslari

2.9.1. Kristall murtaklarning (o`simtalarning) hosil bo`lishi

Kristallanish jarayonlari birinchi turdagi fazali o`zgarish bo`lib, bunda atomlar to`la yoki qisman tartibsiz joylashgan holatdan (bug`, suyuqlik) o`ta tartibli joylashgan holatga o`tadi. Har qanday fazali o`zgarishning, ya`ni kristallanishning harakatlantiruvchi kuchi uning erkin energiyasini kamaytirishga bo`lgan intilishidir. Kristallanish o`ta to`yingan (o`ta sovutilgan), ya`ni metastabil holatda bo`lgan tizimlarda kuzatiladi. Bunda kristallanish (masalan: eritmaning qotishi yoki bug`ning kondensatsiyalanishi) odatda metastabil fazali hajmda bir jinsli bo`lmasdan kechadi. Jarayonning boshlanishida Boshlang`ich fazaning har xil joylarida kristallanish markazlari hosil bo`ladi va ular issiqlik hamda massa uzatish jarayonlari hisobiga o`sa boshlaydi. Boshlang`ich fazani kristallash uchun hosil qilinadigan o`ta to`yinish (o`ta sovitish) tizimga yangi fazadagi o`simtalar (murtaklar) sirtini hosil qilish uchun talab qilinadigan qo`shimcha energiyani berish uchun kerak.

Boshlangich fazada qattiq zarrachalar yoki markazlarni hosil qiluvchi sirtlar bo`lmasa, unda yangi fazadagi o`simta hosil bo`lish mexanizmi

gomogen hisoblanadi, agar bo'lsa, unda geterogen hisoblanadi.

Kristallanish markazlarining gomogen hosil bo'lishida fazali o'zgarish shartlarini aniqlaydigan asosiy parametrlarni ko'rib chiqamiz.

Issiqlik muvozanati holatida bo'lgan gazsimon, suyuq yoki qattiq, molekulyar yoki atomli tizimlarning harxil nuqtalarida uzluksiz ravishda fluktuatsiyalar hosil bo'lib turadi, ya'ni har xil kattaliklarning ehtimoli eng katta bo'lgan qiymatlaridan chetga og'ishlar kuzatiladi. Boshlang'ich fazadagi zichlik yoki konsentratsiyaning fluktuatsiyasi faza holatining o'zgarishiga olib kelishi mumkin (masalan: yangi fazadagi o'simta hosil bo'lishi). Bunday holatni geterofazali fluktuasiya holati deyiladi. Agar fluktuasiya natijasida faza holati o'zgarmasa, unda gomofazali fluktuasiya deyiladi.

Geterofazali fluktuasiyalarning hosil bo'lishida harxil holatdagi zarrachalar energiyalarining harxilligi natijasida tizimning faqat erkin energiyasining o'zgarishigina emas, balki ajralish sirti S ning hosil bo'lishi ham kuzatiladi.

Misol tariqasida o'ta to'yingan bug'dan suyuq tomchining hosil bo'lish jarayonini ko'rib chiqamiz. P bosimli o'ta to'yingan bug'dan (T haroratda P_0 muvozanatli bosim bilan xarakterlanadigan) uncha katta bo'lmagan r radiusli tomchining paydo bo'lishi ikkita tashkil etuvchidan iborat bo'lgan tizim erkin energiyasining ΔG o'zgarishi bilan yuz beradi:

$$\Delta G = \Delta G_h + \Delta G_{sirt}, \quad (2.52)$$

bu erda ΔG_x – bug` erkin energiyasining kondensasiyalanish natijasida o`zgarishi, ΔG_{sirt} – erkin energiyaning Suyuqlik–bug` bo`linish sirtini hosil qilishga sarf qilinadigan ish hisobiga o`zgarishi.

Ideal gazni izotermik qisishda molyar erkin energiyaning o`zgarishi

$$\Delta G_{\mu} = -RT \ln \frac{P}{P_0} \quad (2.53)$$

ni hisobga olib, sferik r radiusli tomchi uchun quyidagini xosil qilamiz:

$$\Delta G_h = -\frac{4}{3} \cdot \frac{\pi r^3}{V} RT \ln \frac{P}{P_0}, \quad (2.54)$$

bu erda R – universal gaz doimiysi, V –suyuqlikning molyar xajmi.

Sferik o`simta uchun  $\Delta G_{sirt}$  ning qo`shgan hissasi quyidagiga teng bo`ladi:

$$\Delta G_{sirt} = 4 \pi r^2 \gamma_{s-b}, \quad (2.55)$$

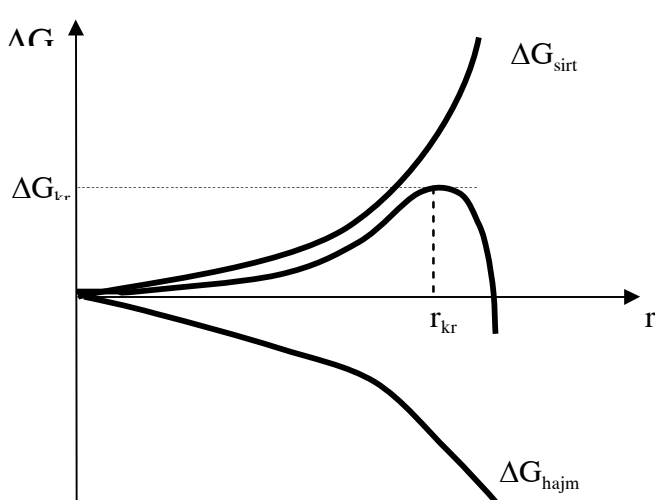
bu erda γ_{s-b} - suyuqlik-bug` bo`linish sirtining solishtirma erkin energiyasi.

