

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM
VAZIRLIGI

ALISHER NAVOIY NOMIDAGI SAMARQAND DAVLAT UNIVERSITETI
FIZIKA FAKULTETI

QATTIQ JISMLAR FIZIKASI KAFEDRASI

5140900 - K-T ELEKTRONIKA VA MIKROELEKTRONIKA YO'NALISHI
BO'YICHA BAKALAVR AKADEMIK DARAJASINI OLISH UCHUN

BITIRUV MALAKAVIY ISHI

**MAVZU: YaRIM O'TKAZGICHLARGA KIRISHMALARNI
DIFFUZIYaLASHNING TEXNOLOGIK JARAYoNLARI**

Himoyaga tavsiya etildi

Bajardi: 4 - kurs kunduzgi

bo'lim talabasi Rustamov Anvar

Jonuzoqovna

Kafedra mudiri

_____dots. Axrorov S.Q.

Ilmiy rahbar:

“ _____ ” _____2013 y.

_____dots. X.R. Abdukarimova

S A M A R Q A N D - 2013

МУҲДАРИЖА

	бет
KIRISH.....	3
I BOB. DIFFUZIYA JARAYoNLARI ASOSLARI.....	6
1.1 Duffuziya to'g'risida umumiy ma'lumotlar.....	6
1.2 Fazalar orasida ko'chish jarayonining mexanizmi.....	7
1.3 Kristall tarkibini tekislashning segregatsiya usuli.....	10
1.4 Materiallarga kimyoviy va elektrokimyoviy ishlov berish texnologiyasi.....	17
II BOB DIFFUZIYa JARAYoNLARINI HISOBLASH.....	21
2.1 Kirishma diffuziyasini belgilaydigan jarayonlar.....	21
2.2 Diffuziya tenglamasi.....	22
2.3 Cheksiz kirishma manbasidan diffuziya.....	24
2.4 Termik diffuziya bilan haydab kiritishda kirishmalarning taqsimotini hisoblash.....	31
2.5 Chekli kirishma manbasidan diffuziya.....	32
2.6 To'zitishda diffuziyani hisoblash.....	35
III BOB YaRIM O'TKAZGIChLARGA KIRISHMALARNI DIFFUZIYaLASHNING TEXNOLOGIK JARAYoNLARI.....	40
3.1 Diffuziya jarayonlarini o'tkazish metodikasi:	
a) Gaz fazasidan diffuziya.....	40
b) Suyuq fazadan diffuziya.....	41
c) Qattiq fazadan diffuziya.....	41
3.2 Diffuziya jarayonini amalga oshirish usullari	
a) Berk hajmda diffuziya.....	42
b) Gaz tashuvchi oqimida diffuziya (ochiq quvur usuli bo'yicha diffuziya).....	42
3.3 Asosiy diffuzantlar.....	46
XULOSA.....	47
FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI.....	48

KIRISH

Mavzuning dolzarbligi. Ma'lumki oliy ta'lim muassasalarining moddiy texnika bazasini mustahkamlash bo'yicha Davlat dasturiga ko'ra O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2011 yil 20 – mayidagi qarori ijrosini ta'minlash maqsadida voha ilmiy potentsiali va talablaridan kelib chiqqan holda Samarqand davlat universiteti bazasida «Mikroelektronika materiallarini sintezlash» ilmiy laboratoriyasini yaratish ko'zda tutilgan. Mazkur laboratoriyaning Samarqand davlat universiteti qoshida tashkil etilishi tasodifiy emas. Chunki universitetda akademiklar A. Otaxo'jayev, T. Mo'minov, professorlar A.Nosirov, G'.Abdullayev tomonidan asos solingan fiziklar va professorlar A.Nasimov, E.Abduraxmonov va boshqa olimlar tomonidan yaratilgan ximiklar maktablari jahon hamjamiyati tomonidan e'tirof etilgan va hozirgi kunda muvoffaqiyat bilan faoliyat ko'rsatmoqda.

SamDU fizika fakulteti qattiq jismlar fizikasi kafedrasida 1987 yildan boshlab elektronika va mikroelektronika, fizikaviy elektronika yo'nalishlari bo'yicha dastlab diplomli mutaxassislar, keyinchalik esa bakalavrlar va magistrilar tayyorlab kelinmoqda. Hozirgi kunda bitiruvchilar respublikamiz va rivojlangan xorijiy mamlakatlar ilmiy markazlari hamda ishlab chiqarish korxonalarida muvaffaqiyat bilan faoliyat ko'rsatishmoqdalar.

Bugungi kunda alternativ energiya manbalari sirasiga kiruvchi quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirib beruvchi qurilmalar yaratish borasida rivojlangan mamlakatlar qatorida respublikamiz olimlari tomonidan ham ibratga molik ishlar olib borilmoqda va bu ishlarni imkoni boricha qo'llab quvvatlash kerak. Jahon tajribasiga tayangan holda yaratilayotgan quyosh batareyalarining (QB) laboratoriya sharoitidagi maksimal foydali ish koeffitsiyenti (FIK) 40 foizga yaqin. Eng arzon material bo'lib hisoblangan kremniy monokristalli asosidagi QBlarining FIK 20 foiz atrofida. FIKning bunday past darajada bo'lishining o'ziga xos sabablari bor albatta. FIK pasayishiga olib keluvchi omillar ilgari ilmiy maqolalarda atroflicha muxokama qilingan. Unga ko'ra energiyaning eng ko'p yo'qolishi quyosh nurlanishining ko'p qismining QBSidan yutilmasdan o'tib ketishi bilan bog'langan.

(Albatta boshqa ko'plab faktorlar ham mavjud ammo eng katta yo'qotishga olib keladigani yutilish bilan bog'langan faktordir).

Hozirgi kunda mazkur muammoga o'xshash bo'lgan masalalar bilan shug'ullanuvchi juda ko'plab markazlar mavjud. Bunday quyosh elementlarini yaratishda va turli tipdagi o'tkazuvchanlikli legirlangan qatlamlarni olishda asosan kirishmalarni yarim o'tkazgich plastinalarga yuqori temperaturada difuziyalash usuli qo'llaniladi. Hozirgi kunda legirlangan yarim o'tkazgich qatlamlarni olishning yangi effektiv metodlari (epitaksiya, implantasiya) yaratilganiga qaramay, termik diffuziya IMS va quyosh elementlari ishlab chiqarish sanoatida eng keng tarqalgan metod hisoblanadi. Bu jarayonni nazariy analiz qilish, berilgan temperatura qiymatlarida, vaqtda va boshqa chegaraviy shartlarda qattiq jism hajmida legirlanuvchi kirishmalarning taqsimotini hisoblash muhim masalalardan biridir.

Muammoning ishlab chiqilganlik darajasi. Jarayonni tavsiflash uchun Fikning ikkinchi qonuni qo'llanilib, diffuziya tenglamasi keltirib chiqariladi. Bu tenglama berilgan shartlarga qarab bir necha yechimlarga ega. Yarim o'tkazgich sirtida butun diffuziya paytida konsentrasiya o'zgarmay qolganda hisoblashlar uchun bir tenglamadan foydalanilsa, boshqa hollar uchun boshqa tenglamadan foydalanishga to'g'ri keladi. Yarim o'tkazgich plastinalarni legirlashning diffuzion jarayonlari ishlab chiqarishda 60 yillardan buyon qo'llanilayotganini hisobga olsak, bu jarayonlar juda yaxshi o'rganilganini va turli shartlar uchun modellar ishlab chiqilganini tushunish qiyin emas. Shu jarayonlarni o'rganish, oddiy hisob kitoblardan murakkab amallarni bajarishni o'zlashtirish mazkur BMIda qo'yilgan asosiy masaladir. Ishdan asosiy maqsad:

1. Kirishmalarni yarim o'tkazgichga termik diffuziyalash jarayonlari nazariyasining asoslarini o'rganish;
2. Diffuziyaning texnologik maromlari parametrlarini hisoblash metodikasini o'zlashtirish;
3. Texnologik qurilmani o'rganish va kremniyga kirishmalarni diffuziyalashning texnologik jarayonini o'zlashtirish;

4. $p-n$ -o'tishdagi sirt kirishmalar konsentrasiyasining joylashish chuqurligini, kirishmalar taqsimotini aniqlash metodikasini o'zlashtirish.

Bitiruv malakaviy ishining tuzilishi va hajmi. Bitiruv malakaviy ishi tuzilish jihatidan kirish , ikkita bob, 13 ta paragraf, umumiy xulosa va foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidan iborat. Unga ta rasm, jadval kiritilgan. Birinchi bob termik diffuziya metodlari yordamida yarim o'tkazgich strukturalarning legirlangan qatlamlarini olish texnologiyasiga bag'ishlangan. Bu bobda diffuziya jarayonining asoslari, diffuziya jarayoniga texnologik faktorlarning ta'siri va yarim o'tkazgich asboblari ishlab chiqarish sanoatida keng qo'llanilayotgan ba'zi diffuziantlarning ko'rsatkichlari bayon qilingan. Ikkinchi bob diffuziya jarayonlarini hisoblashga bag'ishlangan. Uchinchi bobda yarim o'tkazgichlarga kirishmalarni diffuziyalashning texnologik jarayonlari bayon qilingan. MBI ning xulosa qismida bajarilgan ishlarning umumiy hisoboti berilgan.

I BOB DIFFUZIYA JARAYONLARI ASOSLARI

1.1 Duffuziya to'g'risida umumiy ma'lumotlar

Moddaning fazadan uning chegarasiga uzatilishi yoki aksincha chegaradan fazaga o'tishi massa uzatish deyiladi. Har bir faza ichida modda tarqalishi molekulyar va konvektiv diffuziya yo'li bilan ko'chadi. Shuning uchun ham massa uzatish ko'pincha diffuzion ko'chish deyiladi. Massa uzatish jarayonining harakatlantiruvchi kuchi – fazada tarqalayotgan modda kimyoviy potensialining farqi, ya'ni taqsimlangan modda gradiyentidir. Eng sodda holatlarda modda konsentratsiyasi ko'p bo'lgan tarafdin konsentratsiyasi kichik tarafga ko'chadi va massa uzatish jarayonining harakatlantiruvchi kuchini hisoblashda, uni taqriban konsentratsiyalar farqi orqali ifodalash mumkin bo'ladi. Real sharoitda o'tkazilayotgan texnologik jarayon uchun massa uzatishning yo'nalishini aniqlashda harorat va bosim farqini (gradiyentini) ham hisobga olish zarur.

Massa uzatish jarayonini hisoblash va tahlil qilishda hodisaning quyidagi uchta sharoitiga e'tibor berish lozim:

1. Tizimda berilgan miqdordagi fazaning mavjudligi uchun yetarli va zaruriy sharoitlar bor ekanligiga hamda muvozonat qonuniyati, faza qoidalari asosida aniqlanadigan tizimdagi komponentlarning taqsimot qonuniga;
2. Bir fazadan ikkinchisiga moddaning o'tish tezligini aniqlaydigan yetarli va zaruriy shartlar mavjudligiga, moddaning o'tish tezligi esa jarayonning harakatlantiruvchi kuchiga, tizimning fizik xususiyatiga va o'tayotgan jarayonning gidrodinamik sharoitiga bog'liq;
3. Jarayonni amalga oshirish uchun zarur bo'lgan ishchi sharoitni yaratishning yetarli va zaruriy shartlari mavjudligiga. Ishchi sharoit qayta ishlanadigan mahsulotning boshlang'ich va yakundagi konsentratsiyasining hamda miqdorining berilishi bilan xarakterlanadi.

Massa uzatishning tezligi o'zaro massa almashinuvi ro'y beradigan fazalarda taqsimlangan moddaning ko'chish mexanizmiga bog'liq. Fazalarning ichida moddalarning ko'chishi molekulyar diffuziya yo'li bilan yoki konveksiya va molekulyar diffuziyaning bir vaqtda ro'y berishi bilan amalga oshadi. Faqat

harakatsiz muhitdagina moddalarning ko‘chishi birgina molekulyar diffuziya yo‘li bilan amalga oshadi. Harakatdagi muhitda esa moddalarning ko‘chishi molekulyar diffuziya orqali va muhitning harakati tufayli ro‘y beradi.

Suyuqlikning turbelent oqimida rostlanmagan pulsatsiyali tezlik vujudga keladi. Moddaning konvektiv ko‘chishi turbelent pulsatsiya ta‘sirida amalga oshadi. Shuning uchun ham konvektiv ko‘chish – turbelent diffuziya deb ham ataladi.

1.2 Fazalar orasida ko‘chish jarayonining mexanizmi

Qattiq va harakatdagi yoki harakatsiz suyuq (gaz yoki bug‘) fazalar i orasidagi massa uzatish ikki jarayonning birgalikda kechishidan iboratdir:

1. Ichki massa o‘tkazuvchanlik tufayli qattiq jism ichida taqsimlangan moddaning fazalar bo‘linish sirtiga qarab ko‘chishi;
2. Tashqi massa o‘tkazuvchanlik tufayli xuddi shu moddaning suyuqlikka ko‘chishi.

Shunday qilib massa uzatish ichki va tashqi diffuziya yig‘indisidan iborat ekan. Qattiq fazada diffuziya tezligi juda kichik bo‘lganligi sababli unda moddalarning ko‘chishi barqarorlashmagan jarayonni ifodalaydi. Boshlang‘ich vaqt t_0 da qattiq jism qalinligi bo‘yicha taqsimlangan modda konsentratsiyasi doimiy bo‘ladi ($S_0 = \text{sonst}$). Sirdagi qatlamlardan moddaning suyuqlikka o‘tishi tufayli qattiq jismda vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchi konsentratsiya gradiyenti dC/dx vujudga keladi (1.1–rasm). Bu rasmda modda konsentratsiyasining taqsimlanishi τ_1 vaqt momentida chiziq bilan tasvirlangan. $\tau \rightarrow \infty$ da modda konsentratsiyasi qattiq fazada yana C_m^* qiymatgacha kamayadi. Suyuqlik oqimi turbelent bo‘lsa, qattiq «devor» yaqinida chegaraviy laminar qatlam hosil bo‘ladi. Natijada chegaraviy qatlamda massa uzatish faqat molekulyar diffuziya yo‘li bilan amalga oshadi.

Qattiq jismda moddaning ko‘chish jarayoni (molekulyar diffuziya uchun Fik qonunlari o‘rinli bo‘lgani uchun) quyidagi differensial tenglamalar orqali ifodalanadi.

$$\vec{J} = -K\nabla C \quad (1.1)$$

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = K \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) \quad (1.2)$$

Bu yerda K – massa o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti yoki qattiq jismda taqsimlangan moddaning diffuziya koeffitsiyenti.

