

**O'ZBEKISTAN RESPUBLIKASI' JOQARI' HA'M WORTA
ARNAWLI' BILIM MINISTRILIGI**

**BERDAQ ATI'NDAG'I' QARAQALPAQ MA'MLEKETLIK
UNIVERSITETI**

Qol jazba huquqi'nda

UDK 53.548.55

Qurbanbaeva Gozzal Pulatovna

**CHOXRALSKIY HA'M TIGELSIZ ZONALI'Q BALQI'TI'W
USI'LLARI'NDA SI MONOKRISTALLARI'N WO'SIRIW
WO'ZGESHELIKLERIN IZERTLEW**

**5A-140204 « Kondensaciyalang'an wortali'qlar fizikasi' ha'm
materiyaltani'w»**

(tu'rleri boyi'nsha)

Magistr akademiya'li'q da'rejesin ali'w ushi'n jazi'lg'an dissertaciya

MAK da jaqlawg'a ruxsat
Magistratura bo'limi basli'g'i':
_____ doc. A.Gulimov

Kafedra basli'g'i' _____ f.-m.i.k. J.Akimova

Ilimiy basshi' _____ f.-m.i.k. J.Akimova

No'kis - 2015

Mazmuni'

Kirisiw	3
I BAP. Kristallizaciya zatti'n' fazali'q wo'zgeriwi haqqi'nda.	
§1.1. Qatti', suyi'q ha'm gaz ta'rizli hallardan kristallani'w	7
§1.2. Yeritindiler ha'm aralaspalardan kristallani'wi'	13
§1.3. Qatti' haldan kristallani'w yamasa polimorfli' wo'zgeriw joli' menen kristallani'w	20
§1.4. Kristallani'w energiyasi'. Kristallardi'n' payda boli'wi' (tuwi'li'wi') boyi'nsha eksperimental ko'rsetkishleri	23
II BAP. Kristallardi'n' o'siw teoriyasi'.	
§2.1. Uli'wma tu'sinikler	32
§2.2. Gibbstin' termodinamikaliq teoriyasi'	35
§2.3. Kristallardi'n' ten'salmaqli' formasi'ni'n' teoriyasi'	36
§2.4. Wo'siwdin' adsorbciyali'q teoriyasi' ha'm kristallardi'n' yeriwleri	39
§2.5. Wo'siwdin' diffuziyali'q teoriyasi' ha'm kristallardi'n' yeriwleri	41
§2.6. Kristallardi'n' wo'siwi ha'm yeriwinin' molekulyar-kinetikali'q teoriyalari'	46
III BAP. Eksperiment natijelerine wo'siriu usi'llari'ni'n' tasiri	
§3.1. Kristalldag'i' tigelsiz ha'm tigelli usi'llardi'n' wo'zgeshelikleri	48
§3.2. Basqa usi'llar menen sali'sti'ri'w	55
§3.3. Kremniy monokristallari'n wo'siriw waqti'nda payda bolatug'i'n defektler	67
Juwmaqlar	72
Paydalani'lg'an a'debiyatlar	73

Kirisiw

Jumi'sti'n' aktualli'g'i'. Arnawli' qa'siyetlerge iye yari'mo'tkizgishli materiallarg'a qi'zi'g'i'wshi'li'q turaqli' tu'rde wo'sip barmaqta. Choxralskiy metodi' – kristallardi' yeritindinin' u'lken ko'leminin' yerkin betinen joqari'g'a kristallani'w basi' menen berilgen strukturadag'i' qi'zdi'ri'wshi' kristallardi' ha'm kristallografiyali'q orientaciyani'n' yeritindinin' yerkin beti menen kontaktta boli'w joli' menen wo'siriw metodi' yesaplanadi'.

Kristallardi' wo'siriw ushi'n yeriw-kristallani'w temperaturalari'nda shi'damli' bolg'an elementler ha'm ximiyali'q birikpeler qollani'li'wi' mu'mkin. Bul usi'l monokristalli' kremniydi wo'siriwge ken' tu'rde qollani'ladi'.

Song'i' waqi'tlari' yari'mo'tkizgish Si monokristallari'n Choxralskiy ha'm tigelsiz zonali' balqi'ti'w usi'llari'nda wo'siriw wo'zgesheliklerin izertlew qi'zi'g'i'wshi'li'qti' artti'rmaqta. Sanatta qollani'w waqi'tlari'nda (1950 ji'ldan baslap) Choxralskiy metodi'ni'n' ha'r qi'yli' modifikaciyasi'n islep shi'qti'. Solay yetip, profillengen kristallardi' wo'siriw ushi'n Stepanov metodi' dep atali'wshi' Choxralskiy metodi'ni'n' modifikaciyasi' qollani'ladi'. Modifikaciya ko'birek sapfir ha'm kremniydi wo'siriwde qollani'ladi'.

Usi'ldi' polshali' ximik Yan Choxralskiy islep shi'g'i'p, da'slep wol metallardi'n' (qalayi', cink, qorg'asi'n) kristallani'w da'rejesin wo'lshe'w ushi'n qollandi'.

Choxralskiy wo'zinin' jan'ali'g'i'ni'n' ma'nisin nemeclerdin' "Zeitschrift fur Physikalische Chemie" jurnali'nda ja'riyalang'an "Metallardi'n' kristallani'w da'rejesin wo'lshe'wdin' jan'a usi'li'" statyasi'nda ayti'p wo'tti (1918) [1].

1950 ji'li' amerikani'n' Bell Labs Tul (Gordon K. Teal) ha'm Littl (J. B. Little) korporaciyasi'ni'n' xi'zmetkerleri Choxralskiy usi'li'n joqari' tazali'qtag'i' germaniy monokristallari'n wo'siriw ushi'n qollani'ladi', sol arqali' Choxralskiy usi'li'ni'n' sol waqi'tlari' tranzistorlardi' islep shi'g'ari'wda

tiykari'nan qollani'latug'i'n Yari'mo'tkizgishli kristallardi' sanatta islep shi'g'ari'wda Choxralskiy usi'li'ni'n' qollani'li'wi'na baslama saldi'.

Zonali'q yeritiw metodi' menen birinshi kremniy monokristallari' 1952-1953 ji'llari' Siemens ha'm Bell Labs kompaniyalari' ta'repinen ali'ndi' [2].

Zonali'q yeritiw metodi' menen birinshi kremniy monokristali' 1963 ji'li' Podolsk ximiya-metallurgiya zavodi'nda ali'ndi'. Tigelsiz zonali'q yeritiw metodi' menen sanaat boyi'nsha diametri 76 mm ge shekem bolg'an kremniydin' monokristallari' islep shi'g'ari'ldi'. Woni' tiykarg'i' shi'g'ari'wshi' Zaporozhe titan-magniy kombinati' boldi'.