(2.50) va (2.51) ni (2.48) tenglamaga qo`yamiz:

$$\Delta G = -\frac{4}{3} \cdot \frac{\pi r^3}{V} RT \ln \frac{P}{P_0} + 4 \pi r^2 \gamma_{s-b}. \quad (2.56)$$

(2.56) tenglamaning tahlili (2.20-rasm) shuni ko`rsatadiki, r ning kichik qiymatlarida

ikkinchi qo`shiluvchi ustun keladi va  $\Delta G$  musbat bo`ladi, r ning katta qiymatlarida esa birinchi qo`shiluvchi asosiy rol o`ynaydi va ΔG manfiy bo`ladi.



2.20-rasm. Tizimning erkin energiyasi o`zgarishining yangi fazadagi o`simta radiusiga bog`liqlik grafigi

$$\frac{\partial \Delta G}{\partial r} = -\frac{4\pi r^2}{V} RT$$

undan kritik radius r_{kr} ning qiymati quyidagi (2.58) tenglama orqali topiladi:

$$r_{kr} = \frac{2\gamma_{s-b} \cdot V}{RT \ln \frac{P}{P_0}} \quad (2.58)$$

(2.58) ni (2.56) tenglamaga qo`yib, kritik razmerli tomchining xosil bo`lish jarayonini kuzatib boruvchi erkin energiyaning o`zgarishini topamiz:

$$\Delta G_{kr} = \frac{16 \pi V^2 \gamma_{s-b}^3}{3 \left(RT \ln \frac{P}{P_0} \right)^2} . \quad (2.59)$$

(2.58) va (2.55) tenglamalardan foydalanib, ΔG_{KR} ning kattaligi kritik o'lchamli o'simta sirtini hosil qilishdagi ishning 1/3ga tengligini ko'rsatish mumkin.

Yuqoridagi (2.57) va (2.59) formulalardan shu narsa kelib chiqadiki, geterofazali fluktuasiya natijasida xosil bo'lgan tomchining o'lchami $r < r_{kr}$ bo'lsa, bug'lanib ketish ehtimoli kattaroq bo'ladi, agar $r > r_{kr}$ bo'lsa, o'sish ehtimoli ko'payadi, chunki ikkala holda ham ΔG erkin energiya kamayadi.

Kritik radiusdan kichik bo'lgan tomchilar «murtak» deyiladi, kritik radiusdan kattalari esa yangi faza markazlari deyiladi (yoki kristallanish holatida - kristallanish markazlari deyiladi).

Agar $R/R_0 \leq 1$ bo'lsa, r oshishi bilan ΔG oshadi va geterofazali fluktuatsiya natijasida hosil bo'ladigan ixtiyoriy o'lchamli tomchilar bug'lanishga moyil bo'ladi.

Shunday qilib, yangi fazaning murtaklari yangi fazadagi moddaning erkin energiyasi shu moddaning Boshlang'ich fazadagi (bug', qorishma yoki eritma) erkin energiyasidan kichik bo'lgandagina paydo bo'ladi va o'sadi. Erkin energiyani aynan o'lchashning iloji yo'qligi sababli o'simalarning hosil bo'lish sharoiti va ularning keyinchalik o'sishini aniqlash uchun o'ta

to'yinish va o'ta sovutilish degan tushunchalardan foydalaniladi. Kristallarning hosil bo'lishi va o'sishi uchun Boshlang'ich faza unda paydo bo'ladigan qattiq fazaga nisbatan o'ta to'yingan yoki o'ta sovutilgan bo'lishi shart. Agar berilgan haroratda gaz fazasining bosimi R suyuq yoki qattiq fazalarning to'yintiruvchi bug'larining bosimi R_0 dan katta bo'lsa, gazli faza o'ta to'yingan deyiladi. Bunda o'ta to'yinish quyidagi usullardan biri bilan ifodalanadi:

1) $\Delta R = R - R_0$ - absolyut o'ta to'yinish;

2) $\sigma = \Delta R / R_0$ - nisbiy o'ta to'yinish (ko'pincha foizlarda ifodalanadi);

3) $\alpha = R / R_0$ - o'ta to'yinish koeffitsienti.

O'ta to'yinishni quyidagi kattalik bilan ham ifodalash mumkin:

$$\delta = \ln (P/P_0) \quad (2.60)$$

Bu kattalikning energetik koeffitsient kT ga ko'paytmasi atom yoki molekulaning ikki fazadagi erkin energiyalarining farqini (yoki ikki fazadagi kimyoviy potentsiallarning farqi $\Delta\mu$ ni) beradi:

$$\Delta\mu = kT \ln (P/P_0) \quad (2.61)$$

Qorishmalar (suyuq va qattiq) uchun o'ta to'yinish yuqoridagiga o'xshash ifodalanadi:

$\Delta C = C - C_0$ – absolyut o'ta to'yinish ;

$\sigma = \Delta C / C_0$ – nisbiy o'ta to'yinish ;

$\alpha = C/C_0$ – oʻta toʻyinish koeffitsienti (C – qorishmadagi kristallanadigan komponentning konsentratsiyasi, C_0 – uning kristallanish temperaturasiidagi muvozanatli konsentratsiyasi).