Massa o'tkazuvchanlik masalasini yechish uchun (2) tenglamani chegara shartlaridan foydalanib yechish kerak. Chegara shartlarini aniqlashda qattiq jismning suyuqlikka tegib turgan sirtida ichki va tashqi modda oqimi zichliklari $j(r)=j(c)$ tengligidan foydalaniladi.

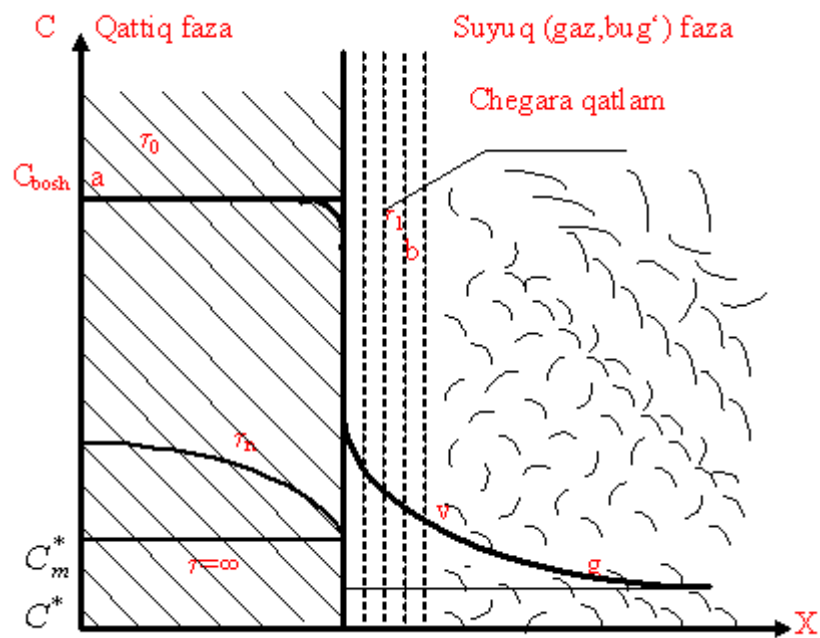
Endi biz gaz-suyuqlik yoki suyuqlik-suyuqlik sirtlari harakatda bo'lgan tizimlarda massa uzatishning o'ziga xos jarayonlari bilan tanishib chiqamiz. Faraz qilamizki, taqsimlangan modda M ning ko'chishi F_y fazadan, ya'ni konsentratsiyasi katta bo'lgan fazadan, konsentratsiyasi kichik F_x fazaga yo'nalgan bo'lsin. Moddaning ko'chishi fazalarning turbulent harakati jarayonida amalga oshayotgan bo'lsin. Chegara qatlamlarda tormozlanish tufayli turbulent harakat so'nadi. Bu qatlamlarda massa uzatish tezligi juda kichik, chunki bu qatlamda massa uzatish faqat molekulyar diffuziya yo'li bilan amalga oshadi.

Shunday qilib, ko'rib chiqilgan tizimlarda massa uzatish chegara qatlamlaridagi massa uzatish bilan cheklangan va uni tezlashtirish uchun turbulent oqim darajasini oshirish yo'li bilan chegaraviy qatlamning (laminar qatlamning) qalinligini kamaytirish kerak. Masalan: fazalar harakati tezligini oshirish yo'li bilan chegaraviy qatlamning qalinligini kamaytirish mumkin.

Gaz va suyuqliklarning turbulent oqimi murakkab jarayon bo'lganligi va yaxshi o'rganilmaganligi tufayli massa uzatishning nazariy modelini yaratish ancha qiyin masaladir. Shuning uchun quyidagi soddalashtirishni kiritish asosida bu masala yechiladi:

1. Har bir fazada massa uzatish jarayoni bir-biriga bog'liq bo'lmagan sharoitda amalga oshadi deb faraz qilinadi;
2. Fazalar chegarasining sirti muvozonatda bo'ladi deb hisoblanadi.

Qo'shimcha amaliy hisoblarda har bir suyuq yoki gaz holatdagi fazalarda massa uzatishning tezligi harakatlantiruvchi kuchga proporsional deb olinadi. Bu



1.1-rasm Taqsimlangan modda konsentratsiyasining massa uzatish jarayonida tizim qattiq fazasida o'zgarish sxemasi

kuchni esa faza ichidagi va chegaradagi konsentratsiyalar farqiga teng deb olinadi. Shuning uchun, taqsimlangan modda F_y fazadan F_x fazaga o'tayotgan bo'lsa, massa uzatishning asosiy tenglamalari quyidagicha yoziladi:

$$\begin{aligned} F_y \text{ fazada} : j_y &= \beta_y(C_{0y} - C_{ch.y}) \\ F_x \text{ fazada} : j_x &= \beta_x(C_{ch.x} - C_{0x}) \end{aligned} \quad (1.3)$$

Ma'lumki, yarim o'tkazgich va dielektrik kristallarning eng asosiy elektrofizik xususiyatlari ulardagi kirishma elementlari konsentratsiyasi bilan aniqlanadi. Legirlangan kristallar asosida tayyorlangan asboblarning parametrlarining turg'unligi va qaytalanuvchi bo'lishini ta'minlash talabi kirishma elementlari bir tekis taqsimlangan monokristallarni o'stirish muammosining eng asosiy masalalaridan biriga aylantiradi.

Bir jinslimaslikning paydo bo'lish sabablariga binoan, uni ikki sinfga ajratiladi: fundamental va texnologik. Bir jinslimaslikning birinchi sinfi o'suvchi kristall tarkibining qonuniy o'zgarishi bilan bog'liq bo'lib, u ko'p komponentli tizimlarda fazoviy o'tishning asosiy qonuniyati talabidan vujudga keladi. Bu qonuniy bir jinslimaslik o'stirilgan kristallning butun hajmini o'z ichiga oladi va ko'pincha tarkib doimiyligining segregatsion buzilishi deyiladi.

Texnologiyada qo'llaniladigan jarayon va asboblarning nomukammalligi tufayli kristall o'stirish sharoitidagi stabillikning buzilishi natijasida ikkinchi sinf bir jinslimaslik paydo bo'ladi. Bunday turdagi bir jinslimaslik kristall hajmining ma'lum bir qismini egallaydi va ular lokal bir jinslimaslik deyiladi.

Tarkibi bir jinsli kristallarni olishda, asosiy masala fundamental bir jinslimaslikni yo'qotishning asosiy usullarini ishlab chiqarishdan iboratdir.

1.3 Kristall tarkibini tekislashning segregatsiya usuli

Kristallar tarkibini tekislashning segregatsiya usulini passiv va aktiv usullarga ajratish mumkin. Passiv usulda kirishma atomlari ma'lum bir jinslilikda taqsimlangan monokristallar, kristallanish jarayoniga hech qanday ta'sir etmasdan olinadi. Boshqacha aytganda, suyuqlikdan o'stirilayotgan kristallanish usuli bilan

o‘stirilayotgan monokristall kirishma elementining taqsimoti taqriban bir jinsli bo‘lgan qismidan foydalaniladi.

Aktiv usul deganda shunday usul tushuniladiki, u kristalni o‘stirish vaqtida legirlash jarayonining borishiga aktiv ta‘sir ettirishga imkon yaratadi, ya‘ni materialning chiqishi deb ataluvchi kattalik usulning effektivlik mezonini sifatida foydalaniladi. Miqdoriy chiqish jarayoni hajmiy birlikda yoki massa birligida ifodalanadi. Agar moddaning zichligi o‘zgarmasa, har ikkala birlik bir xil natija beradi. Chiqishni hajm birligida ifodalash ancha qulaydir.

Chiqish jarayonining qiymati materialga qo‘yilgan talabga bog‘liqdir. Bu talab esa kristallardan foydalanish shartlaridan kelib chiqadi. Talab shu narsaga olib keladiki, kristalda legirlangan kirishma atomining konsentratsiyasi C_t talab qilingan o‘rtacha konsentratsiyasining qiymati \bar{C}_T dan ma‘lum P qiymatdan ko‘p bo‘lmasligi shart ($C_t - \bar{C}_T < P$). Bu kattalik tarkibning ruxsat etilgan tarqoqligi deyiladi va nisbiy birlikda ifodalanadi. Biror ξ nuqtadagi monokristalning foydalanishga yaroqli bo‘lishi uchun bu nuqtada uning tarkibi quyidagi tengsizlikni qanoatlantiradi:

$$\left| \frac{C_T(\xi) - \bar{C}_T}{\bar{C}_T} \right| \leq P \quad (1.4)$$

Tarkibni tenglashtirishning passiv usuli. Hyech qanday qo‘shimcha o‘zgarishlar kiritmasdan, kristallanish jarayonidan (normal yo‘naltirilgan sovutish va zonali eritish usullaridan) foydalanib yarim o‘tkazgich va dielektrikning bir jinsli kristallarini olish mumkin. Bunday holda kristallning kirishma atomlari tekis taqsimlangan qismidan foydalaniladi. Bu jarayonlarda kirishma atomlarining taqsimot egri chizig‘ini tahlil qilish shuni ko‘rsatadiki, eng tekis taqsimlanish o‘stirilgan kristallning boshida yoki yakunida bo‘ladi. Shuning uchun ham kristallning shu qismlaridan foydalanish maqsadga muvofiqdir.

Legirlangan kristallarni normal yo‘naltirilgan sovutish usuli bilan o‘stirishda boshlang‘ich tarkibi shunday beriladiki, kirishma atomlarining talab qilingan konsentratsiyasi o‘stirilgan kristallning boshlang‘ich qismida hosil qilinadi, ya‘ni $g=0$

nuqtada. U holda o‘stirilayotgan kristall tarkibidagi tarqoqlik shu nuqtadagi qiymatga nisbatan:

$$\bar{C}_T = C_T(g = 0) = KC_0 \quad (1.5)$$

bu yerda K –taqsimotning effektiv koeffitsiyenti, C_0 – suyuqlikdagi boshlang‘ich konsentratsiya, g – moddaning kristallangan qismi.

Legirlovchi kirishmasi bor suyuqlikdan kristall o‘stirish sharti va kristallanish frontidagi jarayonning xarakteri toza suyuqlikning kristallanishidan farq qiladi. Bundan tashqari, toza moddaga kirishma elementlari kiritilganda uning erish harorati o‘zgaradi. Kirishma elementining suyuqlik atomi bilan o‘zaro ta’sirining xarakteriga qarab erish harorati pasayishi yoki ko‘tarilishi mumkin (1.2-rasm).

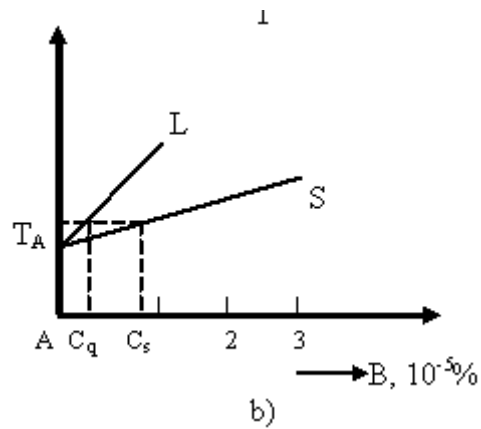
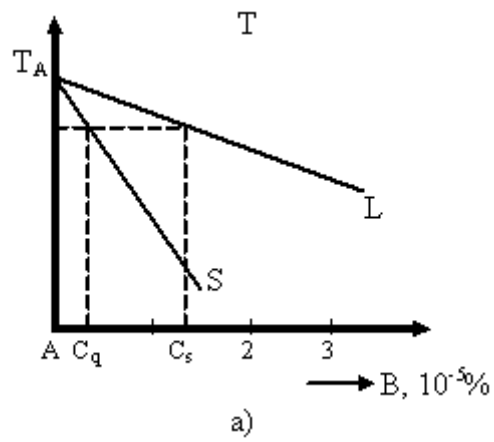
Moddaning erish harorati kirishma elementlari konsentratsiyasiga bog‘liqligi holat diagrammasi grafigida tasvirlanadi. Kirishma elementlarining konsentratsiyasi kam bo‘lganda faza diagrammasi, asosiy moddaning erish haroratida solidius va likvidius egri chiziqlariga o‘tkazilgan urinmalardan iborat, ikki to‘g‘ri chiziq orqali ifodalanadi.

Harorat pasayganda to‘g‘ri chiziqlar pastga qarab yo‘naladi, erish harorati ko‘tarilganda esa yuqoriga qarab yo‘naladi.

Qattiq va suyuq fazalardan kirishma elementlari konsentratsiyasining nisbati $K_0 = C_k/C_s$ muvozonatli taqsimot koeffitsiyenti, kirishmali suyuqlik uchun har qanday haroratda doimiydir.

Agar kirishma erish haroratini pasaytirsa, $K_0 < 1$ bo‘ladi va bunday holat amalda ko‘p uchraydi. Agar kirishma moddaning erish haroratini oshirsa, $K_0 > 1$ bo‘ladi. Bunday holat yarim o‘tkazgichlar texnologiyasida kam uchraydi.

Termodinamik tahlil ko‘rsatadiki, kristallanish jarayonining o‘tish davomida haroratning pasayishi qattiq faza tarkibi solidius chizig‘i bo‘yicha, suyuq faza tarkibi esa likvidius chizig‘i bo‘yicha o‘zgaradi. Bunda qattiq fazadagi diffuziya juda sekin ro‘y berishi tufayli har xil haroratlarda suyuqlikni sovitishda o‘stirilgan kristallarning tarkibi har xil bo‘ladi. Buning natijasida kristalldagi kirishmalarning taqsimoti bir



1.2-rasm. Fazaviy diagramma asosiy moddaning erish harorati T_A da solidius va likvidius egri chiziqlariga o‘tkazilgan urinmalardan iborat ikki to‘g‘ri chiziq orqali tasvirlangan.

a) kirishma elementi erish haroratini pasaytirgan.

b) kirishma elementi erish haroratini oshirgan.

jinsli bo'lmay qoladi. Tarkib bir jinsligining bunday qonuniy buzilishi segregatsiyali tartib domiyligining buzilishi deyiladi.

Qattiq fazaning butun hajmida ro'y beradigan taqsimot qanday o'zgarishini ko'rib chiqamiz.