2010 ji'lg'a du'nya ju'zinde tigelsiz zonali'q yeritiw metodi' menen diametri 150 mm ge shekem bolg'an kristallar islep shi'g'ari'ladi', bunda bunnanda u'lken diametrdegi kristallardi' islep shi'g'ari'w ha'dden ti's miynet ha'm resurs jumsali'wi' menen baylani'sli'.

Jumi'sti'n' maqseti ha'm wazi'ypalari': Yari'mo'tkizgish monokristallari'n wo'siriwdin' usi'llari'n u'yreniw. Choxralskiy xam tigelsiz zonali' balqi'ti'w usi'llari'nda Si monokristallari'n wo'siriw wo'zgesheliklerin u'yreniw ha'm kristall bo'lekshenin' qa'liplesiwine sariplang'an yeritindi ko'leminin'u'zliksiz tolti'ri'li'wi' esabi'nan o'siriw quri'lmasi'ni'n' islep shig'ariliwin asi'ri'wdi' u'yreniw.

Izertlew obekti ha'm predmeti. Choxralskiy ha'm tegelsiz usi'li'nda wo'**sirilgen Si elementleri**.Eriwshi tigeldi qollanatug'in Shoxralskiy usi'li' uzinli'g'I' boyi'nsha qosimtalardi'n' ten' wo'lsheqli bo'listiriliwin ha'm kristall kesimin yeritindinin' bo'leginen qosimtalardi'n' beriliwin qadag'alaydi.

Izertlew metodikasi ha'm usillari: Kristalldi wo'siriw yeritindinin' yerkin betinde boli'p o'tedi, tigel diywallari' menen shegaralanbaydi', sonli'qtan Shoxralskiy usi'li' menen ali'ng'an kristallardi' basqa tigellik usillar menen ali'ng'an kristallarg'a Sali'sti'radi'.

Izertlew na'tiyjelerinin' ilimiy jan'aliq da'rejesi: Tigelsiz zonaliq yeritiw ju'da' taza monokristallardi' aliw ushin qollani'ladi, bul qayta yeritiliwshi materialdi'n' basqa texnologiyaliq materiallar menen kontakti'ni'n' joqli'g'I' menen belgilengen. Yarimo'tkizgish sanaati ushin polikremniy sapasin tekseriwde shiyki zat sapasin islep shig'ariwdag'i qadag'alawdi wo'tkeriwde tigelsiz zonali'q yeritiwdi qollani'wdi tasti'yi'qlaydi'.

Izertlew na'tiyjelerinin' a'meliy a'hmiyeti ha'm paydalaniliwi: Aling'an yeritpeden qaytadan kristallar wo'sirilip, keyin yeritiledi ha'm gezeklesiwshi operaciylar sani'ni'n' wo'siwinde kristallardi'n' wo'siw tezligi pa'seyedi. "Qayta islewdi" bir bo'legi wo'siwshi kristall ta'repinen shi'g'ai'li'p jiberiletug'in yerimeytug'i'n qosimtalardan zatti wo'zin-wo'zi tazalaw retinde qaraydi.

Jumi'sti'n' du'zilisi ha'm qurami: Dissertaciya kirisiw, u'sh bap, juwmaq, paydalanilg'an a'debiyatlar dizimi, mazmuni, 21 su'wret, 2 tablica, 74 betten ibarat.

I – bapta kristallizatsiya zattin' fazaliq o'zgeriwi h'aqqında kristallda bolıp o'tetug'in qa'siyetlerdi a'debiyatlardı sholiw boyınsha tolıq jazg'an.

II – bapta u'lgilerdi o'siriw arqalı ta'jiriybeler o'tkeriwdi teoriyalıq u'yreniw. Kristallardıń ten'salmaqlı formasının' teoriyası, o'siwdin' adsorbtsiyalıq teoriyası h'a'm kristallardıń eriwleri, o'siwdin' diffuziyalıq teoriyası h'a'm kristallardıń o'siwi h'a'm eriwiniń molekulyar-kinetikalıq teoriyaları boyınsha mag'luwmatlar berilgen.

III – bapta aling'an na'tiyjelerdin' analizi keltirilgen. Kristalldag'ı tigelsiz h'a'm tigelli usıllardıń o'zgeshelikleri. Kremniy h'alında, zonaliq eritiw usılı menen aling'an quyılma, tazalıg'ı boyınsha a'dette Choxralskiy usılında aling'an sog'an uqsas quyılmadan artıqmash boladı, biraq zonaliq eritiw arqalı aling'an kristallar kishi diametrge iye, tayarlawda ju'da' joqarı o'zine tu'ser bah'ag'a iye, keyingi texnologiyalıq tsikller ushın arnalg'an legirlewshi h'a'm basqa qosimtalardıń basqasha bo'listiriliwine h'a'm saqlanıwına iye boladı. Choxralskiy ta'repinen o'tkerilgen ta'jiriybelerde, diametri bir millimetr

a'tirapındag'ı h'a'm uzınlıg'ı 150 sm bolg'an o'lsheıdegi monokristallar alındı. Tigelsiz zonalıq eritiw – tigel h'a'm basqa tigeldi qollanbaytug'ın, formal tu'rde zonalıq eritiwdin' bir tu'ri esaplanıwshı eritindinin' kishi ko'leminen kristallardı alıw metodı.

Izertlewdir' tiykarg'i' ma'seleleri ha'm boljawlar. Shoxralskiy usi'linda wo'sirilgen Si monokristali.

Jumistin' tiykarg'i na'tiyjelari: Tigelsiz zonalıq eritiw ju'da taza monokristallardı o'siriw ushin qollaniladi. O'siriw processi atmosferada o'tkerilip zonag'a energiyanin' beriliwi optikalıq nurlanıwdi fokuslaw arqalı alıp bariladi. Zonalıq eritiw arqalı aling'an kristallar kishi diametrge iye, tayarlawda ju'da joqari o'zine tu'ser bahag'a iye degen juwmaqqa keldi.

Juwmaq ha'm usi'ni'slardi'n' qisqasha uli'wmalasti'ri'lg'an ko'rnisi. Tigelsiz zonali'q yeritiw ju'da' taza monokristallardı' ali'w ushi'n qollani'ladi', bul qayta yeritiliwshi materialdi'n' basqa texnologiyali'q materiallar menen kontakti'ni'n' joqli'g'i' menen belgilengen. Choxralskiy usi'li'nda wo'sirilgen monokristallarda kislorod atomlari' zonali' yeritiw usi'llari'nda wo'sirilgen kremniy monokristallari'na qarag'anda ju'da' ko'p yekenligin ko'rsetedi.