Eritmalar esa oʻta sovutilish bilan ifodalanadi:

$$\Delta T = T_{ER} - T, \quad (2.62)$$

bu erda T_{ER} – moddaning erish harorati; T – oʻta sovutilgan eritmaning harorati.

Kritik oʻlchamli oʻsimtalar hosil boʻlishining aktivlash energiyasi uchun olingan (2.59) ifoda gazli fazada yangi faza markazlari hosil boʻlish tezliklarining toʻyinishga bogʻliq holda hisoblash imkonini beradi. Nisbatan noturgʻun tizimlarda (masalan oʻta toʻyingan bugʻ) yangi faza markazlarining hosil boʻlish tezligi kritik oʻlchamli oʻsimtalarning oʻz oʻlchamlarini oshirishining oʻrtacha tezligiga teng boʻladi. Metastabil ona faza bilan fluktuasiyali muvozanat shartidan aniqlanadigan kritik oʻsimtalarning konsentratsiyasini n_{kr} ga teng deb qabul qilsak, unda gazli fazaning birlik hajmida oʻsimta hosil boʻlish tezligi quyidagicha ifodalanadi:

$$J = \omega_{kr} n_{kr}, \quad (2.63)$$

bu erda ω_{kr} – kritik oʻsimtalarning atom yoki molekullarni oʻziga qoʻshib olish chastotasi boʻlib, bu bilan ular yangi faza markazlariga aylanadilar.

Suyuq tomchilarning gomogenli murtak xosil boʻlishida oʻsimtaning zarrachani ushlab olish chastotasi ω kritik oʻlchovli oʻsimtaning sirt

yuzasi $S_{kr} = 4\pi r_{kr}^2$ ning bug` fazasidan kelayotgan oqim  $\frac{d}{dt} = \frac{b}{a}$  ~~(5.44)~~ ga ko`paytmasi

ko`rinishida tasvirlanishi mumkin. Bularni hisobga olganda (2.63) ifoda quyidagicha yoziladi:

$$J = a_c q S_{kr} n_{kr} \quad (2.64)$$

bu erda a_c – kondensatsiya koeffitsienti bo`lib, murtak sirtiga urilayotgan monomerlarning kondensatsiyalanayotgan qismiga teng.

Agar murtaklarning umumiy soni kamligini nazarga tutsak, ular kvazi-muvozanatli taqsimlangan deb hisoblashimiz mumkin. Bunda Boltsman statistika-sidan foydalanib, kritik o`lchamli murtaklar konsentratsiyasi n_{kr} ni topamiz:

$$n_{kr} \approx n_1 \exp \left[- \frac{\Delta G}{kT} \right] \quad (2.65)$$

bu erda $n_1 = P/(kT)$ bo`lib, gaz fazasidagi zarrachalar (murtak tarkibiga kirmagan atom va molekullar) konsentratsiyasi.

(2.64) formula tarkibiga kirgan kattaliklarning ifodalarini qo`yib murtak xosil bo`lish tezligini topamiz:

$$J = \frac{a_c P}{\sqrt{2\pi m k T}} 4\pi r_{kr}^2 \cdot n_1 \exp \left[- \frac{\Delta G_{kr}}{kT} \right] \quad (2.66)$$

O`simtalarning hosil bo`lishi va parchalanishlarining tahlili (2.66) ifodada quyidagi ko`rinishga ega bo`lgan «nomuvozanatlik

faktori» - Z ni hisobga olish kerakligini ko'rsatadi:

$$Z = \left[\Delta G_{kr} / (3\pi k T i_{kr}^2) \right]^{1/2}, \quad (2.67)$$

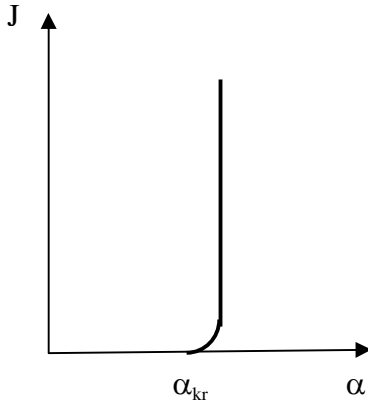
bu erda i_{kr} – kritik o'lchovli murtakdagi zarrachalar soni. Baholashlar natijasida $Z \sim 10^{-2}$ ekanligi aniqlandi. (2.67) ni e'tiborga olib gaz fazasidagi gomogenli tomchi hosil bo'lish tezligining natijaviy ifodasini hosil qilamiz:

$$J = a_c q S_{kr} n_{kr} Z, \quad (2.68)$$

yoki (2.66) ifodani quyidagicha yozish mumkin:

$$J = 4\pi_{kr}^2 \frac{a_c P}{\sqrt{2m\pi k T}} \left(\frac{\Delta G_{kr}}{3\pi k T_{kr}^2} \right)^{1/2} \cdot n_i \exp \left[-\frac{\Delta G_{kr}}{\kappa T} \right] \quad (2.69)$$

(2.58) va (2.59) formulalarni hisobga olgan holda (2.69) ifodaning tahlili shuni ko'rsatadiki, ma'lum bir o'ta to'yinishdan boshlab yangi faza markazlari hosil bo'lishi tezligining o'ta to'yinishga bog'liq holda keskin oshib ketishi kuzatiladi (2.21-rasm). Bunday o'ta to'yinish kritik o'ta to'yinish deyiladi.