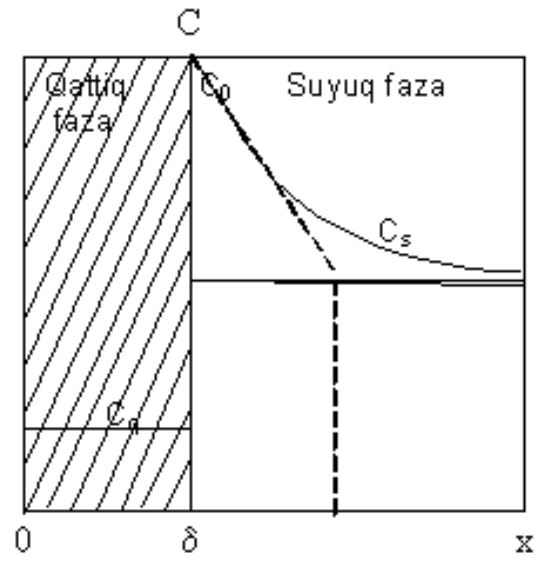
Faraz qilaylik, kirishmaning muvozonatli taqsimot koeffitsiyenti $K_0 < 1$ bo'lsin. Bunday holda kristall \mathcal{G} tezlik bilan o'saborgan sari, qattiq fazadagi kirishma konsentratsiyasi kam bo'lganligi sababli kristallanish chegarasi yaqinidagi suyuq fazada kirishma konsentratsiyasi ko'payadi va kirishma elementlari chegaradan suyuqlik ichiga qarab diffuziyalanadi. Kristallanish frontidan ajralishda kirishma yig'ilishidan, uning oldidan diffuziya qatlami hosil bo'lishiga olib keladi va diffuziya usuli bilan kirishma eritma hajmiga o'tadi (1.3.a-rasm). Agar shunday holatda taqsimlanish koeffitsiyenti $K_0 > 1$ bo'lsa, o'suvchi sirt yaqinida kirishma yetishmasligi seziladi.

Ko'rsatish mumkinki, kristallga kiritilayotgan kirishmaning tekis taqsimotini ta'minlash uchun ushbu shart $\mathcal{G} < \mathcal{G}_d$ bajarilishi kerak, ya'ni kristallanish tezligi kirishma elementining diffuziya tezligi \mathcal{G}_d dan juda kichik bo'lishi shart. Gaz fazadan kimyoviy cho'ktirish yo'li bilan kristallarni o'stirishda, berilgan tarkibdagi legirlovchi bu gaz aralashmasini olish usuliga qarab, legirlashning quyidagi usullaridan foydalaniladi:

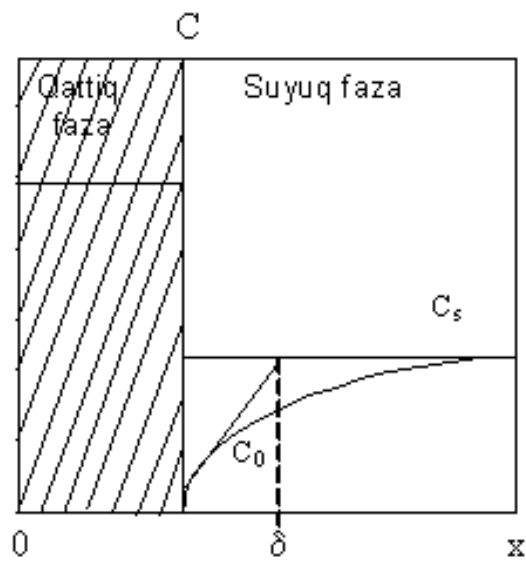
- 1) suyuqlikdan legirlash usuli;
- 2) individual birikmalardan legirlash usuli;
- 3) gaz razryadi usuli.

Suyuqlikdan legirlash usulida cho'ktiriluvchi asosiy element suyuqligiga qo'shilgan kirishma atomlari birikmasining suyuqligi legirlovchi kirishma atomlarining manbai bo'lib xizmat qiladi. Masalan, SiCl_4 bug'dan kremniyni cho'ktirishda kristallni fosfor bilan legirlash uchun SiCl_4 ga PCl_3 qo'shiladi. Kristallda berilgan konsentratsiyadagi aralashmani hosil qilish uchun ushbu formuladan foydalaniladi:

$$C_T = 2,6 \cdot 10^8 \left(P_{\text{PCl}_3} / P_{\text{SiCl}_4} \right)$$



a)



b)

1.3-rasm. Eritma va o'sayotgan kristall o'rtasida kirishma taqsimoti. Bu yerda δ -diffuziya qatlami qalinligi.

bunda $(P_{PCl_3} / P_{SiCl_4}) - P_{PCl_3}$ va P_{SiCl_4} hosil qilingan parsial bug' bosimlari nisbati.

Kirishma birikmasining va asosiy modda aralashmasining uchuvchanligi har xil bo'lishi tufayli parsial bosimning nisbati vaqt o'tishi bilan o'zgarishi mumkin. Shuning uchun ham gaz fazada kirishma tarkibini bir maromda ushlab turish maqsadida eritmaga toza asosiy komponent shimidiriladi. Bu usul yordamida bir jinsli legirlangan kremniyning epitaksial qatlamini olish mumkin. Bu qatlamni fosfor, bor va mishpyak bilan $10^{20} - 10^{25} \text{ atom/m}^3$ konsentratsiyagacha, surma bilan esa $5 \cdot 10^{24} \text{ atom/m}^3$ konsentratsiyagacha legirlash mumkin.

Individual birikmalardan legirlash usulida legirlash jarayonini boshqarish ancha osonroq, chunki bu usulda kirishma birikmasi bug'ning oqimi bilan asosiy modda birikmasining bug'i alohida-alohida hosil qilinib, reaksiya zonasida aralashtirish imkoniyati bor. Bu usulda kristallning kirishma atomi bilan legirlash darajasiga ta'sir etuvchi asosiy faktorlar bug'-gaz aralashmasining konsentratsiyasi va temperaturasidir. Kristallni bir jinsli legirlash uchun temperaturani katta aniqlikda boshqarish kerak. Kremniy, germaniy, $A^{III}B^V$ birikmani va boshqa turdagi kristallning epitaksial qatlamini hosil qilishda bu usuldan keng foydalaniladi.

Ayrim hollarda kristall o'stirish qurilmasining oldidagi maxsus kamerada legirlovchi gaz aralashmasi hosil qilinadi. Bunday usullardan biri – gaz razryadli legirlash usulidir. Bu usulning mohiyatini kremniyning epitaksial qatlamini olish misolida ko'rib chiqamiz.

Kremniyning epitaksial qatlami o'stiriladigan reaktorga bir truba orqali kremniy tetraxloridi ($SiCl_4$) yuboriladi, ikkinchisi orqali gaz razryad kamerasidan o'tuvchi vodorod gazi yuboriladi. Kameraga III va V gurux elementlari bo'lgan materialdan (masalan: LaB_6 , B_4C , AlB_{12} , surma va boshqalar) tayyorlangan elektrodlar o'rnatilgan. Ularga yuqori kuchlanish ($5-12 \text{ kV}$) berilganda gaz razryadi hosil bo'ladi va natijada legirlovchi kirishma atomlarining uchuvchi birikmasi vujudga keladi. Ko'pincha kristallning legirlanish jarayonini boshqarishda razryad tokining o'zgarishidan foydalaniladi.

1.4 Materiallarga kimyoviy va elektrokimyoviy ishlov berish texnologiyasi

Mexanik ishlov berish plastina sirtining yuqori darajada tekis bo'lishini taminlaydi, lekin har doim sirtida ma'lum darajada buzilgan qatlamni hosil qiladi. Buzilgan qatlamsiz tekis sirtni kimyoviy ishlov berish yordamida hosil qilish mumkin.

Kimyoviy ishlov berish jarayonini kremniy kristalli misolida ko'rib chiqamiz. Kimyoviy ishlov berish jarayonini kremniy kristallini kimyoviy, elektrokimyoviy, plazma kimyoviy va termo kimyoviy yo'l bilan yemirish asosida amalga oshirish mumkin. Kremniyning eritilishi oksidlovchi - qaytaruvchi reaksiyalar asosida amalga oshadi. Jarayonni ikkita asosiy bosqichlarga ajratish mumkin:

a) kremniy – eritma chegarasiga reagentlarni diffuziya yo'li bilan olib borish va ularni chegaradan uzoqlashtirish;

b) kimyoviy o'zgarish (kimyoviy reaksiya).

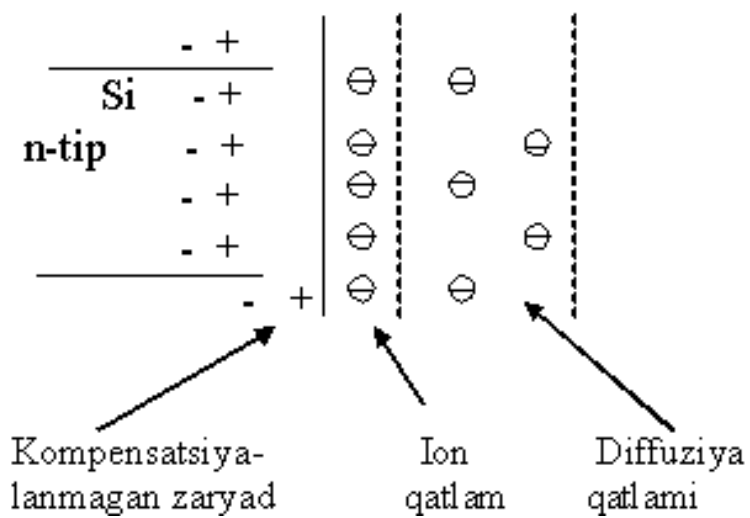
Yarim o'tkazgich bilan suyuq eritma orasida kontakt hosil bo'lishi bilan kimyoviy reaksiya boshlanadi. Yarim o'tkazgich sirtida har doim kompensatsiyalanmagan zaryadlar mavjud. Bu zaryadlar eritmadan qarama - qarshi zaryadli ionlarni tortadi va natijada bo'linish chegarasida uchta elektr zaryadli qatlam hosil bo'ladi. Yarim o'tkazgichlar uchun sirt oldidagi kompensatsiyalanmagan qatlam qalinligi 10^{-4} - 10^{-6} sm bo'ladi (1.4 – rasm).

O'yuvchi ishqor yoki erituvchi kislota va uning tuzi eritmasidagi anodda kremniyning erish reaksiyasini ko'rib chiqamiz. Reaksiya ikki yo'l bilan kechadi:

1. OH^- -ionlar hisobiga gidratlangan kremniy oksidi hosil bo'ladi. So'ngra fluor ionining ishtirokida oksid suvda eriydigan SiF_6^{2-} kompleksiga o'tkaziladi.

2. Kremniyning bevosita fluor ionlari bilan reaksiyasi. Kremniy fluor ionlari bo'lmagan eritmada kremniyning erishiga imkon bermaydigan oksid parda bilan qamrab olinadi.

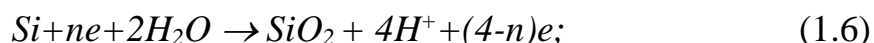
Asosiy katod reaksiyasi kremniyda – vodorodning ajralib chiqishi va oksidlovchi molekulalarning qaytarilishi sodir bo'ladi. Katod reaksiyasida kimyoviy birikma, ya'ni kremniy gidridi hosil bo'ladi. Kremniy kimyoviy yedirishda anod va katod reaksiyalari bir vaqtda kechishi mumkin. Qaysi reaksiyaning limitlovchi



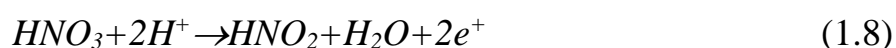
1.4 – rasm. Zaryadli qatlamlar hosil qilish.

bo‘lishiga qarab, anodli yoki katodli yemirish jarayonini chegaralovchilarga ajratiladi.

Kremniyning ftorid (HF) va azot (HNO_3) kislotalar aralashmasida yemirilishini ko‘rib chiqamiz. Mikroanodda oksid hosil bo‘lish reaksiyasi kechib, so‘ngra kremniy ftorli vodorod kislotasiga o‘tkaziladi:



Mikrokatodda azot kislotasi tiklanadi:



Mikrokatodda tiklanayotgani oksidlovchi molekula HNO_3 elektronlarni tutib oladi, ya‘ni qo‘shni mikrokatodda teshik hosil qiladi. Eritmadagi oksidlovchi konsentratsiyasining o‘zgarishi hisobiga oksidlovchining mikrokatodga kelishini rostlash, anod erishini boshqarish mumkin. Bunday katodli chegaralash sirtini silliq yemirishga imkon yaratadi. Mikrokatodga keluvchi ftor ionlarini rostlash asosida anodli chegaralash amalga oshiriladi. Asosiy reaksiya o‘z-o‘zidan ro‘y beradi, chunki anod reaksiyasi panjaraning buzilishi bilan bog‘liq. Kremniyning erishi ko‘proq sirtidagi deffektlarda yoki ma‘lum kristallografik tekislik yo‘nalishi bo‘ylab sodir bo‘ladi. Katodli chegaralash asosidagi kremniy yemirilishi texnologiyada ko‘p qo‘llaniladi. Bunda oksidlovchining diffuziyalanib kremniy sirtiga kelishi asosiy rol o‘ynaydi. Erish tezligi sirt relyefiga bog‘liq, chunki Fik qonuniga asosan

$$\mathfrak{Q} = \frac{D}{x}(C_p - C_0) \quad (1.9)$$

bunda \mathfrak{Q} -oksidlovchi molekulasining sirtga kelishdagi diffuziya tezligi; C_p va C_0 eritmadagi oksidlovchining eritma ichidagi va sirtidagi konsentratsiyasi x -yemiruvchi eritmaning qalinligi D -diffuziya koeffitsenti.

$x_{cho‘q} < x_{chuq}$ bo‘lgani sababli cho‘qqidagi yemirilish chuqurdagi yemirilishdan kattaroq bo‘ladi.

Sirtga ishlov berish sifatini yaxshilash uchun elektropolirovka usulidan foydalaniladi. Bu jarayonda kremniyning sirtida erigan mahsulotning yupqa yopishqoq pardasi hosil bo‘ladi. Bu pardaning qalinligi cho‘qqilarda kichik bo‘lgani uchun anod toki qayta taqsimlanadi va natijada cho‘qqilar tezroq yemiriladi.

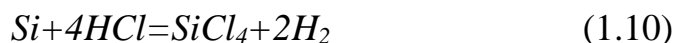
Buzilgan qatlami bo‘lmagan kremniy plastinkalarini olish uchun dinamik-kimyoviy sayqallash ishlatiladi. Bu usul asosida sirtga ancha sifatli ishlov berish mumkin. Elektropolirovkada ishlatiladigan elektrolit tarkibi:

alyuminiy ftorid -15g/l;
gliserin - 600 sm³;
distillangan suv - 400 sm³;

Elektrolit bir marta ishlatiladi. Tok zichligi $0,03-0,1 A/sm^3$ va elektrodlardagi kuchlanish $10-14 V$ bo‘lsa, yemirilish tezligi $0,4-1 mkm/min$ ni tashkil qiladi.

Kremniyning anizotrop yemirilish jarayonlaridan hozirgi paytda IMS texnologiyasida keng foydalaniladi. Plastinalarga termokimyoviy ishlov berish - kremniyning gaz moddalar bilan, galogenlar bilan, galogen- vodorod birikmalari (HF , HCl , HJ) bilan reaksiyaga kirishib uchuvchi mahsulot hosil qilishiga asoslangan. Bu moddalarning kamroq miqdori vodorod oqimiga qo‘shiladi va kvars reaktorga kiritiladi.