I Bap. Kristallizatsiya zatti'n' fazali'q wo'zgeriwi haqqi'nda.

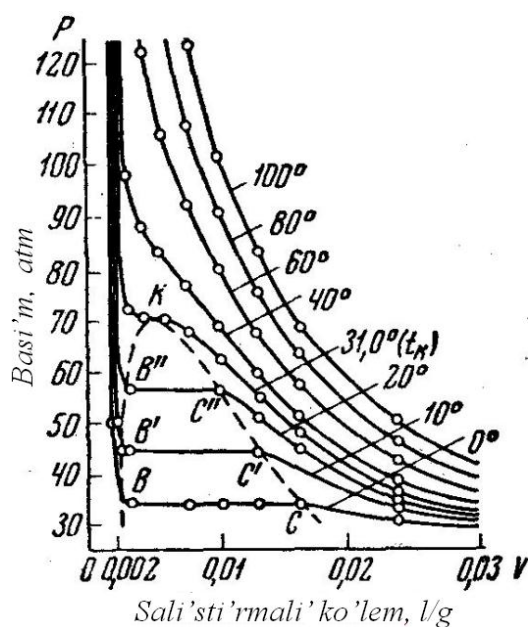
§ 1. Qatti', suyi'q ha'm gaz ta'rizli hallardan kristallani'w

Fazali'q wo'zgeriwlerdin' uli'wma jag'dayi'. Zatti'n' u'sh hali': gaz ta'rizli, suyi'q ha'm qatti' hallari'nan basqa ja'nede fazalar arali'q hali'ni'n' bar yekenligi menen de yesaplanadi'. Fazali'q diagrammada (1-su'wret) fazalar arali'q hallardi'n' oblasti' K kritikali'q noqattan joqari'da jatadi' wonda zat yen' kishi termodinamikali'q shi'damli'li'g'i' menen xarakterlenedi. Bul jerde hesh qanday basi'mda puwdi'n' suyi'qli'qqa kondensatsiyalani'wi' boli'p wo'tpeydi. SHi'damli'li'g'i' to'men bolg'an oblastta fazalar boladi', biraq birge jasay almaydi'. yeger teoriyali'q mi'sal bola almaytug'i'n bolsa, wonda a'meliy fazalar arali'q retinde suyi'q kristallar xi'zmet yetiwi mu'mkin. Ji'lli'li'q mug'dari'ni'n' Q sekiriwi ha'm ji'lli'li'q si'yi'mli'li'g'i'ni'n' sheksizlikke umti'li'wi' menen xarakterleniwshi yeki fazani'n' bo'liniw shegarasi'ni'n' kelip shi'g'i'wi' menen birge boli'p wo'tetug'i'n sa'ykes keliwshi termodinamikali'q sharayatlarda zatti'n' bir haldan yekinshi halg'a wo'zgeriwi bizge belgili, birinshi tu'rdegi fazali'q wo'tiwler dep ataladi'. yekinshi tu'rdegi fazali'q wo'tiwler bolsa, kerisinshe, bo'liniwdin' keskin shegarasi'ni'n' Q din' sekiriwinin' joqli'g'i' menen xarakterlenedi, bunda ji'lli'li'q si'yi'mli'li'g'i' aqi'rg'i' shama boli'p qaladi'. yekinshi tu'rdegi fazali'q wo'tiwler tek ayi'ri'm suyi'qli'q yamasa qatti' denenin' qa'siyetlerinin' sekirmeli wo'zgeriwin beredi. Solay yetip, kvazi kristall halda bolg'an suyi'qli'qlardi'n' bir qatar qa'siyetlerinin' (bet kerimi, si'ni'w ko'rsetkishi, ti'g'i'zli'g'i' ha'm t.b.) si'rtqi' sharayatlari'ni'n' a'stelik penen wo'zgeriwi sekirmelige wo'zgeriwi mu'mkin, bul wolardi'n' polimorfli'qlari' haqqi'nda ayti'p wo'tiwimizge mu'mkinshilik beredi. Atap aytqanda, suw ushi'n bul a'stelik penen wo'zgeriw sonday teren'ge ketedi, bunda woni' 0^0 qa ha'm $25-75^0C$ qa jaqi'n bolg'an temperaturalarda wo'zinin' ta'biyati' boyi'nsha yeki ha'r qi'yli' yeritkishler retinde ko'riw mu'mkin. Kristall denelerdegi yekinshi tu'rdegi fazali'q wo'tiw mi'sali' retinde magnetiklerde ferromagnitlik wo'zgeriwlerdin' ha'm segnoelektriklerde wo'z

yerkinshe polyarizaciyanin' boli'wi'nda temperaturali'q oblastti' shegaralap qoyi'wshi' Kyuri noqatlari' yesaplanadi'. Fazali'q wo'zgeriwlerdin' ha'r tu'rliliginin' barli'g'i'ni'n' ishinde bizdi ba'rinen de buri'n zatti'n' qa'legen haldan kristall halg'a (zatti'n' kristallani'wi') wo'tiwi qi'zi'qti'radi'.

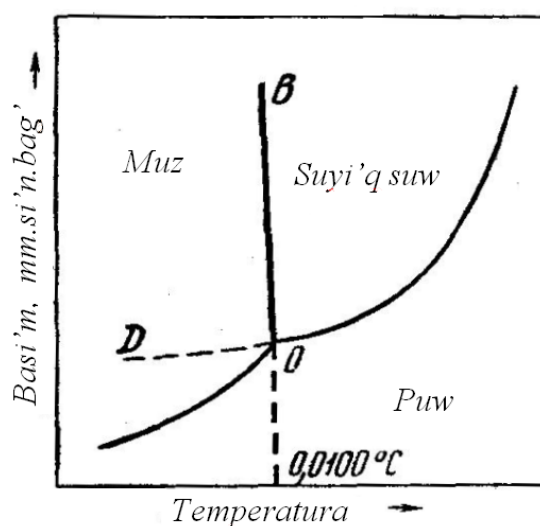
Qa'legen agregat halda boli'wshi' zattan monokristalldi' wo'siriw ushi'n u'sh sha'rt kerek: sistemani' metastabil halg'a wo'tkiziw, qi'zdi'ri'wshi' kristalldi'n' boli'wi' ha'm bag'darlandi'ri'lg'an ji'lli'li'q beri'w.