2.9.2. Murtakning hosil bo'lish jarayonlari va shishalanish

2.21-rasm. O'ta t o'yingan bug'da suyuq tomchilarning xosil bo'lish tezligining o'ta to'yinish ko'effitsientiga bog'lanish grafigi

Suyuq fazada murtak hosil bo'lishining gomogen jarayonlarini ko'rib chiqamiz.

O'ta sovutilgan eritmada kristall murtaklarning hosil bo'lishi geterofazali fluktuasiyalar natijasida erkin energiyaning o'zgarishi natijasida yuz beradi va u yuqoridagidek ifodalanadi:

$$\Delta G = \Delta G_X + \Delta G_{sirt} \quad (2.70)$$

Mana shu tenglikni eritmada hajmi V^1 , sirti S^1 , suyuqlik-qattiq jism bo'linish chegarasidagi solishtirma erkin sirt energiyasi γ_{s-q} ga teng bo'lgan qattiq fazadagi murtakning hosil bo'lishiga tadbqiq etamiz.

Misol tariqasida qirrasi $a=2r$ ga teng bo'lgan kub shaklidagi kristall murtak hosil bo'layotgan hol uchun r_{kr} va ΔG_{kr} ifodalarini topamiz. Unda $V'=8r_{kp}^3$, $\eta=6$ (o'simtaning shaklini hisobga oladigan ko'effitsient). Qiymatlarni qo'yib quyidagilarni hosil qilamiz:

$$r_{kr} = \frac{2\gamma_{s-k}VT_{er}}{L \cdot \Delta T}, \quad (2.71)$$

$$\Delta G_{kr} = \frac{32 \gamma_{s-k}^3 V^2 T_{er}^2}{L^2 \Delta T^2}, \quad (2.72)$$

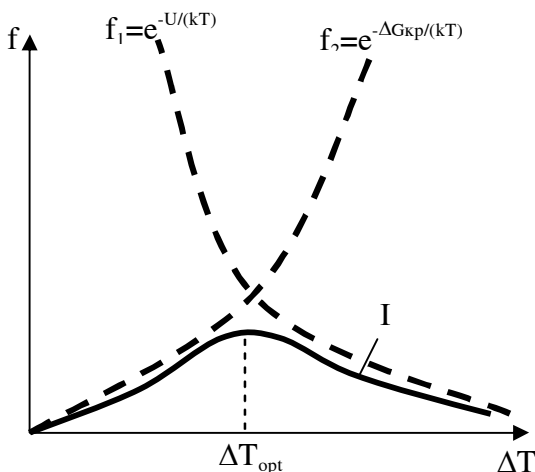
bu erda V – suyuqlikning molli xajmi, T_{er} – erish harorati, L – kristallanishning yashirin molyar issiqligi, $\Delta T = T_{er} - T$ – oʻta sovutilganlik, T – kristallanish harorati.

Shunday qilib, oʻsimtaning kritik oʻlchami va mos holda uning hosil boʻlish energi-yasi suyuqlik-qattiq jism boʻlinish chegara-si solishtirma erkin sirt energiyasi qancha kichik va oʻta sovutilish qancha katta qiy-matga ega boʻlsa, shuncha kichik boʻladi.

Kristall faza markazlarining birlik hajmda hosil boʻlish tezligining umumiy koʻrinishi quyidagicha boʻladi:

$$J = K \exp \left(- \frac{U}{kT} \right) \exp \left(- \frac{\Delta G_{kp}}{kT} \right), \quad (2.73)$$

bu erda: U – suyuq faza va kristall oʻsimta oraliqi chegarasidagi energetik barʼer, K – harorat oʻzgarishi bilan kam oʻzgaradigan koeffitsient.



bilan kam oʻzgaradigan koeffitsient.

(2.73)

tenglamadan koʻrinib turibdiki,

ΔG_{kr} bilan aniqlanadigan kristall faza

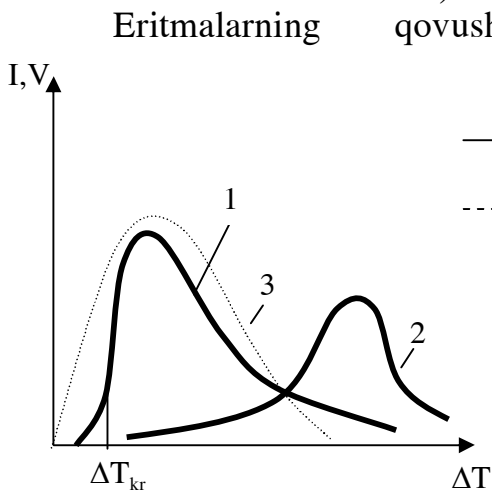
2.22-rasm. Suyuq fazada homogen oʻsimta xosil boʻlish tezligini aniqlovchi kattaliklarning eritma oʻta sovutilganligiga bogʻlanish grafigi

markazlarining paydo bo'lish ehtimolligi eritmaning o'ta sovutilishining oshishi bilan oshadi (2.22-rasm). Shu vaqtning o'zida sovutilishning oshishi bilan U bilan aniqlanadigan atomlarning harakat chanligi esa, ayniqsa qovushqoq suyuqliklarda (masalan, oksidli shisha, organik polimerlar) kamayadi. va shu bilan kristall faza markazlarining hosil bo'lishi hatto katta o'ta sovutilishlarda ham sekinlashadi. Shu sababli har bir qovushqoq suyuqlik optimal o'ta sovutilishga ega bo'lib, bunda markazlarning hosil bo'lish tezligi maksimal bo'ladi (2.22-rasm).