Ishlov berish $T=700-1300 ^\circ C$ temperatura oralig‘ida amalga oshiriladi. Termokimyoviy ishlov berishda, jumladan HCl bilan yemirishda ushbu reaksiya amalga oshadi:



Termokimyoviy ishlov berishning o‘ziga xos xususiyati shundaki, yemirish maromini tanlash asosida jarayonga yo‘naltiruvchi xarakter berish mumkin. Bu usuldan foydalanib plastinkada mahalliy chuqurchalarni shakillantirish mumkin. Termokimyoviy yemirilishning ajoyibligi shundaki, u sirtning tozaligini maksimal darajaga yetkazadi va uni epitaksiya, oksidlash, diffuziya kabi termik jarayonlar bilan birga o‘tkazish mumkin. Uning asosiy kamchiligi ishlov berish temperaturasining yuqoriligi va uskunaning murakkabligi va juda toza gazdan foydalanish zaruratidir.

II BOB DIFFUZIYA NAZARIYASI ASOSLARI VA DIFFUZIYA JARAYONLARINI HISOBLASH

2.1 Kirishma diffuziyasini belgilaydigan jarayonlar

Kirishmalar diffuziyasi kremniyli asboblar yasashning planar texnologiyasida o'ta muhim rol o'ynaydi va p-n o'tishli planar strukturalar yaratish maqsadida yarim o'tkazgich plastinalarni legirlash uchun qo'llaniladi. Diffuziya –bu zarrachalarning issiqlik ta'sirida zarrachalar konsentrasiyasi kam bo'lgan tarafga siljishidir. Diffuziya tezligi kirishma atomlari konsentrasiyasining gradiyentiga bog'liq: gradiyent qancha katta bo'lsa, atomlarning siljishi shunchalik intensiv kechadi.

Gaz oqimida diffuziya metodlarini maskirovka, fotolitografiya, epitaksiya, ion legirlash bilan birgalikda qo'llash murakkab integral asboblar, mikroprosessorlar va mikroyig'malar yaratishga imkon beradi. Amalda diffuziyani amalga oshrish uchun, yarim o'tkazgich chegarasi oldida joylashtirilgan gazsimon, suyuq yoki qattiq holatdagi kirishma manbalari qo'llaniladi. Shundan so'ng, yarim o'tkazgich plastinasi qizdiriladi va yuqori haroratda ushlab turiladi. Bunda ma'lum chuqurlikda kirishma atomlarining talab qilingan taqsimoti vujudga keladi, chunonchi berilgan yarim o'tkazgichning tipi bu chuqurlikda qarama-qarshiga o'zgaradi.

Real kristallarda diffuziyaning uchta mexanizmi bor deb faraz qilinadi: vakansiyalar bo'yicha diffuziya, tugunlar aro diffuziya, almashuv diffuziya (joylar bilan o'zaro almashuv). Planar texnologiyada eng keng qo'llaniladigan kremniyni legirlash uchun asosan Mendeleyev davriy jadvalining uchinchi va beshinchi guruh elementlari qo'llaniladi. Bu holda diffuziya vakansiyalar bo'yicha amalga oshadi. Bu guruh atomlari kremniy panjarasida, kristall panjara tugunlaridagi joylarni qattiq almashinuv eritmasi hosil qilib egalaydi. Bu mexanizmning mohiyati quyidagidan iborat: kremniyda yuqori temperaturalarda (900-1200 °C) vakansiyalarning (bo'sh, egalanmagan panjara tugunlari) soni keskin ortadi va ular kristall bo'yicha harakatlanib, kirishma atomlari oldida bo'lib qolishi mumkin. Bu holda kirishma atomi nisbatan kichik energetik to'siqni yengib vakansiya o'rniga o'tib qolishi va panjara bo'yicha kirishmalarning konsentrasiyasi pasayishi tomoniga siljishi mumkin.

Davriy jadval boshqa guruh elementlari atomlarining kremniyga diffuziyasi tugunlararo yuz beradi, ya'ni singish qattiq eritmaları yuzaga keladi. Bunday eritmada bir tugun orasidan kirishma atomning qo'shnisiga o'tishi tugundagi kirishma atomning qo'shnisiga o'tishidan ancha katta. Shuning uchun, uchinchi va beshinchi guruh elementlariga nisbatan ularning diffuziyasi ancha tez kechadi. Ammo, tugunlararo bo'shliqda vakansiyalarga nisbatan ancha kam atomlar joylashishi mumkin, bu esa kirishmalarning kichik eruvchanligiga sabab bo'ladi. Shuning uchun kremniyda uchinchi guruh elementlari masalan ikkinchi guruh elementlariga nisbatan yaxshiroq eriydi deb hisoblashimiz mumkin. Real sharoitlarda diffuziya jarayonlari amalga oshirilayotganda bu narsani albatta hisobga olish lozim.

2.2 Diffuziya tenglamasi

Agar yarim o'tkazgich hajmida bir tekis taqsimlanmagan kirishma va konsentrasiya gradiyenti mavjud bo'lsa, diffuziya jarayonida yo'nalgan diffuzion oqim yuzaga keladi va u konsentrasiyani tenglashtirishga intiladi. Kirishma oqimi konsentrasiya pasaygan tarafga yo'naladi.

Diffuzion jarayonlarni matematik ifodalash birinchi bor 1855 yilda nemis olimi A.Fik tomonidan ikki tenglama ko'rinishida berilgan. Fikning birinchi tenglamasi moddaning qattiq jismdagi massa uzatilishi jarayonini xarakterlaydi va bir o'lchamli holda, kirishma atomlarining x yo'nalishdagi birlik ko'ndalang kesim orqali oqimi F shu yo'nalishdagi kirishma konsentrasiyasining gradiyentiga $dN(x, t)/dx$ proporsional ekanligini aks etadi.

$$F(x, t) = -D \frac{dN(x, t)}{dx}, \quad (2.1)$$

Bu yerda $F(x, t)$ – kirishmalar siljishiga perpendikulyar yo'nalishda birlik vaqtda, birlik ko'ndalang kesimdan o'tayotgan kirishma atomlarining oqimi;

D – kirishma diffuziyasi koeffitsiyenti;

t – diffuziya vaqti;

Minus belgisi oqim konsentrasiya gradiyenti pasayishi tomon yo'nalganligini ko'rsatadi.

Qalinligi Δx bo'lgan yarim o'tkazgich qatlamida kirishma muvozanatini ko'rib va cheksiz kichik qalinlikka o'tish orqali, (2.1) hisobga olgan holda Fikning ikkinchi tenglamasini keltirib chiqarish mumkin. Bu tenglama plastina chuqurligi x bo'yicha kirishma konsentrasiyasining vaqtga t bog'liqligini ifodalaydi. Izotrop hol uchun, ya'ni diffuziya koeffitsiyenti skalyar kattalik va kirishmaning konsentrasiyasi va yo'nalishiga bog'liq bo'lmaganda, Fikning ikkinchi qonuni quyidagi ko'rinishga ega:

$$\frac{dN(x,t)}{dt} = D \frac{d^2N(x,t)}{dx^2} . \quad (2.2)$$

(2.2) tenglama diffuziya tenglamasi deb ataladi va yarim o'tkazgichli texnologiyada bir o'lchamli masalalarni yechishda asosiy hisoblanadi. (2.2) kiruvchi diffuziya koeffitsiyenti konstanta bo'lib, diffuziya tezligini xarakterlaydi. Odatda yarim o'tkazgichlarda temperatura ortishi bilan diffuziya koef-fitsiyenti keskin ortadi. Bu bog'lanish Arrenius ifodasi bilan aniqlanadi:

$$D = D_0 \exp(-Q/kT) \quad (2.3)$$

Bu yerda D_0 – doimiy kattalik, diffuziya koeffitsiyenti o'lchamiga ega va kirishma turi hamda yarim o'tkazgich materialiga bog'liq, sm^2/s ;

Q – kirishmani faollashtirish energiyasi, eV ;

$k = 8,63 \cdot 10^{-5}$ –Bolsman doimiysi, eV/K ;

T – diffuziyaning absolyut temperaturasi, K .

Kremniyda keng tarqalgan kirishmalar uchun D_0 va Q kattaliklar 2.1-jadvalda keltirilgan, 2.1-rasmda esa, shu maqsad uchun diffuziya koeffitsiyentining temperaturaga bog'liqligi keltirilgan. Bu ma'lumotlardan keyinchalik hisoblashlarda foydalanamiz.

2.1-jadval

Elektroo'tkazuvchanlik tipi	Kirishma	$D_0, sm^2/s$	Q, eV
Kovakli (p-tip)	Bor(V)	10, 6	3, 6
Elektron (n-tip)	Fosfor (R)	10, 5	3, 7

	Mishyak (As)	0,44	3,6
	Surma (Sb)	4,0	3,9

2.1-rasm dan ko'rinib turibdiki, bor va fosfor taxminan bir xil qiymatli diffuziya koeffitsiyentiga ega va $T = 1150^{\circ}C$ da, $D \approx 10^{-12} \text{ sm}^2/\text{s}$ (D va T qiymatlari punktir bilan belgilangan). Bunda dastlabki va diffuziyalanuvchi kirishmalar konsentrasiyasining D kattaligiga ta'siri hisobga olinmagan, garchi diffuziya temperaturasida ikkala tip kirishmalar qisman yoki to'liq ionlashgan bo'ladi va bu tezlashtiruvchi elektr maydonini yuzaga keltirib, (2.3) formula bilan hisoblangan natijalarga nisbatan diffuziya koeffitsiyentining ortishiga olib keladi.

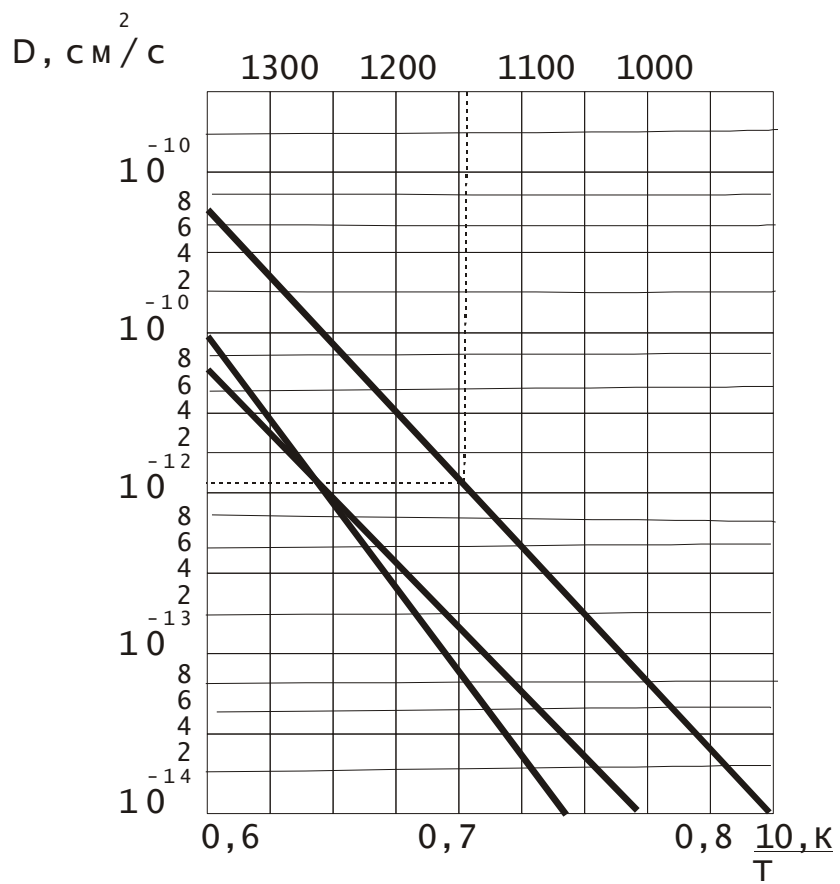
Integral yarim o'tkazgich sxemalar tayyorlash jarayonida ma'lum diffuziya koeffitsiyenti bo'yicha diffuzion jarayonlarning asosiy parametrlari aniqlanadi: kirishmalar konsentrasiyasining chuqurlik bo'yicha taqsimoti, diffuzion qatlamning qalinligi, diffuziya vaqti. Buning uchun (2.2) tenglamani real diffuziya jarayonlariga mos keladigan ma'lum boshlang'ich va chegaraviy shartlarda yechish talab qilinadi. Amalda integral sxemalarni yaratishda diffuziyaning ikki holi e'tiborga molikdir: cheksiz va chekli kirishma manbalari. Oddatiy sharoitlarda, yarim o'tkazgichlarga kirishmalar diffuziyalantirilganda, ulardan hech biri qarama-qarshi tarafga yetib bora olmaydi. Shuning uchun, $x = 0$ tekislik bilan chegaralangan yarim cheksiz yattiy jism modeli tanlanadi.