Metastabilitik hal – bul sistemag'a qi'zdi'ri'w (zatravka) kiritilgende – kristalli'q kritikali'q dep atali'wshi' ani'qlang'an wo'lshemnen kishi bolg'an waqi'tta shi'damli' boli'wi' toqtamaytug'i'n' asa toyi'ng'an aralaspalardi'n', qayta suwi'ti'lg'an yeritindilerdin' ha'm t.b. lardi'n' sali'sti'rmali' turaqli' (shi'damli') hali' yesaplanadi'. Zatravkada zatti'n' kristallani'wi' boli'p wo'tedi, yeger bunda turaqli' tu'rde ji'lli'li'qti'n' beriliwi ta'miynlengen bolsa. Mi'sali', asa suwi'ti'lg'an suwdan muzdi'n' kristallani'wi' suw oblasti'nda a'melge asi'ri'li'wi' mu'mkin (2-su'wret).



1-su'wret. Eksperiment

ko'rsetkishler boyi'nsha $P-V-CO_2$ nin' izotermalari'



2-su'wret.

Suw hali'ni'n' diagrammasi'.

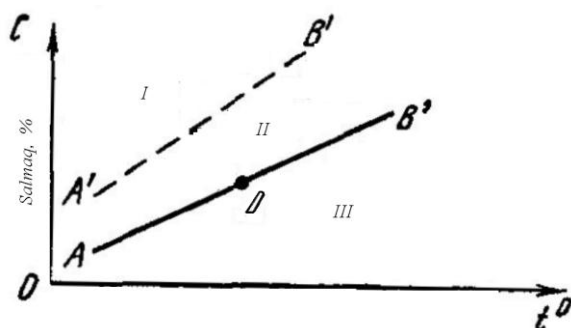
Metastabillik oblastti'n' uzi'nli'g'i' zatti'n' ta'biyati'na, pataslani'w da'rejesine ha'm basqa da sebeplerge baylani'sli' boladi'. Aralasti'ri'lg'an waqi'tta, yele wo'z betinshe kristallani'w baslanbag'an waqi'tta suwdi'n' mu'mkin bolg'an maksimal asa suwi'ti'li'wi' $0,4-0,5^{\circ}C$ tan aspaydi'; ti'ni'sh hali'nda jaylasqan suw $30^{\circ}C$ qa shekem asa suwi'ti'li'wi' mu'mkin. Ko'plegen organikali'q zatlar (timol, salol ha'm t.b) asa suwi'ti'li'wlardi' $20^{\circ}C$ tan ko'birek boli'wg'a mu'mkinshilik beredi. Metallar metastabillik oblasti'ni'n' wonsha u'lken bolmag'an qashi'qli'g'i' menen xarakterlenedi.

Metastabil haldan kristallani'w yeger yeki fazani'n' bo'liminin' yag'ni'y qi'zdi'ri'w kristali'ni'n' payda boli'wi' ushi'n aldi'n ala A jumi'sti' jumsasaq g'ana payda boli'wi' mu'mkin. Bunda α zarodi'shti'n' payda boli'w itimalli'g'i' A jumi'sti'n' eksponencialli'q baylani'sta boladi'.

$$\alpha = l \frac{A}{kT} \quad (1.1)$$

bul jerde, k - Bolcmanni'n' gaz turaqli'si', T - absolyut temperatura.

Suwdi'n' fazali'q diagrammasi'nan ko'rinip turg'ani'nday (2-su'wretti qaran') zarodi'shlardi'n' payda boli'w itimalli'g'i' OB iymeklikten shepke ji'li'sqan sayi'n wo'sedi. Awsiq ji'ynalg'an energiya shamasi' zarodi'shti'n' payda boli'wi'na jumsalg'an jumi'sqa ten' yamasa u'lken bolg'an waqi'tta baslanatug'i'n' suyi'qli'qti'n' metastabillik ha'm wo'z yerkinshe kristallani'w oblasti'ni'n' ani'q shegarasi' joq. Mi'sali', ortoxlornitrobenzoldi'n' kristallani'wi' ushi'n $A = 22000 \text{ kal/g.mol}$ jumsali'wi' kerek.



I – Absolyut turaqli' bolmag'an, labil oblast,

II – Sali'sti'rmali' turaqli' metastabil oblast,

III – Absolyut turaqli' stabil oblast (toy'nbag'an eritpeler oblasti')

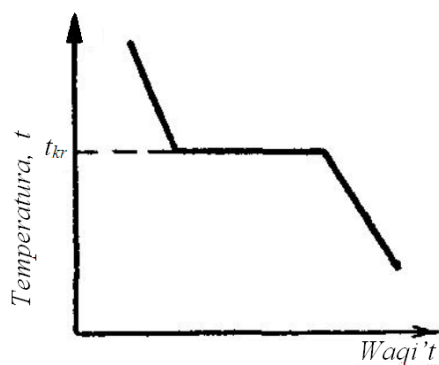
3-su'wret. yerigishliktin' a'piwayi' fazali'q diagrammasi'.

Kristallani'w, basqa qa'legen fazali'q wo'tiwler si'yaqli' qosi'mtalarda jen'ilirek a'melge asi'ri'ladi'. yeger sistemani' ayri'qsha jaqsi'lap qosi'mtalardan tazalasaq, wonda wol ko'p mug'darda asa suwi'ti'lg'an bola turi'p kristallani'wg'a uqi'pli'li'g'i'n joytadi'. Qayta suwi'ti'lg'an, aldi'n ala qi'zdi'ri'lg'an jaqsi'lap tazalang'an ha'm germetikali'q jaqtan jabi'q i'di'slarda jaylasti'ri'lg'an suyi'qli'qlardi' uslap turi'w boyi'nsha ko'plegen ta'jiriybeden $A'B'$ metabillik oblasti'ni'n' (3-su'wret) joqarg'i' shegarasi' shep ta'repke ko'birek ji'li'sti'ri'lg'an boli'wi' mu'mkin.

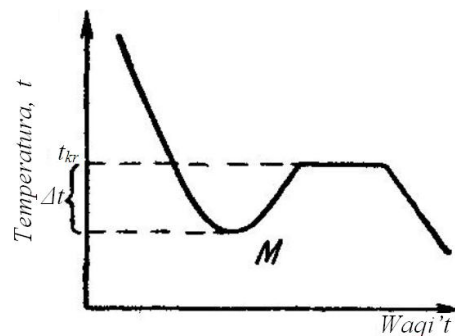
Kristallani'wdi'n' parametrlerinin' biri bul waqi't yesaplanadi'. Waqi't boyi'nsha ko'rilip ati'rg'an kristallani'w processlerin kinetikali'q dep ataladi'. Kinetikali'q iymek kristallani'wdi'n' u'sh tipi boladi'. Kinetikali'q iymekliktin' a'piwayi' tu'ri 4 su'wrette ko'rsetilgen. Ordinata ko'sherinde temperatura, abscissa ko'sherinde – waqi't aji'rati'lg'an, t_{∞} - kristallani'w temperaturasi'. Bul tu'rdin' iymekligi kristallani'w processi haqqi'ndag'i' ideal tu'siniklerdi ko'rsetedi. Haqi'yqati'nda kristallani'wdi'n' baslani'wi' a'dette t_{∞} na qarag'anda to'men temperaturalarda boli'p wo'tedi (5-su'wret). M dag'i' kristallani'w ji'lli'li'g'i' sistemani' qi'zdi'radi' ha'm wol t_{∞} kristalani'w temperaturasi'n qabi'l yetedi (Δt - qayta suwi'ti'li'w da'rejesi). Bir qansha joqari' suwi'ti'li'wlarda ha'm tez suwi'ti'w processinde temperaturani'n' ko'teriliwi bul da'rejege jetpewide mu'mkin. Bunday halda gu'zetilip ati'rg'an temperatura kristallani'wdi'n' haqi'yqi'y temperaturasi'na ten' bolmaydi' (6-su'wret).