Demak, o'simtalarning tug'ilish tezligiga termodinamik omildan tashqari kristall faza markazlari o'sishining chiziqli tezligiga ta'sir qiladigan kinetik omil ham ma'lum bir ta'sir o'tkazadi (2.23-rasm). Noqovushqoq suyuqliklarning kristallanishida (kremniy va germaniy eritmaları) kinetik omil kam rol o'ynaydi va shu sababli markazlarning hosil bo'lish tezligida maksimal qiymat kuzatilmasligi mumkin va ma'lum bir ΔT_{kr} kritik o'ta sovutilganlikda kristall faza markazlarining hosil bo'lish tezligi keskin oshadi va suyuqlikning hamma hajmida bir zumda kristallanish yuz beradi.

Ko'rib chiqilgan qonuniyatlar eritmadan kristall va amorf qattiq jismlar hosil bo'lish sharoitlarini bayon qilish imkoniyatini beradi. Masalan, SiO_2 asosidagi qovushqoq eritmani sovutishda real foydalaniladigan ΔT o'ta sovutilganlikda kristallanish markazlarining soni

kam (2.23-rasm) va bunda kristall faza markazlari o'sishining chiziqli tezliklari katta bo'lsa ham, eritma o'ta sovutilgan suyuqlik ko'rinishda qotadi. Bu jarayon, ya'ni o'ta sovutilgan eritmaning shishasimon holatga sekin astalik bilan o'tishi kristallanishdan farqli ravishda shishalanish deyiladi. Shishaning mo'rt xolatga o'tish temperaturasi shishalanish temperaturasi T_g deb aytiladi. Bunday shisha deb ataladigan amorf qattiq jismlarda suyuqliklardagi kabi uzoq tartiblik kuzatilmaydi. Ularda yaqin tartiblik kuzatiladi (0,7 nm dan kichik masofalarda).



2.23-rasm. Kristall faza markazlarining gomogen xosil bo'lish (1,2) va kristall faza markazlari o'sish tezliglarining (3) o'ta sovutilishga bog'lanish grafiği:

1- noqovushqoq, 2- qovushqoq, 3- noqovushqoq va qovushqoq eritmalar uchun umumlashtirilgan bog'lanish

Eritmalarning qovushqoqligi ularning shishasimon holatga o'tish qobiliyatini aniqlovchi asosiy omil xisoblanadi. Temperatura pasaytirilganda qovushqoqliklari sovutilish jarayonida tez va uzliksiz ko'p tartibgacha oshadigan (masalan $\sim 10^{13}$ Pa.s gacha) o'ta sovutilgan suyuqliklargina

shisha ko`rinishda qotadi. 2.3 - jadvalda ba`zi bir kristall va shisha holatida qotadigan eritmalarning qovushqoqliklari solishtirilgan.

Jadvaldan ko`rinib turibdiki, shishalanadigan moddalarning qovushqoqligi kristallanadigan moddalarnikiga qaraganda 6-9 tartibga yuqori ekan. Mana shu farq bu moddalarning o`ta sovutilishda o`zlarini har xil tutishlarini belgilab beradi. Shunday qilib moddalarning eritma xolatidan qattiq xolatga o`tishi ikki xil yo`l bilan boradi:

1. Kristallanish; 2. Shishalanish.

Eritmaning kristallanishi belgilangan temperaturada yuz beradi va bunda moddaning xossalari keskin o`zgaradi. Eritmaning shishalanishi esa harbir modda uchun ma`lum bir temperatura intervalida yuz beradi va bunda moddaning xossalari bir tekis o`zgarib boradi.

O`ta to`yingan suyuq qorishmalardan gomogen o`simta hosil bo`lish jarayonlari ko`p hollarda o`ta to`yingan bug`lardan va o`ta sovutilgan eritmalardan o`simtalar hosil bo`lish jarayonlariga o`xshash bo`ladi.

2.3-jadval

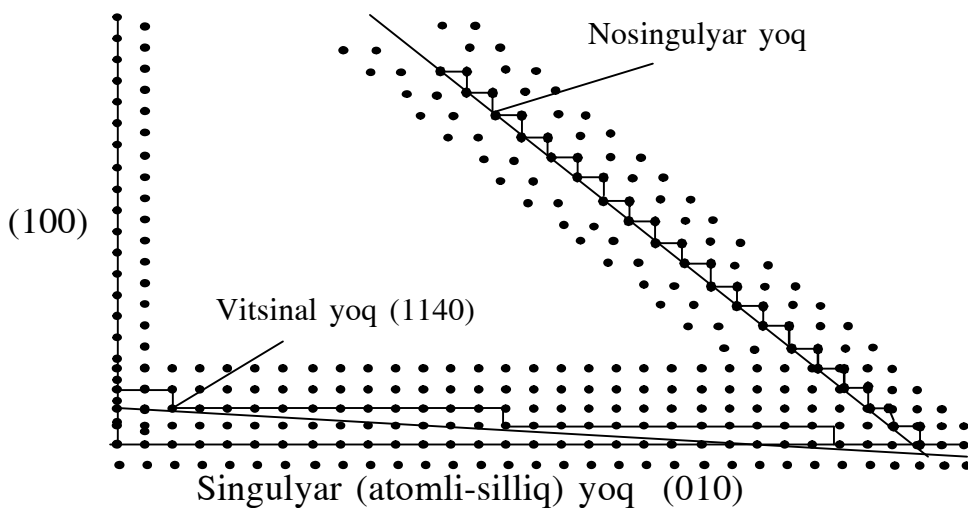
Modda	Erish harorati, °C	Qovushqoqlik, Pa·s	Modda	Erish harorati, °C
Ge	937	$0,8 \cdot 10^{-3}$	SiO ₂	1722
Si	1414	$0,9 \cdot 10^{-3}$	GeO ₂	1116
GaAs	1237	$1,8 \cdot 10^{-3}$	B ₂ O ₃	450
H ₂ O	0	$2 \cdot 10^{-3}$	As ₂ O ₃	312
Al ₂ O ₃	2050	$60 \cdot 10^{-3}$	BeF ₂	550