2.3 Cheksiz kirishma manbasidan diffuziya

Yarim cheksiz jism chegarasida (plastina sirtida) diffuziyalanuvchi kirishma konsentrasiyasi N_s doimiy qilib ushlab turiladigan holat muhim amaliy ahamiyatga ega. Bunday diffuziya jarayoni diffuzion p-n-o'tishlarni tayyorlashda keng tarqalgan. Boshlang'ich ($t=0$) va chegaraviy ($x=0$) shartlar quyidagicha yoziladi:

$$N(x>0, 0)=0;$$

$$N(0, t \geq 0)=N_s.$$



2.1-rasm

Bu hol uchun (2.2) diffuziya tenglamasining yechimi quyidagi ko'rinishga ega:

$$N(x,t) = N_s \operatorname{erfc}(x/2\sqrt{Dt}), \quad (2.4)$$

Bu yerda $N(x,t)$ – yarim o'tkazgichda diffuziyalanuvchi kirishmalar konsentrasiyasining x chuqurlik bo'yicha t vaqt o'tishi bilan taqsimlanishi,

$\operatorname{erfc}\eta = 1 - \operatorname{erf}\eta$ – Gauss xatoliklar integralining $\operatorname{erf}\eta$ birgacha qo'shimcha funksiyasi,

$$\operatorname{erf}\eta = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\eta \exp(-\eta^2) dt.$$

$$\eta = \frac{x}{2\sqrt{Dt}}.$$

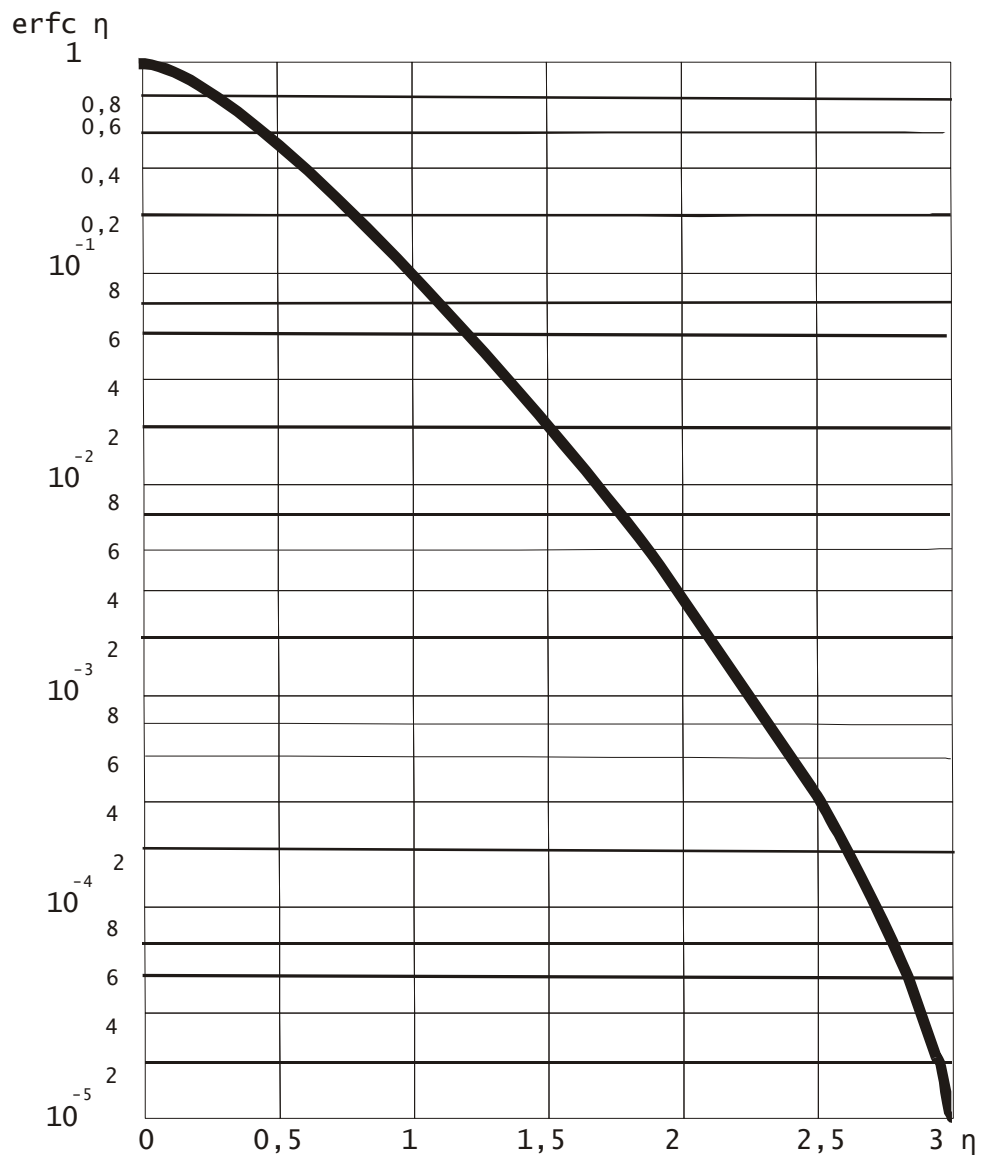
Uzunlik o'lchamiga ega bo'lgan \sqrt{Dt} kattalikni, diffuzion uzunlik deb atashadi.

2.2-rasmda $\operatorname{erf}\eta = f(\eta)$ bog'lanishning grafigi tasvirlangan bo'lib, undan hisoblashlarda foydalanish mumkin. $\operatorname{erfc}\eta$ ni η ga bog'liqligining yanada aniqroq natijalari 2.2- jadvalda keltirilgan.

2.2 -jadval

η	$\operatorname{erfc}\eta$	η	$\operatorname{erfc}\eta$	η	$\operatorname{erfc}\eta$	η	$\operatorname{erfc}\eta$
0	1,00000	1,00	0,15730	2,00	0,00468	3,0	0,0000225
0,10	0,88754	1,10	0,11980	2,10	0,00298	3,10	0,00001165
0,20	0,77730	1,20	0,08969	2,20	0,00186	3,20	0,00000603
0,30	0,67137	1,30	1,06599	2,30	0,00114	3,30	0,00000306
0,40	0,57161	1,40	0,04772	2,40	0,000689	3,40	0,00000152
0,50	0,47950	1,50	0,03390	2,50	0,000407	3,50	0,000000743
0,60	0,39614	1,60	0,02365	2,60	0,000236	3,60	0,000000356
0,70	0,32220	1,70	0,01621	2,70	0,000134	3,70	0,000000077
0,80	0,25790	1,80	0,01091	2,80	0,000075	3,80	0,000000035
0,90	0,20390	1,90	0,00721	2,9	0,000041	3,90	0,000000012

(2.4) ifodadan kirishmalarning x chuqurlik bo'yicha taqsimoti 2.3-rasmda keltirilganidek ko'rinishga ega ekanligi kelib chiqadi, ya'ni D va t ning turli



2.2-rasm

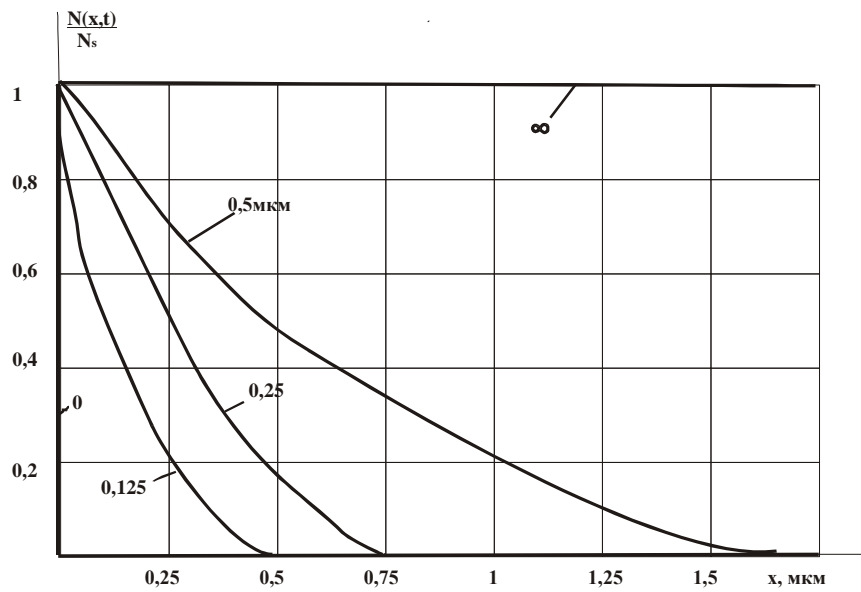
kombinasiyalarida berilgan taqsimot qonunini olish mumkin. Bundan tashqari, doimiy sirt konsentrasiyasida N_s yarim o'tkazgichga kiritilgan kirishmaning miqdori (legirlash dozasi) temperatura-vaqt ($D \cdot t$) ta'sir etishiga ham bog'liq. Legirlash dozasini R_0 , ya'ni diffuziya vaqtida 1 sm^2 maydoncha orqali yarim o'tkazgichga kiritilgan atomlarning integral miqdorini quyidagi tarzda olish mumkin. (2.1) tengalamaga (2.4) ifodani $x=0$ da qo'yib, quyidagini olamiz:

$$F(x, t)|_{x=0} = -D \frac{N_s}{\sqrt{\pi D t}} \exp\left[-\left(\frac{x}{2\sqrt{D t}}\right)^2\right] = N_s \frac{D}{\pi}. \quad (2.5)$$

(2.5) ni vaqt bo'yicha integrallab, kirishmaning integral miqdorini topamiz:

$$R_0 = \int_0^t F(x, t) dt = \frac{2}{\sqrt{\pi}} N_s \sqrt{D t}. \quad (2.6)$$

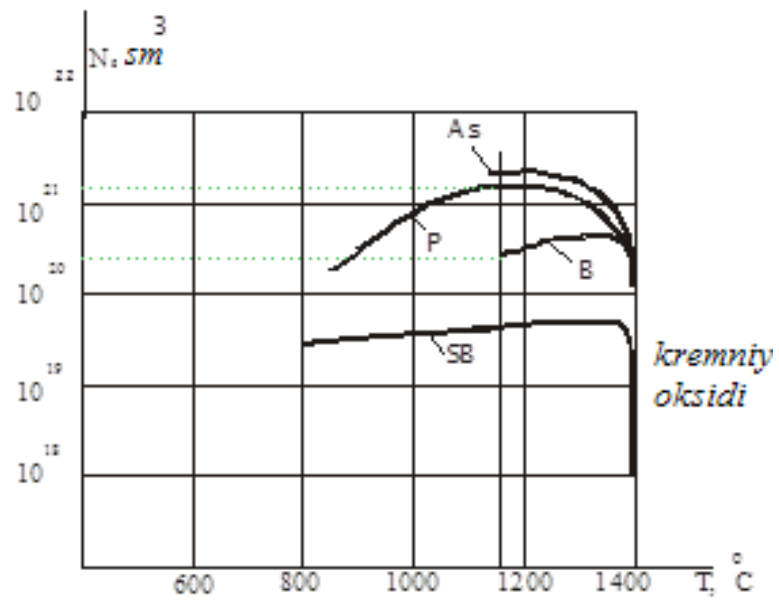
Temperaturaviy ta'sir etishni kamaytirish maqsadida kirishmaning tanlangan diffuziya temperaturasidagi chegaraviy eruvchanligiga mos keladigan sirt konsentrasiyasining maksimal qiymati tanlanadi (2.4-rasm). Masalan, $T=1150 \text{ }^\circ\text{C}$ diffuziya temperaturasida 2.4-rasmdan bor uchun $N_s=4 \cdot 10^{20} \text{ sm}^{-3}$ ni, fosfor uchun $N_s \approx 1 \cdot 10^{21} \text{ sm}^{-3}$ ni aniqlash mumkin (N_s va T mos keluvchi qiymatlari punktir chiziqlar bilan belgilangan). Natijada kirishma bilan to'yingan yupqa sirt oldi qatlami yuzaga keladi. Odatda p-n-o'tish kiritilgan kirishma konsentrasiyasi $N(x, t)$ dastlabki kirishma konsentrasiyasiga N_f teng, rasm 2.5da ko'rsatilgandek bo'lganda, x_0 chuqurlikda yuzaga keladi. Diffuziya tezligi chekli bo'lganligi uchun, kiritilgan kirishmalarning konsentrasiyasi diffuziya amalga oshayotgan sirt tomondan kamayib boradi (2.5-rasm), chunonchi ushbu misolda p-tipli kirishmaning n-tipli kremniyga diffuziyasi keltirilgan. Kirishmaning diffuziyasi na faqat x yo'nalishda, balki boshqa yo'nalishlarda ham yuz beradi. Shuning uchun, termik diffuziyada p-n-o'tishning yon tomondagi devorlari doimo kremniy oksid bilan niqoblangan holatda bo'ladi. Kovakli elektr o'tkazuvchanlikni olish uchun legirlovchi kirishmalar sifatida akseptor elementlarni, masalan B ni ishlatish mumkin.



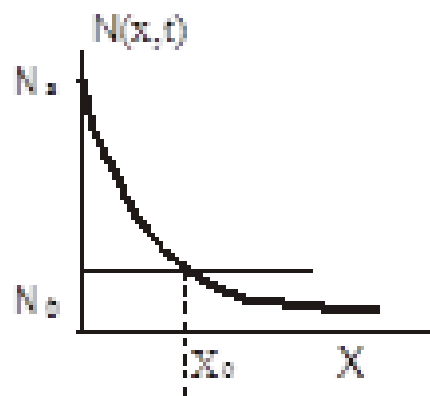
2.3 -rasm.

2.3-jadval.

Tempe- ratura, °S	Bor		Fosfor	
	D, sm ² /s	N _{s1} 10 ²⁰ , sm ³	D, sm ² /s	N _{s1} 10 ²⁰ , sm ⁻³
900	8,0·10 ⁻¹⁵	2, 8	8,0·10 ⁻¹⁶	6, 0
925	1,5·10 ⁻¹⁴	3, 0	2,0·10 ⁻¹⁵	6, 9
950	3,0·10 ⁻¹⁴	3, 2	4,0·10 ⁻¹⁵	7, 8
975	5,0·10 ⁻¹⁴	3, 4	7,0·10 ⁻¹⁵	8, 7
1000	7,0·10 ⁻¹⁴	3, 6	1,3·10 ⁻¹⁴	9, 6
1025	1,3·10 ⁻¹³	3, 8	3,0·10 ⁻¹⁴	10, 0
1050	2,0·10 ⁻¹³	4, 0	7,0·10 ⁻¹⁴	10, 8
1075	3,0·10 ⁻¹³	4, 2	1,0·10 ⁻¹³	11, 5
1100	4,0·10 ⁻¹³	4, 4	2,0·10 ⁻¹³	12, 2
1125	7,0·10 ⁻¹³	4, 6	2,6·10 ⁻¹³	12, 9
1150	1,0·10 ⁻¹²	4, 8	5,0·10 ⁻¹³	13, 6
1175	1,5·10 ⁻¹²	5, 0	1,0·10 ⁻¹²	14, 3
1200	2,0·10 ⁻¹²	5, 2	1,7·10 ⁻¹²	15, 0



2.4 -rasm



2.5 -rasm

Elektron o'tkazuvchanlikni olish uchun ko'pincha quyidagi elementlardan foydalaniladi: donorlar: P , As , Sb . Bor va fosforning kremniyga diffuziya parametrlari 2.3-jadvalda keltirilgan.

Cheksiz kirishma manbasidan bir bosqichli diffuziyaning texnologik maromini hisoblashda ma'lum diffuziya temperaturasida T_z , diffuziantning sirt konsentrasiyasida N_s va dastlabki materialdagi kirishma atomlarining konsentrasiyasida (yoki fon konsentrasiyasi) N_f p - n -o'tishning berilgan joylanish chuqurligi x_0 ta'minlanadigan yoki diffuziant qatlamning berilgan qalinligi ta'minlanadigan diffuziya vaqtini aniqlash talab etiladi.

p - n -o'tish joylanishining chuqurligini x_0 uchun (2.4) tenglamani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin

$$N(x_0, t) = N_s \operatorname{erfc}\left(\frac{x_0}{2\sqrt{Dt}}\right). \quad (2.7)$$

2.5-rasmdan ko'rinib turibdiki, x_0 da $N(x_0, t) = N_f$, ya'ni (2.7) quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\operatorname{erfc}\left(\frac{x_0}{\sqrt{Dt}}\right) = \frac{N_f}{N_s}. \quad (2.8)$$

(2.8) ifoda bir bosqichli diffuziyaning vaqtini aniqlash uchun asosiy ifoda hisoblanadi.