Ayi'ri'm hallarda, kristallang'an zat yeritilgennen keyin ha'm wonnan keyingi suwi'ti'li'wdan keyin amorf halg'a wo'tedi (7-su'wret). bul kristallani'wg'a tosqi'nli'q yetiwshi u'lken jabi'sqaqli'qqa iye suyi'qli'qlarg'a ta'n yamasa bul suwi'ti'li'wlar tez wo'tkerilgende boli'p wo'tedi ha'm suyi'qli'q ha'reketshen' bolg'ani'na qaramastan, ha'tteki zatravka qatnasi'wi'nda da kristallani'p "u'lgermeydi" ha'm jabi'sqaq, amorf halg'a

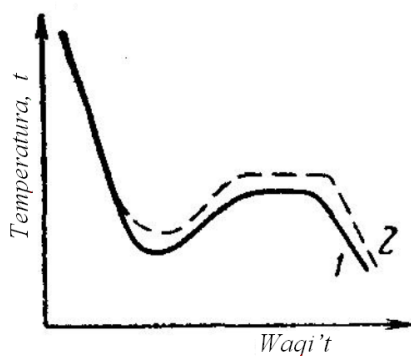
wo'tedi. Bunday zatlarg'a ta'n mi'sal retinde karamelge aylani'wshi' qant, shiyshege aylani'wshi' kvarc ha'm t.b. lar xi'zmet yetiwi mu'mkin.



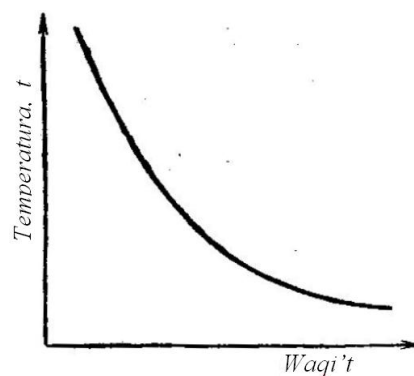
4-su'wret. Kristallani'wdi'n' kinetikali'q iymekliginin' birinshi tipi (a'piwayi') tipi



5-su'wret. Kristallani'wdi'n' kinetikali'q iymekliginin' yekinshi tipi.



6-su'wret. Kristallani'wdi'n' kinetikali'q iymekliginin' u'shinshi tipi (1), kinetikali'q iymekliktin' yekinshi tipi (2).



7-su'wret. Qati'w iymekligi

Turaqli' bolmag'an halda bolatug'i'n denelerge kirgiziletug'i'n amorf zatlardi' kristallaw ushi'n tayar kristallani'w woraylari'ni'n' qatnasi'wi'nda wolardi' jumsarti'lg'an halda uzaq dawamli' tu'rde uslap turi'w kerek. Principial tu'rde bunday sharayatlarda qa'legen barli'q amorf zat kristallandi'ri'li'wi' mu'mkin. Bunday qubi'li'slarg'a ko'p waqi't jumsaq halda bolatug'i'n aynani'n' (shiyshenin') "shiyshenge aylandi'ri'li'wi'", karameldin' "qantqa aylandi'ri'li'wi'", kauchukti'n' elastikligin jog'alti'wi' ha'm t.b. lar kiredi.

Yeriw temperaturasi' tek si'rtqi' basi'm turaqli' bolg'anda g'ana wo'zgermes boli'p qaladi'. Basi'm joqari'lag'anda yeriw temperaturasi' yamasa joqari'lawi', yamasa pa'seyiwi mu'mkin. yeriw temperaturasi'n bir neshe gradusqa wo'zgertiw ushi'n basi'mdi' mi'n' atmosferag'a wo'zgertiw kerek.

Sali'sti'rmali' ko'lem, ta'rtip boyi'nsha, zatti'n' suyi'q haldan kristall halg'a wo'tiw waqti'nda keskin wo'zgeriske ushi'raydi'. Bul wo'zgeristin' belgisi zatti'n' kristalli'q strukturasi'na baylani'sli' boladi'. Ko'plegen kristalli'q deneler kristallani'w waqti'nda ko'lemi kishireyedi, temir, qalayi', qorg'asi'n – ju'da' ku'shli kishireyedi. Suw, vismut, kremniy ha'm basqa zatlar kristallani'w waqti'nda ken'eyedi. Kristallani'w a'meliyati'nda ko'lemnin' wo'zgeriwinin' belgi ha'm shamasi' a'lbette, ju'da' a'hmiyetli.

§1.2. Yeritindiler ha'm aralaspalardan kristallani'wi'

Aralaspa dep bir zatti'n' yekinshi zatti'n' wortali'g'i'nda ten'dey bo'listirilgen sistemalg'a ayi'ri'ladi'. Uli'wma hallarda bul termin sistemani'n' qa'legen agregat hali'na kiriwi mu'mkin. Bularg'a gaz aralaspalari', suyi'q ha'm qatti' aralaspalar yamasa aralas kristallar kiredi. yeriw processi yerigen zatti'n' ha'm yeritkishtin' bo'leksheleri arasi'ndag'i' ximiyali'q ha'm fizikali'q xarakterlerdin' ha'r qi'yli' wo'z-ara ha'reketleri menen baylani'sqan.

Aralaspani' payda yetiwshi bo'leksheler atomlar, molekulalar yamasa ionlar boli'wi' mu'mkin. Usi'g'an muwapi'q ko'binshe haqi'yqi'y aralaspalar dep atali'wshi' atomli'q, molekulyarli'q, ionli'q aralaspalar (elektrolitler) g'a bo'ledi. yeger yerigen zat molekulyar (atomli'q, ionli'q) dispersiyali'q halda bolmasa, wonda kolloidli'q yeritpeler haqqi'nda ayti'ladi' ha'm aqi'ri'nda, irilew bolg'an bo'leksheler (agregatlar) mexanikali'q aralaspani' quraydi'.