2.10. Kristallarning o`shish mexanizmi va kinetikasi

2.10.1. Bo`linish sirlari strukturasi

Termodinamika qonunlariga binoan fluktuatsiya natijasida hosil bo`lgan kristall o`simtalarning o`shishi boshlang`ich muhitdagi kichik o`ta to`yinishlarda ham kuzatilishi kerak edi. Biroq, berilgan o`ta to`yinishda kristall yoqlarining o`shish tezligi bir xil sharoitlarda sirtning atom strukturasi bog`liq bo`lar ekan. Ideal kristallarda yoqlarning sirlari atom strukturalari bo`yicha uch xilga bo`linadi: singulyar, vitsinal va nosingulyar (diffuzli). Singulyar deb, ideal sharoitda xech qanaqa zina bo`lmagan atomli silliq yoqqa aytiladi (2.24-rasm).

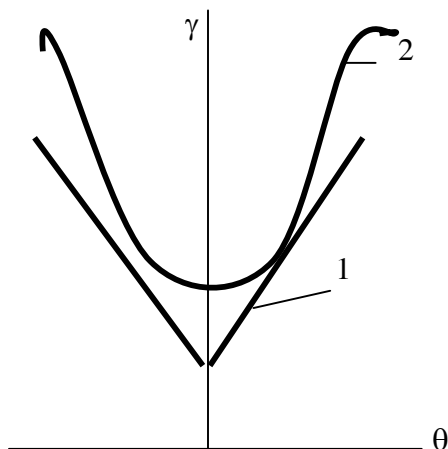
Bunday sirtlarga misol qilib oddiy kub panjaradagi (100) yoqni yoki olmossimon panjaradagi (111) yoqni ya'ni kichkina Miller



2.24-rasm. Oddiy kub panjarada har xil orientatsiyali yoqlarning sirt strukturalari

indekslari bilan ifodalanadigan yoqlarni ko'rsatish mumkin. Singulyar yoqlar boshqalarga qaraganda eng kichik erkin sirt energiyasiga va retikulyar zichlikka (atomlarning taxlanish zichligiga) ega. Yoqlarning erkin sirt energiyasi γ ning orientatsiyaga bog'lanishini ko'rsatadigan Vul'f diagrammasida singulyar yoqlarga o'tkir minimum to'g'ri keladi va birlamchi xosila $d\gamma/d\theta$ da uzilish ro'y beradi (2.25-rasm, 1).

Vitsinal yoq deganda, singulyar yoqqa yaqin orientasiyalangan sirt tushuniladi (2.24-rasm). Visinal yoqlar singulyar yoqlar bilan uncha katta boʻlmagan burchak tashkil qilib, singulyar yoqlarning monoatom balandlikdagi zinalar bilan kesishgan silliq platolardan tashkil topadi. Visinal yoqlar zinalar boʻlganligi uchun singulyar yoqlarga qaraganda yuqoriroq sirt energiyasi bilan xarakterlanadi.



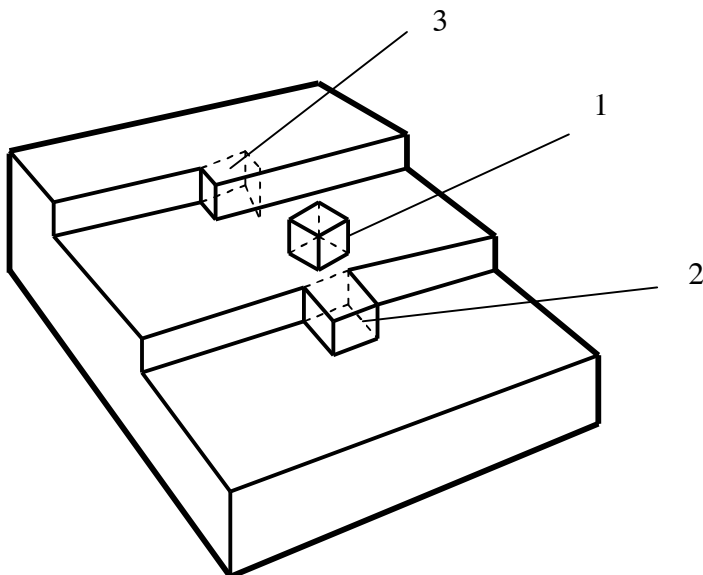
2.25 - rasm. Kristallning erkin sirt energiyasi anizotropiyasi:
1 – atomli-tekis sirt uchun;
2–atomli-gʻadir-budur sirt uchun

Nosingulyar sirtlar singulyar sirtlar bilan nisbatan katta burchak hosil qiladi va zinalarning konsentrasiyasi yuqoriroq boʻladi (2.24-rasm). Nosingulyar yoqlar eng katta erkin sirt energiyasiga ega boʻladilar. Singulyar yoqlar yuqori temperaturalarda oʻzining silliqqligini yoʻqotadi va nosingulyar boʻlib qoladi. Atom-silliq sirtlarning atom-gʻadir-budur sirtlarga oʻtishida erkin sirt energiyasi anizotropiya xarakterida oʻzgarish yuz beradi va $d\gamma/d\theta$ dagi sakrash yoʻqoladi hamda γ uchun oʻtkir minimum silliq oʻtishga almashadi (2.25-rasm, 2).