2. 4. Termik diffuziya bilan haydab kiritishda kirishmalarning taqsimotini hisoblash.

Dastlabki ma'lumotlar: diffuziyalanuvchi kirishma – bor; taglikdagi donorlar konsentrasiyasi $N_0 = 2,5 \cdot 10^{15} \text{ sm}^{-3}$; kirishmani haydab kiritish chuqurligi $x_3 = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ sm}$; haydab kiritish temperaturasi $T_3 = 950^\circ\text{C}$

Aniqlang: haydab kiritish vaqti t_1 ; birlik yuzaga kelgan, kiritilgan kirishmaning integral miqdori R_0 ; kirishma haydab kiritilgandan keyin borning chuqurlik bo'yicha taqsimoti.

Hisoblash tartibi:

D_1 va N_s kattaliklarning $T=950\text{ }^{\circ}\text{C}$ dagi qiymatini 2.3 -jadvaldan yoki 2.1-rasm va 2.4-rasmdan aniqlaymiz: $D_1=3\cdot 10^{-14}\text{ sm}^2/\text{s}$ – T_3 da borning kremniyga diffuziya koeffitsiyenti $N_s=3,2\cdot 10^{20}\text{ sm}^{-3}$ – T_3 da borning chegaraviy eruvchanligi N_0/N_s nisbatni aniqlaymiz, xatoliklar integrali qo'shimcha funksiyasi 2.2-jadvaldan $x/2\sqrt{D_1t_1}$ ning qiymatini topamiz:

$$N_0/N_s=7,8125\cdot 10^{-6}, \text{ unda } x_3/2\sqrt{Dt}=3,1786$$

Diffuziya o'tkazish vaqti quyidagiga teng bo'ladi:

$$t_1=x_3^2/(4D\cdot(3,1786)^2)=267,2\text{ s yoki }4,4\text{ min.}$$

Haydab kiritishdagi kirishmalarning taqsimotini quyidagi ifodadan topamiz:

$$N(x, t)=N_s\text{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right).$$

Hisoblashlar natijasi 2.4-jadvalda keltirilgan

2.4-jadval

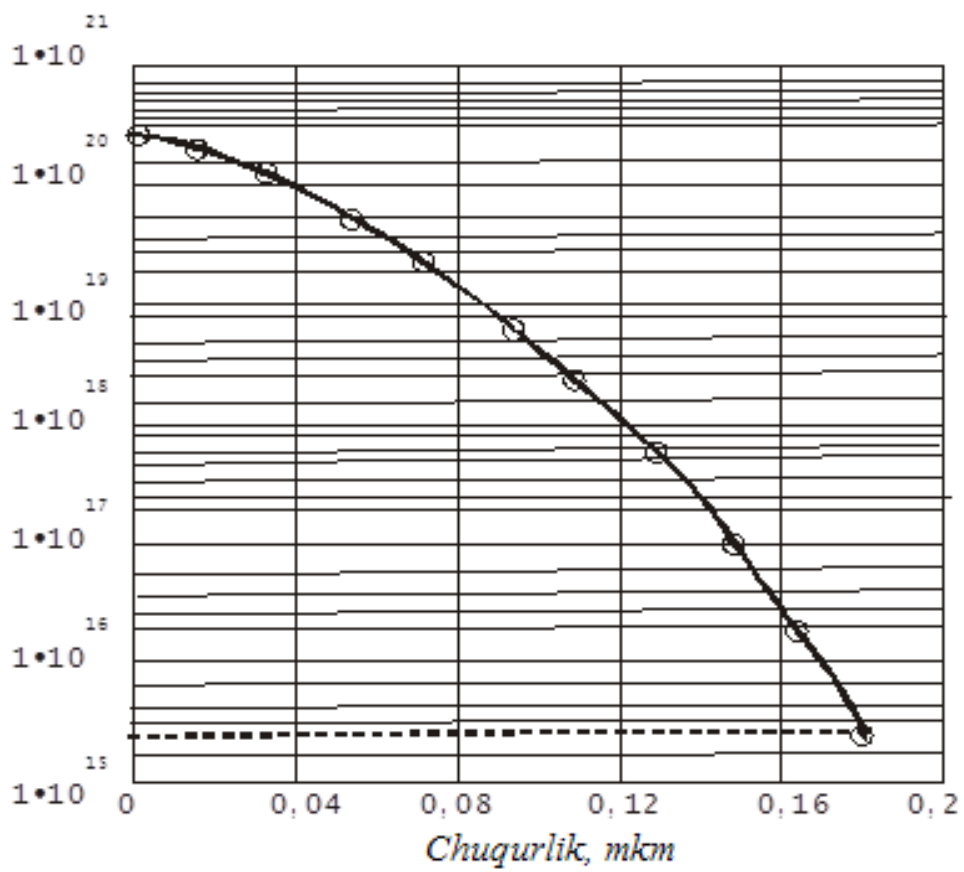
t, min	0	0,18	0,036	0,054	0,072
N, sm^{-3}	$3,2\cdot 10^{20}$	$2,09\cdot 10^{20}$	$1,18\cdot 10^{20}$	$5,68\cdot 10^{19}$	$2,31\cdot 10^{19}$
t, min	0,09	0,108	0,126	0,144	0,162
N, sm^{-3}	$7,87\cdot 10^{18}$	$2,2\cdot 10^{18}$	$5,31\cdot 10^{17}$	$1,03\cdot 10^{17}$	$1,67\cdot 10^{16}$
t, min	0,18				
N, sm^{-3}	$2,2\cdot 10^{15}$				

Haydab kiritishdagi borning taqsimot grafigi 2.6-rasmda tasvirlangan. t vaqt davomida kiritilgan kirishmalarning integral miqdori quyidagiga teng bo'ladi:

$$P_0=\frac{2N_s\sqrt{Dt}}{\sqrt{\pi}}=1,02\cdot 10^{15}\text{ sm}^{-2}.$$

2.5 Chekli kirishma manbasidan diffuziya

Planar texnologiyada diffuziya ikki bosqichda amalga oshiriladi. Birinchi bosqichda kiritilgan diffuzion sohani to'liq shakllantirish uchun kirishma qayta taqsimlantiriladi. Kirishmani to'zitish deb ataluvchi diffuziyaning ikkinchi bosqichi chekli (yoki cheklangan) kirishma manbasidan diffuziyaga mos keladi.



2.6-rasm.

Bu bosqichning modeli sifatida qalinligi Δh qatlamdan yarim chegaralangan jismga diffuziya xizmat qilishi mumkin. Faraz qilaylik, yarimcheksiz jism chegarasigatutashuvchi bu qatlamda bir tekis taqsimlangan N_s konsentrsiyali kirishma bor, jismning qolgan hamma $x > \Delta h$ qismida esa, kirishma konsentrsiyasi nolga teng. $x=0$ chegaradan kirishma oqimi mavjud emas deb ham hisoblaymiz. Bunday chegaralarni qaytaruvchi sirt deb atash qabul qilingan. Qaytaruvchi sirtga sirti ikki oksid kremniy qatlami bilan qoplangan kremniy misol bo'lishi mumkin. Bu holda boshlang'ich va chegaraviy shartlar quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$\left. \frac{\partial N(x, t)}{\partial x} \right|_{x=0} = 0 \quad t \geq 0, x=0 \text{ da}; \quad (2.11)$$

$$N(x, 0) = N_s \quad t = 0, 0 \leq x \leq \Delta h \text{ uchun}; \quad (2.12)$$

$$N(x, 0) = 0 \quad t = 0, x > \Delta h \text{ uchun.} \quad (2.13)$$

Oldingi holga nisbatan bunda diffuziya cheklangan diffuziant manbasidan kechadi. Bu $P_0 = N_s \Delta h$ miqdor ekanligini ko'rsatish mumkin, chunonchi u diffuziya jarayonida o'zgarmaydi, balki jism hajmi bo'yicha qayta taqsimlanadi. Agar $\Delta h \rightarrow 0$ da Δh qatlamdagi diffuziant miqdori R_0 o'zgarmaydi deb qaralsa (N_0 ning mos ravishda o'sishi hisobiga), unda (2.11)– (2.13) shartlarni hisobga olgan holda diffuziya tenglamasining (2.2) yechimini quyidagicha yozish mumkin:

$$N(x, t) = \frac{P_0}{\sqrt{\pi D t}} \exp\left(-\frac{x^2}{4 D t}\right). \quad (2.14)$$

Olingan ifoda (2.14) yavlyayetsya funksiyey rasp-redeleniya Gauss taqsimot funksiyasi bo'lib, cheksiz yupqa qatlamdan diffuziyadagi kirishmalarning taqsimotini ifodalaydi. 2.7- rasmda bu taqsimotaning egriliklari $\sqrt{D t}$ ning bir necha qiymatlari uchun keltirilgan. Shu yerda $t=0$ da $\Delta h = 1 \text{ mkm}$ hol uchun (2.12) shart grafik tarzda tasvirlangan.

Qo'yilgan shartlarni bajarish uchun, yuqorida qayd qilinganidek, birinchi bosqichda uncha katta bo'lmagan vaqt davomida dastlabki kirishma diffuziyasi (haydab kiritish) amalga oshiriladi. Natijada yarim o'tkazgichning sirtida juda yuqori

sirtiy konsentrasiyali yupqa diffuzion qatlam hosil bo'ladi, chunki (2.12) shart bajarilishi uchun, bu qatlamning butun haydab kiritilgan chuqurligi Δh bo'yicha konsentrasiya deyarli sirtiy konsentrasiyaga N_s teng bo'lishi kerak. Biroq, haydab kiritish vaqtini juda kamaytirish maqsadida va diffuziya jarayonini EHMda hisoblashni yengillashtirish uchun haydab kiritish qatlami chegarasida $x=\Delta h$ kirishmaning konsentrasiyasi $0,9N_s$ ga teng deb olinadi. Bu qatlamdagi konsentrasiyaning taqsimoti (2.4) ifoda bilan tavsiflanadi. Olingan qatlamni taxminan chesksiz yupqa qatlam sifatida qarash mumkin. Diffuziyaning ikkinchi bosqichi (to'zitish) yarim o'tkazgich plastinani oksidlovchi muhitda qizdirish yo'li bilan amalga oshiriladi. Hosil bo'lgan oksid plenka tashqaridan kirishmaning kelishiga va uning tashqariga bug'lanishidan saqlaydi. Bu esa, diffuziya jarayoni qaytaruvchi chegarali yarim chegaralangan jismda chegaralangan manbadan $P_0=N_s\Delta h$ yuz berayapti deb hisoblashga imkon beradi. Bunda atrof muhitdan kirishmaning kelishi mavjud emas va $x=0$ chegarada kirishmaning konsentrasiyasi vaqt o'tishi bilan kamayadi (2.7-rasmga qarang). (2.14) ifoda diffuziya yuz berayotgan qatlam qanchalik yupqa bo'lsa to'zitishdagi taqsimotni shunchalik aniqroq ifodalaydi, bu esa to'zitish vaqti ortishi bilan bajariladi, chunki real kirishma manbasi (haydab kiritishda yarim o'tkazgich sirti oldida hosil qilingan Δh o'lchamli chegaraviy qatlam) vaqt o'tishi bilan asta-sekin kamayib boradi.

2.6 To'zitishda diffuziyani hisoblash

Dastlabki ma'lumotlar: diffuziyalanuvchi kirishma – bor; taglikdagi donorlarning konsentrasiyasi $N_0=2,5\cdot 10^{15} \text{ sm}^{-3}$; to'zitish chuqurligi $x_r = 8,5\cdot 10^{-4} \text{ sm}$. ; to'zitish temperaturasi 1150°C .

Aniqlang: to'zitish vaqti t_2 ; kristall sirtidagi kirishmaning konsentrasiyasini; to'zitishdagi kirishmaning taqsimotini.

Hisoblash tartibi:

To'zitish temperaturasida $T_2=1150^\circ\text{C}$ diffuziya koeffitsiyentini D_2 aniqlaymiz. U $D_2=1\cdot 10^{-12} \text{ sm}^2/\text{s}$ ga teng.

To'zitishdagi kirishma taqsimotini quyidagi ifodadan aniqlash mumkin:

$$N_p(x, t) = \frac{P_0}{\sqrt{\pi D_2 t_2}} \exp\left(-\frac{x_p^2}{4(D_1 t_1 + D_2 t_2)}\right).$$

Bu yerda R_0 ni va $D_1 t_1$ ko'paytmani oldingi hisoblashdan olish va tenglamani $\sqrt{D_2 t_2}$ ga nisbatan yechish lozim. $N_p(x_p, t_2) = N_0$ ni qo'yamiz va logarifmlaymiz

$$\ln N_0 = \ln(P_0/\sqrt{\pi}) - \ln\sqrt{D_2 t_2} - x_p^2/4(D_1 t_1 + D_2 t_2)$$

Tenglikning hadlarini qayta gruppalab, quyidagi ifodani olamiz

$$\frac{x_p}{4(D_1 t_1 + D_2 t_2)} = \ln \frac{P_0}{N_0 \sqrt{\pi}} - \ln \sqrt{D_2 t_2},$$

Bu ifoda $\sqrt{D_2 t_2}$ bo'yicha transsendent tenglama hisoblanadi.

Chap tomoniga $F_1(\sqrt{D_1 t_1})$ ni, o'ng tomoniga $F_2(\sqrt{D_2 t_2})$ ni qo'yib, grafik tarzda 2.8-rasmda F_1 va F_2 funksiyalarning kesishish nuqtasini, ya'ni $F_1 = F_2$ bo'lgan nuqtani topamiz.

Bu tenglamani ketma-ket yaqinlashish metodi bilan ham yechish mumkin. Hisoblashlarning aniqligi uchinchi belgigacha bo'lishi kerak.