Ha'zirgi waqi'tta suyi'qli'qlardi'n' du'zilisi haqqi'ndag'i' sorawlarda suyi'qli'qti' gazg'a qarag'anda kristallg'a jaqi'ni'raq dep qaraytug'i'n ko'z qaras u'stemirek boladi'. Bunnan suyi'qli'qti'n' wondag'i' wo'siwshi kristallarg'a qatnasi' boyi'nsha aktiv roli kelip shi'g'adi'. Buni'n' strukturalari' keyingi waqi'tta toli'q u'yrenilip ati'rg'an suw ha'm ayi'ri'm suw yeritpeleri mi'sali'nda ko'rsetiw mu'mkin. Suw molekulalari'n agregatlawda tiykarg'i' roldi energiyasi' (5-10 kkal / mol) uzi'nli'qqa baylani'sli' bolg'an protonlar ta'repinen a'melge asi'ri'li'wshi' vodorodli'q baylani'slar woynaydi'. Wol ionli'q ha'm kovalentlik (ju'zlegen kkal / mol) energiyag'a sali'sti'rg'anda wonsha u'lken yemes, biraq vander-vaalsov baylani'slari' energiyasi'na sali'sti'rg'anda bir qansha sezilerli boladi'.

Usi'g'an uqsas zatlardi'n' temperaturalari'ni'n' wo'zgeriwini'n tendenciyasi' boyi'nsha vodorodli'q baylani'ssi'z. Suw $t_{\text{ie}} \simeq -100^{\circ}\text{C}$ ha'm $t_{\text{ee}} \simeq -80^{\circ}\text{C}$ qa iye bolg'an bolar yedi. Vodorodli'q baylani'sti'n' bag'darlandi'ri'li'wi' woni' kovalentlik baylani's penen jaqi'nlasti'radi',

sonli'qtan vodorodli'q baylani'sqa iye kristallar arasi'nda ko'binshe jumsarti'lg'an kristallar ushi'rasadi'. Muzdi'n' strukturasi' da usi'nday strukturag'a iye. Wol haqqi'nda ayti'li'wi'nsha, wol tridimit strukturasi'na uqsas boli'p tek ayi'rmashi'li'g'i', bunda proton kislorodti'n' yeki atomi' arasi'nda terbeledi. Suwdi'n' molekulasi' to'rt jaqi'n qon'si'lar menen baylani'sqan, sol sebepli ko'p tu'rli du'zilisler payda boladi'.

Muz – suw wo'tiwinde ti'g'i'zli'qti'n' joqari'lawi' 10 % ti quraydi'. Joqari'law suw molekulasi'ni'n' bir bo'legi (10 % ti) 6 koordinaciyali'q sandi' ali'wi' yesabi'nan boli'p wo'tedi. Suwdi'n' bunday hali' turaqli' bolmaydi'. Ha'r tu'rli molekulalar arasi'ndag'i' wo'zgeriwshi qatnaslar (koordinaciyag'a qatnasi' boyi'nsha) suwdi'n' bir qatar uli'wma ni'zamli'qlarg'a keru bolg'an ha'diyselerin tu'sindiredi. Suw strukturasi'n almazdi'n' strukturasi' menende ten'lestiriwge boladi', wonda biraq atomni'n' hali' suwda baylani's tek jalg'i'z oscillografiyalawshi' proton ta'repinen a'melge asi'ri'latug'i'n bir waqi'tta kovalentlik elektronlardi'n' jubi' menen baylani'sqan boladi'.

Suwda yeritiw woni'n' strukturasi'na wo'zge zatlardi'n' ionlari'ni'n' kiritiliwine ali'p keledi, bul shamalari' ionni'n' wo'lshemlerine, woni'n' zaryadi'na, koncentraciyasi'na baylani'sli' bolg'an toli'q bir qatar effektlerge ali'p keledi.

Yeriw processi bul ximiyali'q process yesaplanadi', yag'ni'y, wol yeriwshi zatti'n' ha'm yeritkishtin' tuwri'dan-tuwri' wo'z-ara ta'sir yetisiwinde boli'p wo'tedi. Bul ba'rqulla ji'lli'li'q, ko'lemlik ha'm basqa da qubi'li'slar menen birge boli'p wo'tedi. Keyingilerin yeritpelerde yerigen zatti'n' ioni' (*Me*) ha'm yeritkishtin' qorshag'an ionlari'nan (molekulalari'nan) turi'wshi' gruppirovkalardi'n' (waqi't boyi'nsha u'lken yamasa kishi da'rejedegi turaqli' bolmag'an) kelip shi'g'i'wi' aqi'betinde dep yesaplaydi'. Gruppirovkani'n' yamasa komplekstin' bekkemligi suwdi'n' ion-kislorod baylani'si' (*Me-O*) ni'n' tipi boyi'nsha ani'qlanadi'. Ja'rdemshi podgruppalar hali'nda *Me-O* baylani's kovalentlik xarakterge iye yekenligi eksperimental tu'rde da'liyellenen. *Me-O* baylani'si'ni'n' kovalentlik da'rejesi (bekkemligi) ionni'n'

wo'zinin' individual qa'siyetlerinen basqa kerri elektrlik ma'nisine iye basqa ionlardi'n' koncentrasiyasi'na baylani'sli' boladi'. Siltili aralaspalarda gidrat komplekslerdegi baylani's joqari' koncentrasiyadagi' ionlarga' iye ha'm vodorodti'n', xlordi'n' ha'm basqani'n' kerri elektrligi joqari' ma'niste bolgan aralaspalardagi'g'a qarag'anda bekkemlirok. Solay yetip, wo'tkir natriydin' suv yeritpelerinde kremnezem $[SiO_4] \cdot \ddot{a}\ddot{a}$ kompleksi, tu'rinde cink $[ZnO_4] \cdot \ddot{a}\ddot{a}$ tu'rinde, marganec $[MnO_6] \cdot \ddot{a}\ddot{a}$ tu'rinde ha'm t.b. tu'rindagi komplekslerde ushi'rasadi'. Barli'q bul kompleksler alyumo-cinkosilikatlardi' ha'm $NaOH$ suv yeritpelerinde marganec silikatlari'n sintezlew waqti'nda tiykarg'i' "quri'li's materiali'" yesaplanadi'. Birinshi ma'rte N. V. Belov ta'repinen ceolit tu'rdegi fazalar ushi'n to'mendegiler ko'rsetildi, bunda alyumo-kremnekislorodli' tetraedrler wo'zinin' ximiyali'q inertiliginin' ku'shi jetkeninshe "o'siw woraylari'ni'n'" aktiv woraylari' a'tirapi'nda karkas quradi'. Bunday wo'siw woraylari'ni'n' rolin suv molekullari'ni'n' iri asociatsiyasi' yamasa natriyli, gidratlasti'ri'lg'an woraylar atqaradi'.