Kristallarning o'sish mexanizmi o'sayotgan sirtning holatiga bog'liq holda ikki xil bo'ladi: qatlamma-qatlam o'sish va normal o'sish.

1. Qatlamma-qatlam o'sish singulyar va visinal sirtlarda amalga oshadi. Qatlamma-qatlam o'sish nazariyasining asoschilari Kossel, Stranskiy va Fol'merdir. Bu nazariyaga binoan, o'sayotgan kristall sirtiga tushgan atom zinaning uzilgan joyida eng mahkam bog'lanadi (2.26-rasm, 3), chunki bunday holatda (agar misol tariqasida oddiy kub panjara qaralayotgan bo'lsa) atom eng yaqin oltita qo'shni atomdan uchitasi bilan bog' hosil qiladi.

Shu vaqtda zinaning o'zidagi atom (2.26-rasm, 2) faqat ikkita qo'shni atom bilan, silliq yoqdagi atom esa (2.26-rasm, 1) faqat bitta qo'shni atom bilan bog' hosil qiladi. Tashqi



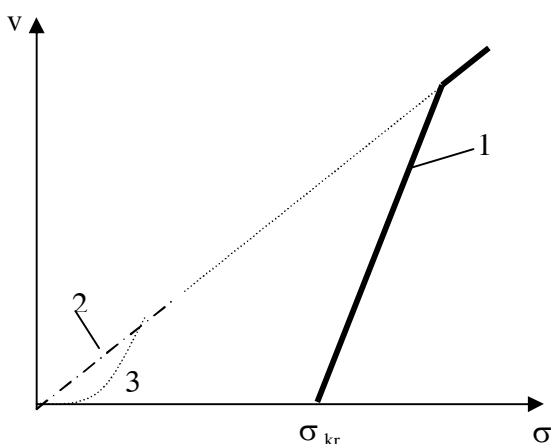
2.26 - rasm. Atom silliq sirtning o'sish modeli

fazadan kristall sirtiga tushayotgan atom energiyasining bir qismini panjaraga beradi va kristall sirt atomlarining bog`lanish kuchlari maydoniga tushib adsorbsiyalangan holatga o`tadi. O`shishning oddiy sharoitlarida adsorbsiyalangan atomlarda kristall sirtida siljib yurishlari uchun kerakliha energiya zahirasi mavjud bo`ladi. Atom kristallga bog`lanishi yoki qaytadan bug`lanib ketishi uchun sirt bo`ylab bir necha atomlararo masofaga teng bo`lgan o`rtacha migrasiya yo`li λ_s ni bosib o`tishi kerak. Demak, tashqi fazadan kelayotgan atomning to`g`ridan to`g`ri zina uzilishiga tushish ehtimoli juda ham kichik bo`lib, atom sirt diffuziyasi orqali zinaga etib keladi va uzilishgacha bo`ylama siljib kristall bo`lib taxlanadi. Qator to`lgandan keyin atom zinaga birikib yana uzilish hosil qiladi. Uzilishning paydo bo`lishi uchun yanada yuqoriroq o`ta to`yinish talab qilinadi, chunki zinaga adsorbsiyalangan atom faqat eng yaqin ikkita qo`shni atom bilan bog`lanish hosil qiladi.

Nazariy baholashlar shuni ko`rsatdiki, tipik moddalar va o`shish temperaturasi uchun zinada harqaysito`rt-o`n atomlararo masofaga bitta uzilish to`g`ri keladi. Bunday uzilishlarning zichligi kerakliha katta bo`lib, bunda zina kristallning o`shish jarayonida adsorbsiyalangan atomlar uchun uzluksiz stok sifatida harakat qiladi.

Monomolekulyar qatlam to`lgandan so`ng ikki o`lchamli o`simta hosil bo`lish yo`li bilan yangi qatlamning tug`ilishi uchun ancha katta o`ta to`yinish talab qilinadi. Agar o`shishning oddiy

sharoitida zinaning harakati uchun bir foizdan kichik bo'lgan o'ta to'yinish etarli bo'lsa, ikki o'lchamli o'simtaning hosil bo'lishi uchun esa o'ta to'yinish o'n foiz atrofida bo'lishi kerak. Demak Kossel – Stranskiy - Fol'mer nazariyasi bo'yicha singulyar yoqlar uzilib-uzilib o'sishi kerak va ularning o'sishi uchun ma'lum bir kritik o'ta to'yinish kerak bo'ladi. Bu o'ta to'yinish ikki o'lchamli o'simtaning hosil bo'lishini ta'minlaydi (2.27-rasm, 1).