Natijada $\sqrt{D_2 t_2} = 1,574 \cdot 10^{-4}$. Bundan D_2 uchun $T_r = 1150$ °C da $t_2 = 2,48 \cdot 10^4 s = 6,88$ soat

Kristall sirtidagi kirishmaning konsentrasiyasi quyidagiga teng.

$$N_p(0, t_2) = \frac{P_0}{\sqrt{\pi D_2 t_2}} = 3,66 \cdot 10^{18} sm^{-3}$$

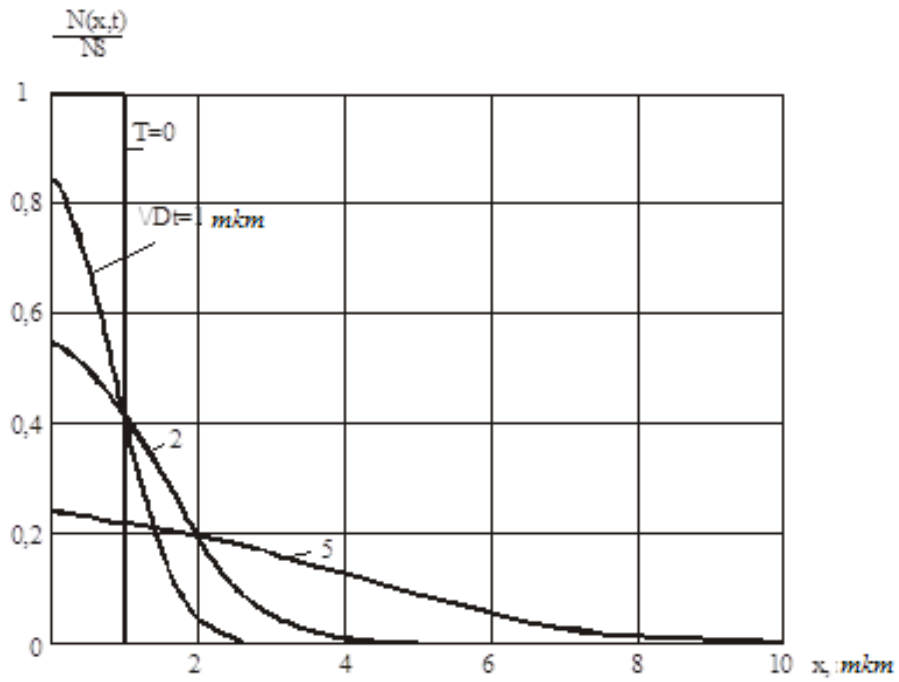
To'zitishdagi kirishmaning taqsimoti

$$N(x_p, t_2) = 3,66 \cdot 10^{18} \exp\left(-\frac{x_p^2}{1,77 \sqrt{10^{-12}} \cdot 2,48 \cdot 10^4}\right).$$

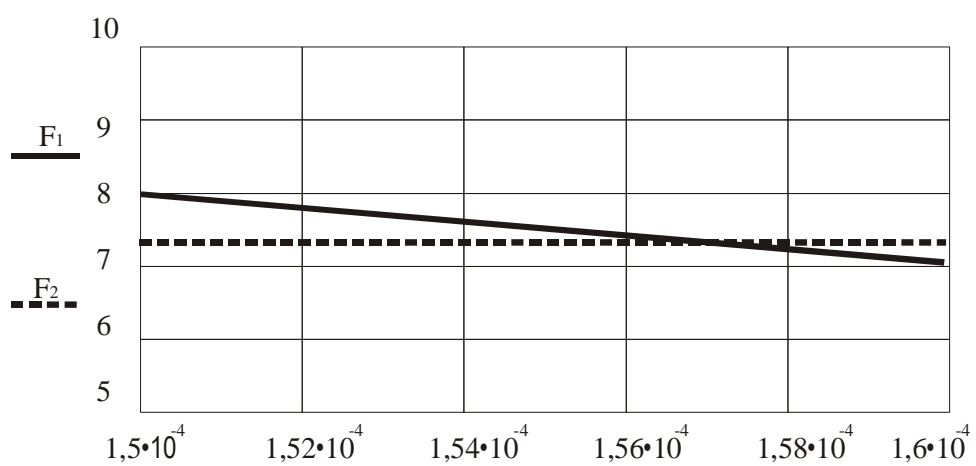
Hisoblashlarning natijalari 2.5-jadvalda keltirilgan

2.5-jadval

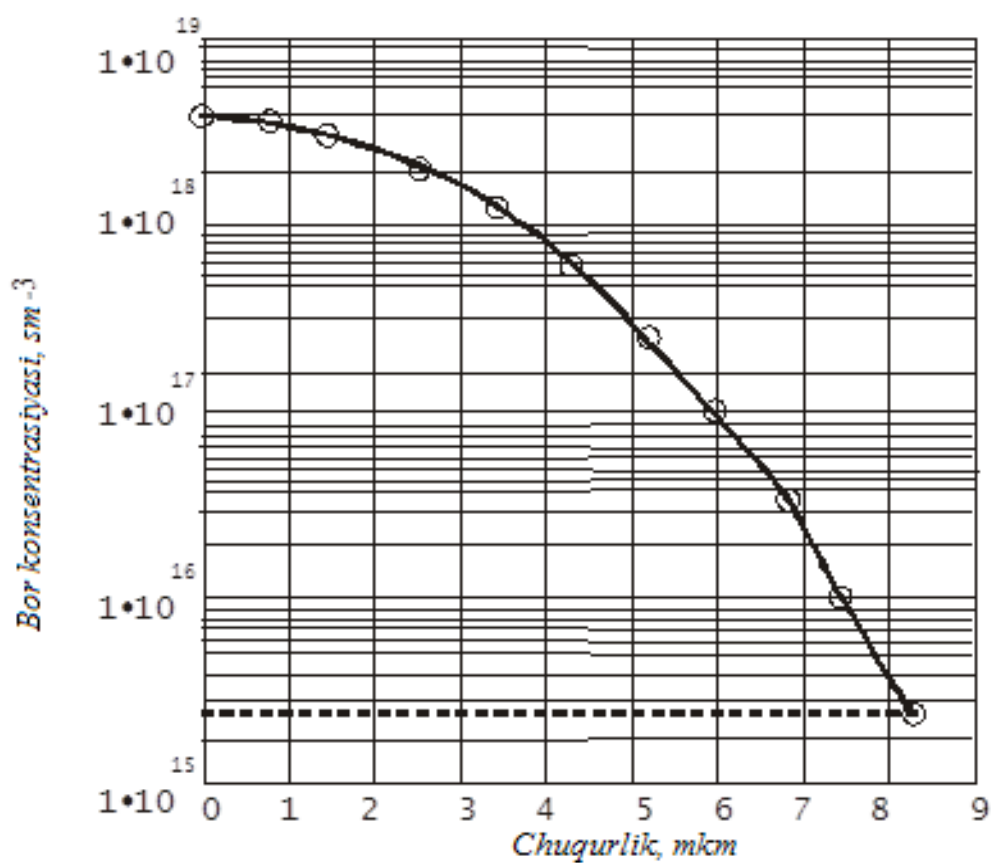
$t_r, \text{ mks}$	0	0,85	1,7	2,55	3,4
$N, \text{ sm}^{-3}$	$3,66 \cdot 10^{18}$	$3,4 \cdot 10^{18}$	$2,7 \cdot 10^{18}$	$1,9 \cdot 10^{18}$	$1,14 \cdot 10^{18}$
$t_p, \text{ mks}$	4,25	5,1	5,95	6,8	7,65
$N, \text{ sm}^{-3}$	$5,9 \cdot 10^{17}$	$2,10 \cdot 10^{17}$	$1,03 \cdot 10^{17}$	$3,45 \cdot 10^{16}$	$9,98 \cdot 10^{15}$
$t_p, \text{ mks}$	8,5				
$N, \text{ sm}^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{15}$				



2.7-rasm



2.8-rasm.



2.9-rasm Kirishmaning taqsimot egriligi.

Variantlar nomeri	r-choʻntak KMOY _a IMSning shakllanishi					KMOY _a IMS n-kanalli tranzistorlarda stok istoklarning shakllanishi			
	N ₀	Borni kiritish		Borni toʻzitish		Fosforni kiritish		Fosfora toʻzitish	
	·10 ¹⁵ cm ⁻³	T, ⁰ S	x ₃ , mkm	T _Z , ⁰ S	x _r , mkm	T _Z , ⁰ S	x ₃ , mkm	T _r , ⁰ S	x _r , mkm
1	1,1	1100	0,15	1180	5,6	1050	0,10	1150	0,9
2	1,3	1120	0,18	1160	5,2	1060	0,12	1140	0,8
3	2,1	1160	0,20	1190	7,4	1080	0,15	1170	1,0
4	1,5	1110	0,16	1160	5,4	1090	0,16	1160	1,1
5	2,0	1130	0,22	1170	8,2	1040	0,17	1180	1,2
6	1,8	1090	0,16	1000	8,4	1050	0,18	1150	1,4
7	2,4	1040	0,15	1150	4,6	1040	0,20	1170	1,3
8	3,2	1080	0,14	1160	5,2	1060	0,21	1160	1,1
9	1,6	1110	0,22	1170	6,4	1050	0,18	1180	0,9
10	2,2	1150	0,24	1180	7,4	1070	0,17	1150	0,8
11	3,4	1140	0,16	2000	8,1	1080	0,19	1160	1,2
12	4,0	1080	0,18	1190	7,5	1100	0,16	1170	1,4
13	3,8	1070	0,20	1180	7,2	1090	0,14	1180	0,9
14	4,8	1050	0,22	1170	6,8	1060	0,12	1170	1,0
15	3,6	1100	0,26	1180	7,4	1070	0,15	1150	1,2
16	4,2	1110	0,20	1160	6,4	1080	0,14	1160	0,9
17	5,2	1120	0,18	1150	5,4	1060	0,19	1170	0,9
18	4,8	1140	0,21	1180	6,7	1040	0,12	1160	1,2
19	4,6	1050	0,19	1190	7,5	1080	0,16	1170	1,4
20	5,0	1080	0,24	1170	7,2	1070	0,18	1150	1,0

III BOB YaRIM O'TKAZGICHLARGA KIRISHMALARNI DIFFUZIYALASHNING TEXNOLOGIK JARAYONLARI

3. 1 Diffuziya jarayonlarini o'tkazish metodikasi.

Diffuziya nisbatan cheklangan temperaturalar oralig'ida o'tkaziladi. Masalan kremniy uchun ikki bosqichli diffuziyada bu oraliq 1100 – 1250 °C yoki haydab kiritishni hisobga olganda 1000 – 1250 °C . 1000 °C dan past haroratda diffuziya koeffitsiyentlarining qiymati juda kichik va diffuziya chuqurligi hisobga olmas darajada. 1300 °C dan yuqori haroratlarda diffuzion qatlamlarning sifati talabga javob bermaydi. Diffuziantni yarim o'tkazgichga kiritish usuliga qarab diffuziya gaz, suyuq va qattiq fazadan diffuziyalarga ajratiladi.

a) Gaz fazasidan diffuziya

Agar diffuzion qurilmaning izolyasiyalangan ishchi hajmiga yarim o'tkazgichni joylashtirsak va kirishma elementini yuqori temperaturagacha qizdirsak, kirishma elementining sublimasiyasi yoki bug'lanishi evaziga tez orada ishchi hajmda uni bug'larining ma'lum parsial bosimi o'rnatiladi. Yetarli darajada tor temperaturalar oralig'ida bug' bosimi P bilan absolyut temperatura T orasidagi bog'lanish quyidagi tenglama bilan ifodalanadi.

$$R = R_0 \exp(-A/RT),$$

bu yerda A – bug'lanish issiqligi;

R – gaz doimiysi;

R_0 – ushbu sistemani xarakterlovchi konstanta.

Bug' molekullari butun sirt bo'ylab adsorbsiyalanadi, shu jumladan, plastina sirtida ham, yetarli darajada yuqori haroratlarda esa, plastinaning ichiga diffuziyalanadi. Agar yarim o'tkazgichga o'tgan molekullar o'rniga yangi molekullarning kelish tezligi diffuziya tezligiga teng yoki katta, bug'dagi atomlar konsentrasiyasi esa kichik bo'lsa, unda sirtiy konsentrasiyasi faqat kirishma bug'larining parsial bosimi bilan belgilanadi. Ideal holda barqaror konsentrasiya bosimga proporsional, shuning uchun sirtiy konsentrasiyani boshqarish bug' bosimini nazorat qilish orqali amalga oshiriladi.

b) Suyuq fazadan diffuziya

Katta parsial bosimlarda sirt qatlamidagi kirishmaning konsentrasiyasi shunday bo'lishi mumkinki, agar holat diagrammasi imkon bersa, unda suyuq faza shakllanadi. Amalda sirdagi ta'sirlashuv ikki tipga ajratiladi: qotishma hosil bo'lishi va ximiyoviy ta'sirlashuv. Kirishma elementlarini (masalan, alyuminiy, indiy va galliy) yarim o'tkazgichga o'tqazish vakuumda bug'latish yo'li bilan amalga oshirilishi mumkin. Quyidagi diffuziyada faza diagrammasiga asosan plastina sirtida suyuq qotishma hosil bo'ladi. Sirtiy konsentrasiya faqat kirishma-yarim o'tkazgich sistemasining termodinamik xossalari bilan belgilanib, berilgan diffuziya temperaturasida kirishmaning chegaraviy eruvchanligiga teng.

Sirdagi ikkinchi tip ta'sirlashuv donor yoki akseptor kirishmaning yarim o'tkazgich bilan ximiyoviy reaksiyasidan iborat. Odatda, oksiddan, masalan yarim o'tkazgich sirtida oldindan mavjud bo'lgan S_iO_2 dan va diffuziyada qo'llanilayotgan donor yoki akseptor oksididan tashkil topgan suyuq sirtiy faza bilan yarim o'tkazgich orasida ta'sirlashuv sodir bo'ladi. Reagentlovchi fazada ushlab turish temperaturasida donorlar bilan akseptor orasida muvozanat konsentrasiyasi o'rnatiladi. Bu fazadan yarim o'tkazgichga kirishmaning o'tish tezligi nihoyatda katta va kirishmaning taqsimoti doimiy sirtiy konsentrasiyalik manbadagi hamda qotishma mavjud bo'lgandagi hollarga mos keladi.

c) Qattiq fazadan diffuziya

Bu diffuziya yarim o'tkazgichning bir sohasidan kirishma qattiq qotishmasining berilgan tip kirishmalardan xoli bo'lgan shu yarim o'tkazgich sohasiga tutashib turgan boshqa sohasigadir.

Shunday qilib, qattiq fazadan diffuziya uchun diffuziyalanuvchi kirishma konsentrasiyasining dastlabki keskin farqlanishi xarakterlidir.

Kirishmaning dastlabki pog'onali taqsimoti epitaksial plenklar o'stirishda, qotirish paytida rekristallangan qatlam hosil qilish yo'li bilan yoki yarim o'tkazgichning yupqa sirt qatlamini dastlabki diffuziyalash yoki ionli-nur bilan legirlash yo'li bilan amalga oshiriladi. Bu struktura turlarini diffuziya amalga oshadigan legirlangan qatlamning qalinligiga qarab ajratishadi.

3.2 Diffuziya jarayonini amalga oshirish usullari

Hozirgi davrda diffuzion jarayonlarni amalga oshirishning texnologik usullari bir talay. Shuning uchun faqat kremniyda diffuzion qatlamlar yaratishning asosiy usullarini ko'rib chiqamiz.

a) Berk hajmda diffuziya

Kremniy plastinalari bir oz kirishma miqdori bilan birgalikda kvars ampulaga joylashtirilib, $10^{-4} - 10^{-5}$ mm sim. ust. bosimgacha so'rib olinadi va bekitib payvandlanadi. Ba'zida ampula toza inert gaz bilan to'ldiriladi. Shundan so'ng ampula gazsimon kirishmadan kremniyga diffuziya jarayoni amalga oshadigan ma'lum vaqt mobaynida yuqori temperaturada ushlab turiladi.