Jaqi'n ha'm uzaq solvatsiya (gidratsiya) haqqi'nda ayti'w mu'mkin. Jaqi'n dep – ion ta'repinen yoritkishtin' molekullari'ni'n' bekkem, turaqli' baylani'wi' tu'sinilse, uzaq – dep yoritkishtin' molekullari'ni'n' qalg'an bo'lekleri menen wo'tiwshi wo'zgerisler tu'siniledi (diffuziya, ti'g'i'zli'q ha'm basqa tezliklerdin' wo'zgeriwi). Wolardi' ionnan ju'da' jaqi'n jaylasqan suwdi'n' molekullari'ni'n' diffuziya tezliginin' shamasi' boyi'nsha ayi'ri'p aladi' (O. YA. Samaylov boyi'nsha).

Ion ha'm yoritkish arasi'ndagi' wo'z-ara ta'sir yetisiw tek jaqi'n jaylasqan molekullar menen sheklenbegen. yeritpede suwdi'n' barli'q massasi' ionlardi'n' ku'shli elektr mydani'nda qali'p qoyadi'. yeritpede payda bolgan gidrat kompleksler kristallang'an fazani'n' strukturali'q xarakteristikasi'n ani'qlaydi'.

Suyiqli'qti'n' sibotaktikali'q du'zilisi haqqi'ndagi' tu'sinik ju'da' ken' tarqalg'an. yeriw momentinde jalgi'z kristall pa'njere joq boli'p ketedi, biraq atomlardi'n' wo'z-ara jaylasi'wi' toli'q wo'z betinshe boli'p qalmaydi'. Solay

yetip, tek g'ana suw yemes, al basqa zatlarda yeriw waqti'nda bir bo'leginde sa'ykes keliwshi qatti' denenin' strukturasi'n ("jaqi'n" ta'rtip, biraq "uzaq" yemes) saqlap qaladi'. Ani'qlani'wi'nsha, suyi'qli'qti'n' ha'm qatti' denenin' strukturasi'ni'n' ayi'rmashi'li'g'i'na baylani'sli'. Bul strukturalar arasi'ndag'i' ayi'rmashi'li'q qansha kishi bolsa, suyi'qli'qti'n' asa suwi'ti'li'wg'a beyimliligi sonsha u'lken boladi'. Suw ushi'n sol na'rse ani'qlang'an, wonnan basqa, asa suwi'ti'li'w da'rejesi suyi'qli'qti'n' aldi'n'g'i' tariyxi'na baylani'sli' ha'm $\sim 30^{\circ}\text{C}$ qa shekemgi qi'zdi'ri'wg'a shekem asa suwi'ti'li'w aldi'n-ala qi'zdi'ri'wg'a proporcional boladi'. Keyingisi sol na'rse menen baylani'sli', bunda, suwda relaksaciya waqti' – berilgen sharayatlarda ten'salmaqli'q hali'ni'n' wornati'li'w waqti' u'lken boladi'. Termikali'q qayta islewde ten'salmaqli'q – jaqi'n ta'rtip buzi'ladi', keyin tek a'stelik penen qayta tiklenedi.

Barli'q bul faktler ha'm tu'sinikler yeritpelerdi strukturali'q sistemalar si'yaqli' u'yreniwge ma'jbu'r yetedi. yeritpelerden kristallani'w ba'rinende buri'n bo'lekshelerdin' qayta toplani'wi' boli'p yesaplanadi'. Avtorlar yeritpeden kristallani'wdi' ta'riypley woti'ri'p, bir ta'repten degidrataciya processlerin (desolvitaciya), yekinshi ta'repten yeritpe bo'lekshelerinin' kristall bet penen wo'z-ara ta'sir yetisiw ("hu'jimge wo'tiw") processin ayi'ri'p ko'rsetedi. Qi'rdi'n' strukturasi' yeritpeden zatlardi'n' kristallani'wi'nda a'hmiyetke iye.

Yeritpeden kristallardi' wo'siriwde bizler ko'p komponentli sistemalar menen islesiwimizge tuwri' keledi. A'piwayi' halda (eki ta'repleme sistemada) bir komponent boli'p yeriytug'i'n kristall zat, al yekinshisi boli'p – yeritkish yesaplanadi'. Biraq a'meliyatta to'mendegiler menen yesaplasi'wg'a tuwri' keledi, yeritpelerde kristallani'w processine ha'm wo'siwshi kristall qa'siyetine sezilerli ta'sir ko'rsetetug'i'n ha'r tu'rdegi qosi'mtalar qatnasadi'. Bul qubi'li'sti' toli'q joq yetiw ju'da' quramali' ha'm jumi'sti' ko'p talap yetetug'i'n ma'sele boli'p yesaplanadi'. Uli'wma alg'anda, ideal monokristallardi' tabi'sli' wo'siriw jeterli da'rejedegi taza reaktivlerdi qolang'anda mu'mkin boladi'.

Yeritpeden kristallani'w processi yeritkish ta'repinen wonda yerigen zatti'n' awi'si'g'i'n beriwi aqi'betinde boladi'. Bunnan kelip shi'g'adi', kristallar tek asa toyi'ng'an yeritpelerden g'ana tu'sip qali'wi' mu'mkin.