2.27-rasm. Yoqlar o'sishi normal tezligining o'ta to'yinishga bog'lanish grafiği:

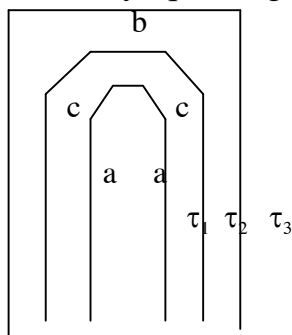
1 - ikki o'lchamli o'simta hosil bo'lishligi bilan boradigan o'sishning qatlam qatlam mexanizmi; 2 - nosingulyar yoqlarda o'sishning normal mexanizmi; 3 - o'sishning jarayonlari uchun to'g'ri bo'lib, kristallar o'stirilishining real sharoit-larida juda kam kuzatiladi. Ko'p hollarda kristallar juda kichik

B
u
nazariy
ada
bayon
qilinga
n
hodisal
ar
sirtida
o'sish
nuqsonl

ari
bo'lma
gan
ideal
kristalla
r
o'sishin

o'ta to'yinishlarda ham ma'lum bir tez-liklar bilan o'sa olish fakti kristal-lar o'sish sirtida doimiy ta'sir qiladigan zina manbai bo'lib, uning vazifasini *vintli dislokasiya* bajarar ekan, degan xulosaga olib keladi.

2. Normal o'sish. Kristallarning normal o'sishi nosingulyar sirtlarda amalga oshadi. Bu sirtlar atomli – g'adir-budur bo'lib, uzilishlar bilan bir teis qorplanganligi uchun yangi zarrachalarning birikishi amalda ixtiyoriy joyda yuz beradi. Uzilishlar miqdori kristal-lanish tezligini chegaralamaydi va yoqlar o'z-o'ziga perpendikulyar holda o'sadi, ya'ni o'sishning normal mexanizmi amalga oshadi. Demak, har qanday o'ta to'yinishda nosingulyar yoqlarning o'sish jarayoni davom etadi. Nosingulyar yoqlarning o'sish tezligi to'yinishga proporsional



2.28-rasm. Kristallning o'sish jaryoni davomida undagi nosingulyar yoqlarning yo'qolishi

$$\tau_1 < \tau_2 < \tau_3$$

bo'ladi va chiziqli funksiya (Gers-Knudsen tenglamasi) bilan ifodalanadi (2.27-rasm, 2). Nosingulyar yoqlarda o'sish nuqtalarining konsentratsiyasi singulyarga qaraganda yuqori bo'lganligi uchun nosingulyar yoqlarning o'sish tezligi ham ancha katta bo'ladi. Kristallning o'sish jarayonida uning nosingulyar yoqlari yo'q bo'lib ketishi mumkin. Buning natijasida kristall kichik Miller indeksli

sekin o'suvchi, asosan singulyar yoqlar bilan qoplanadi. Buni 2.28-rasmda keltirilgan sxema

orqali tushuntirish mumkin. Bu rasmda yoqlari o`ziga-o`zi parallel ko`chishi bilan o`sayotgan kristallning qirqimi keltirilgan. Bunda a va b yoqlar sekin o`suvchi yoqlar; s yoq – nosingulyar, demak tez o`suvchi yoq. Kristallning o`shishi davomida nosingulyar yoqlarning yuzalari tez kamayadi va bu yoqlar yo`qolib ketadi.

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 махсулотлари 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. Меҳнат. 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

Muqaddima	3
1 - bob. Mikroelektronika materiallari to`g`risida umumiy ma`lumotlar	4
1.1. Mikroelektronika materiallarining tasnifi.	4
1.2. Metallar va qotishmalar tuzilishining fizik asoslari	5
1.3. Yarim o`tkazgichlar va ularning xossalari.	6
1.4. Dielektriklar va ularning xossalari.	10
1.5. Magnitli materiallar va ularning xossalari.	11
1.6. Plastik materiallar va ularning xossalari.	13
2- bob. Elektron texnika materiallarini hosil qilishda xomashyo materiallariga qayta ishlov berish jarayonlari	15

2.1. Elektron texnika materiallari texnologiyasidagi asosiy jarayonlarning umumiy xarakteristikalari. . . .	.15
2.2. Issiklik uzatish jarayonlari.	16
2.2.1.Issiklik o`tkazuvchanlik hisobiga issiqlik uzatish.	17
2.2.2. Issiqlik nurlanishi hisobiga issiqlik uzatilishi.	18
2.2.3. Issiqlikning konveksiya hisobiga uzatilishi	20
2.3. Massa uzatish jarayoni	22
2.4. Vaznsizlik sharoitida issiqlik va massa uzatish jarayoni	26
2.5. Kimyoviy jarayonlar	27
2.6. Qattiq fazali reagent va mahsulotlarning aktiv holati	28
2.7. Texnologik yonish	29
2.8. Xomashyo materiallarini qayta ishlash jarayonlari	30
2.8.1. Qattiq jismlarni maydalash va ajratish jarayonlari.	30
2.8.2. Ajratish va tozalas jarayonlaring asoslari...	33
2.8.3. Sorbsiyali jarayonlar yordamida moddalarni ajratish va tozalas	36
2.8.4. Suyuq ekstraksiya jarayonlari yordamida ajratish	42

2.8.5. Kristallanish jarayonlari yordamida tozalash.	.44
2.8.6. Gaz fazasi orqali haydash jarayonlari yordamida tozalash.	.52
2.9. Qotish jarayonlarining fizik-kimyoviy asoslari	62
2.9.1. Kristall murtaklarning (o`simtalarning) hosil bo`lishi.	.62
2.9.2. Murtakning hosil bo`lish jarayonlari va shishalanish	..67
2.10. Kristallarning o`shish mexanizmi va kinetikasi.	..70
2.10.1. Bo`linish sirtlari strukturasi	..70
2.10.2. Kristallar o`shishining sirt kinetikasi.	..75
2.10.3. Kristallarning o`shish jarayoniga kirishmalarining ta`siri	..78
2.10.4. Kristalllarning o`shish jarayonlarini tezlashtirishning zamonoviy usullari	..79