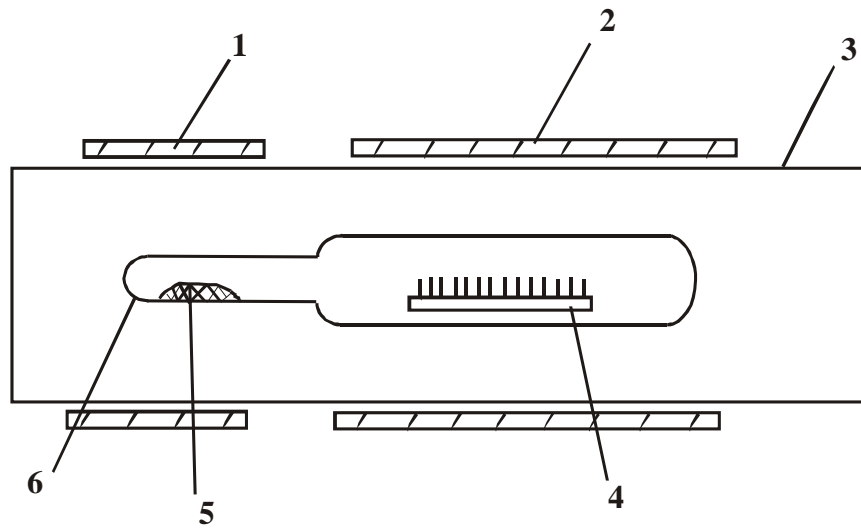
Kremniy sirtida o'rnatiladigan kirishma bug'larining bosimi sirtiy konsentrasiyaning miqdorini belgilaydi, shuning uchun gaz fazasidagi kirishma konsentrasiyasini o'zgartirib, kirishmaning sirtiy konsentrasiyasini keng ko'lamda o'zgartirish mumkin.

Diffuziya jarayonini bunday boshqarish imkoniyati ushbu usulning muhim afzalligidir. Bug' bosimini o'zgartirish uchun o'sigi bor berk evakuasiyalangan berk sistemadan iborat berk sistemani qo'llash mumkin. 3.1-rasmda berk hajmda diffuziyalash uchun mo'lajallangan qurilmaning sxemasi keltirilgan, bu yerda 1, 2 – trubkali pechlar; 3 – kvars truba; 4 – plastinalarli kvars kasseta; 5 – diffuzant; 6 – kvars ampula.

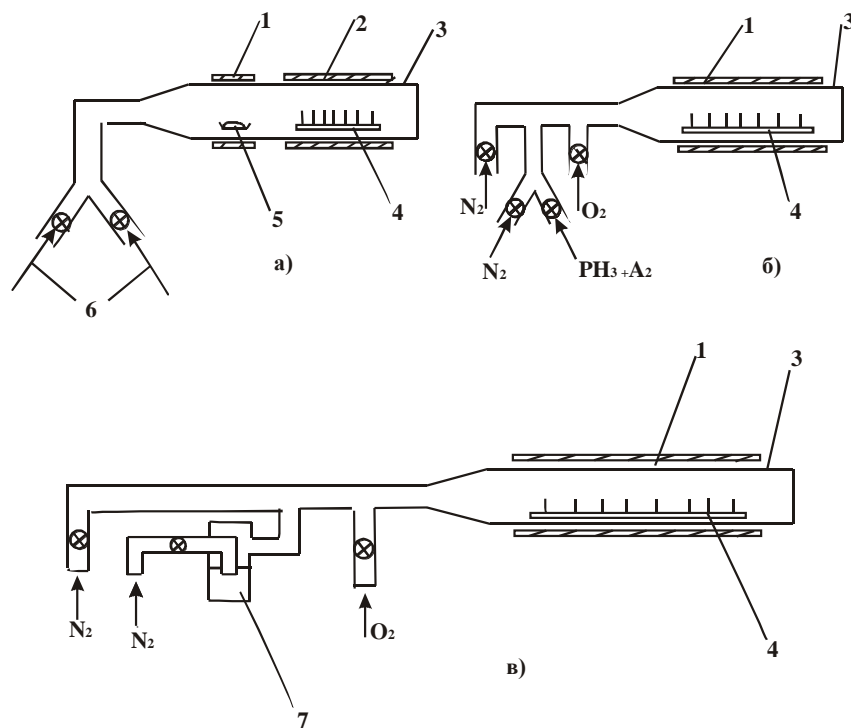
O'sigda joylashtirilgan kirishmaning temperaturasi o'zgartirish orqali diffuziant bug'ining bosimini roslash mumkin.

b) Gaz tashuvchi oqimida diffuziya (ochiq quvur usuli bo'yicha diffuziya)

Bu usul bo'yicha yuqori haroratda kremniy plastinalari kirishma bug'larini olib kelayotgan inert gaz oqimiga yo'liqtiriladi. Bunda diffuzant manbasi sifatida qattiq, suyuq va gazsimon moddalar qo'llanilishi mumkin. Qattiq, suyuq va gazsimon kirishma manbalari uchun gaz tashuvchi oqimida diffuziya uchun qurilmalarning sxemalari 3.2-rasmda keltirilgan, bu yerda 1,2 – trubali pechlar; 3 – kvars truba; 4 – kremniy plastinalarili kvars qayiqcha; 5 – qattiq kirishma manbasi; 6 – gaz oqimlari; 7 – suyuq kirishma manbali idish (bug'latgich).



3.1-rasm.



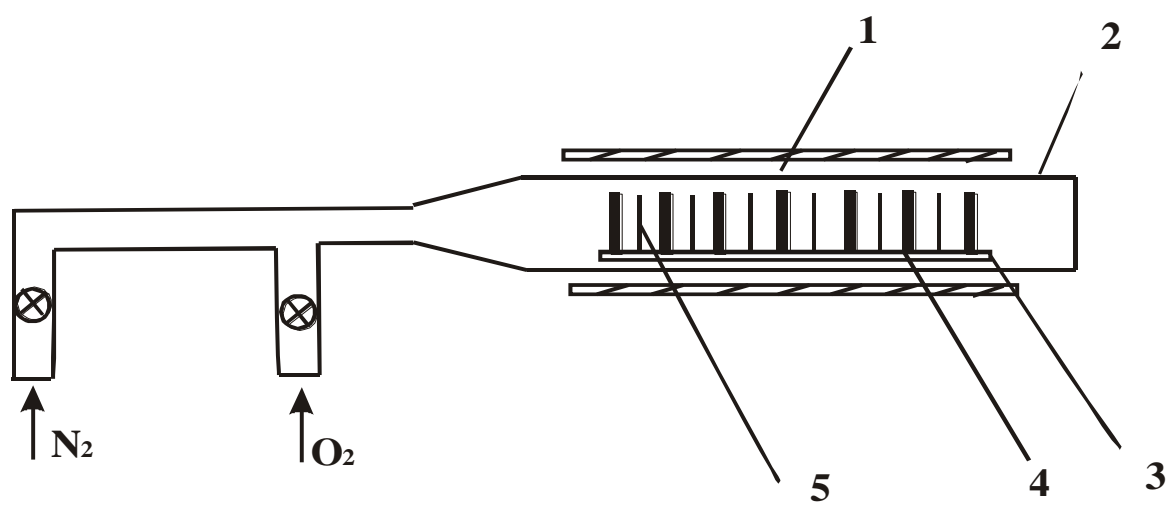
3.2-rasm.

Qattiq kirishma manbasidan foydalanilganda qurilma temperaturani mustaqil rostlash imkoni bo'lgan, ikkita doimiy temperatura zonasiga ega va temperaturani bir zonadan ikkinchi zonaga bir tekis monoton o'zgartirishni ta'minlaydigan ikkita trubali pech orqali o'tgan ochiq kvarts trubasidan iborat. Bir zonaga kremniy plastinalari joylashtiriladi, boshqasiga esa kirishma manbasi. Kirishma manbasi zonasidagi ishchi temperaturalar ko'lami $400 - 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ni, diffuziya zonasida $1000 - 1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ni tashkil etadi. Truba orqali gaz oqimi yuboriladi, uning asosiy funksiyasi kirishma manbasidan bug'lanayotgan molekulalarni diffuziya zonasiga uzatish hisoblanadi. Odatda eltuvchi gaz sifatida azot, argon, ba'zida kislorod yoki vodorod kirishmalariga ega gazlardan foydalaniladi. Diffuziya zonasida elementar kirishma va kremniy ikki oksidini hosil bo'lishiga olib keladigan ximiyoviy reaksiyalar kechadi. Reaksiya mahsulotlari, hamda SiO_2 qotishma kirishma oksidi bilan kremniy sirtida shishasimon qatlamlar hosil qilib, ular kirishma manbasiga aylanadi.

Ikki zonali pechlarda diffuziya qilishda kirishma sirtiy konsentrasiyasi manbaning temperaturasiga, uning suv bug'lari bilan to'yinganligiga, gaz eltuvchi tarkibiga, gaz eltuvchi oqimining tezligiga va xarakteriga bog'liq. Manbada suvning mavjudligi kirishma sirtiy konsentrasiyasining tarqoqligiga olib keladi, bu esa qattiq diffuziant manbalardan diffuziyaning asosiy kamchiligi hisoblanadi.

Gazsimon manbalar sifatida odatda kirishmalarning gidridlari, masalan fosfin RN_2 , diboran V_2N_6 , arsin AsH_3 qo'llaniladi. Fosfindan diffuziyalashda eltuvchi gaz sifatida PH_3 , Ar va O_2 aralashmasidan foydalanish mumkin (3.2,b -rasm). Reaksiyon kameraning atmosferasida $440\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan yuqori temperaturalarda fosfinning parchalanishi va fosfor angidridi hosil bo'lishi amalga oshadi. Gazsimon manbalardan diffuziyaning afzalligi shundaki, bunda inert gazdagi gidridlar miqdorini o'zgartirish orqali kirishmaning sirtiy konsentrasiyasini keng ko'lamda o'zgartirish mumkin. Metodning kamchiligi-gazsimon manbalarning zaharliligi.

Suyuq manbalardan diffuziya (3.2,v -rasm) qattiq manbalardan diffuziyaga ko'ra afzalikka ega, chunki qurilma bitta yuqori temperaturali zonaga ega. Suyuq manbani bug'latish uchun uni $20 - 40\text{ }^{\circ}\text{S}$ temperatura oralig'ida ushlab turish kifoya. Eng keng



3.3-rasm

tatbiq etilayotganlar bor va fosfor galogenidlari, xususan, uch xlorli fosfor PCl_3 , fosfor xlor oksidi $POCl_3$ va uch bromli bor BBr_3 . Kvars trubaga gazning uch oqimi yo'naltiriladi: asosiy azota oqimi (yoki argon), dastlab suyuq manbadan o'tgan shu gazning sust oqimi va kislorodning sust oqimi. Kislorod kirishmaning oksidlari hosil bo'lishi uchun zarur. Suyuq manbalardan diffuziyaning kamchiligi shundaki, manbaning o'zi ham, reaksiya mahsulotlari ham zaharli moddalardir.

Integral mikrosxemalarni diametri 100 mm dan katta tagliklarda tayyorlash texnologiyasiga o'tilishi sababli plastinalar orasidagi gazodinamikaning buzilishi evaziga plastina diametri bo'yicha legirlangan qatlamlar elektrofizik parametralarining tarqoqligi kuchayib ketdi, bu esa yaroqli IMS lar chiqishining foizi pasayishiga olib keldi. Hozirgi vaqtda bu effektни bartaraf etish uchun qattiq planar manbalardan foydalanib bor va fosforni diffuziyalash jarayonlari ishlab chiqilgan. Qurilmaning sxemasi 2.3-rasmda tasvirlangan, bu yerda 1 – trubali pech; 2 – kvars truba; 3 – kvarsli qayiqcha; 4 – bor yoki fosfor bilan to'yintirilgan g'ovakli kvars plastina; 5 – yarim o'tkazgich plastina.

Yarim o'tkazgich plastinalar diffuziant manbalari orasiga joylashtirilganligi tufayli sirtiy qarshilikning va $r-n$ o'tish joylashish chuqurligining tarqoqliklarini ancha kamaytirishga erishildi.

3. 3 Asosiy diffuzantlar

IMS tayyorlash texnologiyasida qattiq, suyuq va gazsimon diffuziantlar eng keng tadbiq etiladi.

Qattiq diffuzantlar: suvsiz fosforning besh oksidi yoki fosfor angidridi – R_2O_5 ; fosfor nitridi– P_3N_5 ; bir asosli fosfat ammoniy – $NH_4H_2PO_4$; ikki asosli fosfat ammoniy – $(NH_4)_2HPO_4$; borli angidrid – V_2O_3 .

Suyuq diffuzantlar: fosfor oksixloridi – $POCl_3$; fosfor uch xloridi– PCl_3 ; fosfor pentaftoridi– RF_5 ; uch bromli bor – BBr_3 .

Gazsimon diffuzantlar: fosfin – PH_3 ; uch xlorli bor – BCl_3 ; diboran – V_2N_6 .

XULOSA

1. Kirishmalarni yarim o'tkazgichga termik diffuziyalash jarayonlari nazariyasining asoslari o'rganildi;
2. Diffuziyaning texnologik maromlari parametrlarini hisoblash metodikasi o'zlashtirildi;
3. Texnologik qurilmalar o'rganildi va kremniyga kirishmalarni diffuziyalashning texnologik jarayoni o'zlashtirildi;
4. Kirishmalar taqsimotini aniqlash metodikasi o'zlashtirildi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Коледов Л.А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок. М.: Радио и связь, 1989. 400с.
2. Черняев В. М. Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров. М.: Радио и связь, 1987. 464с.
3. Парфенов О.Д. Технология микросхем. М.:Высшая школа, 1986. 320с.
4. Березин А.С., Мочалкина О.Р. Технология и конструи-рование интегральных микросхем. М.:Радио и связь, 1983. 232с.
5. И.С. Технология СБИС в 2-х книгах. М.: Мир, 1986. 858с.
6. Новиков В. В. Теоретические основы микроэлектроники. М.: Высшая школа, 1972. 352с.
7. Павлов Л. П. Методы определения основных парамет-ров полупроводников. М.: Высшая школа , 1975. 206с.
8. Зи. С. Технология СБИС в 2-х книгах. М.: Мир, 1986. 453с.
9. Ферри Д. , Эйкерс Л. , Гринич Э. Технология ультра-больших интегральных схем. М.: Мир, 1991. 327с.
10. "Internet" ma'lumotlaridan (<http://mail.ru>; <http://ziyonet.uz/>)