Asa toyi'ni'wdi' keltirip shi'g'ari'w ushi'n yeritkishti ali'p taslaw (mi'sali', puwlandi'ri'w) yamasa temperaturani' wo'zgerti'w (to'menletiw yamasa joqari'lati'w) menen a'melge asi'ri'w mu'mkin. yeritkishti ali'p taslaw ushi'n bunda da yeritpege birinshisine qarag'anda yerigishlew bolg'an basqa qatti' kiritiw joli' menen a'melge asi'ri'w mu'mkin. Birinshi yerigen zatti' sho'ktiriw yerigishtin' bir bo'legin yekinshi jan'adan yeritpege kiritilgen zat ta'repinen ali'p qoyi'wi' na'tiyjesi boladi'. Mi'sali', serouglerodta yeritpege parafindi qosi'w yeritpeden ku'kirt kristallari'ni'n' bo'linip shi'g'i'wi'n belgilep beredi. Ko'plegen organikali'q yemes duzlardi'n' toyi'ng'an suw yeritpesine spirtti kiritiw derlik ba'rqulla yeritpe massasi'nda yerigen duzlardi'n' mayda kristall bultlari'ni'n' payda boli'wi'na ali'p keledi. Ko'plegen zatlar ushi'n yerigishlik temperatura pa'seygende to'menleydi. Bul segnet duzi'nda $NaKC_4H_4O_6$, kvasqada $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, mi's kuporosi'nda $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, qantta (suw yeritpelerinde) ha'm t.b. larda wori'n alg'an. Bunday zatlardi'n' toyi'ng'an yeritpelerinin' temperaturasi'n tu'siriw joli' menen asa toyi'ng'an yetiwge, al wonnan keyin kristall fazag'a yeritpenin' ha'r bir litrinen zatti'n' belgili bir mug'dari'n wo'tkeriwge boladi'. Kerisinshe, temperaturani'n' joqari'lawi' menen yerigishligi pa'seyetug'i'n duzlarda ($Li_2SO_4 \cdot H_2O$ litiy sulfati', KCl ha'm basqalar) zatti'n' belgili mug'dari'n yeritpeni qi'zdi'ri'w arqali' bo'lip shi'g'ari'w mu'mkin (8-su'wret). ayti'li'wi'nsha birinshi gruppani'n' zatlari' yerigishliktin' won' temperaturali'q koefficientine iye (t.k.r), al yekinshi gruppani'n' zatlari' – teris yerigishliktin' temperaturali'q koefficientine iye boladi'. Ko'rinip turg'ani'nday, yerigishliktin' temperaturali'q koefficienti ju'risi nolge jaqi'n zatlar temperaturalaridi' wo'zgerti'w usi'li' menen monokristallardi' wo'siriwge jaramsi'z boladi'. Bul gruppani'n' zatlari'na mi'sal retinde, as duzi' $NaCl$ kiredi.

Tayarlani'wi' waqti'nda barli'q zarodi'shlari' toli'q joq yetilgen asa toyi'ng'an yeritpeler germetikali'q jaqtan jabi'q i'di'slarda belgisiz uzaq waqi't kristallanbastan saqlani'p tura aladi'. Biraq, wo'tiw waqti'nda yeritpede wo'z-o'zinen kristallani'w baslanatug'i'n ayi'ri'm sheklerde bar. Asa toyi'ni'wdi'n' yerisiw mu'mkin bolg'an da'rejesi ken' shegaralarda zattan zatqa qaray wo'zgerip baradi'.

3-su'wrette real yeritpelerdin' a'piwayi' fazali'q diagrammasi' keltirilgen. AV yerigishlik iymekliginen to'mende jaylasqan stabil oblastqa belgisiz waqi'tqa shekem bir fazali' boli'p qali'wi' mu'mkin bolg'an toyi'nbag'an yeritpeler sa'ykes keledi. Wolarda kristallar yeri'di. yeritpege kiritilgen kristallar bolsa, mi'sali', D noqati'na juwap beriwshi kristallar belgisiz uzaq waqi'tqa shekem wo'zgerissiz qali'wi' mu'mkin. Bul hal ha'reketshen' ten'salmaqli'q si'pati'nda ani'qlani'p, bunda kristalldi'n' wo'siw ha'm yeriw tezlikleri bir qi'yli' boladi'. Metastabil oblastta teoriyali'q jaqtan mu'mkin bolg'an kristallani'wdi'n' baslani'wi' derlik hesh qashan baqlanbaydi'. Biraq, metastabil oblastqa juwap beriwshi, yeritpege jaylasti'ri'lg'an kristall wo'sedi. Toyi'ni'w iymekligindegi yeritpenin' D noqati' qansha uzaqta bolsa, wol sonsha shi'damli' boladi'. Iymeklik, arti'nda labil oblast sozi'li'p jati'rg'an $A'B'$ qa jetiwi menen ju'da' tez kristallani'wdi'n' baslani'wi' ushi'n kishkene "soqqi'" ni'n' wo'zi jetkilikli boladi'.

Ju'da' ku'shli suwi'ti'wda yeritpenin' jabi'sqaqli'g'i' ku'shli wo'siwi mu'mkin ha'm usi' sebepli yerigen zatti'n' kristallani'w processinin' waqi'tsha toqtawi' wo'siwi mu'mkin. Uzi'n ha'm quramali' molekulalardan turi'wshi' zatlardi'n' yeritpesin ju'da' tez suwi'tqani'mi'zda kristallani'w bolmay, al shiyshe ta'rizli zat kelip shi'g'i'wshi' jabi'sqaq suyi'qli'q payda boladi'.

Puwlardan kristallani'w. Puw ta'rizli haldan bolg'an kristallani'wdi' duri's qi'ri' shi'g'ari'lg'an yamasa ju'da' taza kristallardi' ali'w ushi'n qollani'w mu'mkin. Bul usi'l qatti' haldan puw ta'rizli halg'a ha'm kerisinshe suyi'q fazani' aylani'p wo'tetug'i'n zatlar ushi'n ayri'qsha jaramli'. Bularg'a "qurg'aq muz" (CO_2), iod naftalin, ayi'ri'm sharayatlarda a'dettegi muz ha'm ko'plegen

basqa zatlar kiredi. Puwlardan kristallardi' ali'w ushi'n berilgen basi'mda eksperiment temperaturasi' kristall zat wo'zinin' puwi' menen ten'salmaqli'qta yag'ni'y, sublimaciya temperaturasi'na joqari' bolatug'i'nday temperaturadan joqari' boli'wi' kerek. Bunday sharayatlar a'dettegi basi'mda qurg'aq muz ha'm iod ushi'n a'melge asi'ri'ladi'; sonli'qtan iod qi'zdi'ri'w waqti'nda puwg'a aydaladi', wonnan i'di'sti'n' suwi'q diywallari'nda kristalli'q iod sho'ktiriledi.

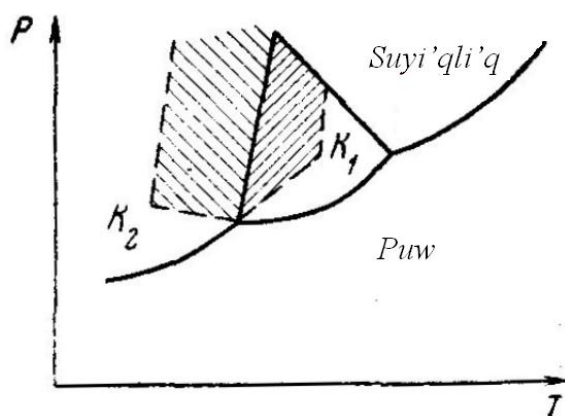
Ko'plegen elementler ha'm ximiyali'q birikpelerdin' kristallari'n a'piwayi' qurg'aq aydaw joli' menen ali'w mu'mkin. Ayi'ri'm zatlardi' tu'tikshenin' suwi'q bo'leginde, tigel qaqpag'i'nda ha'm t.b. jerlerde sho'ktirilgen kristallardi' baqlaw ushi'n puwlang'ang'a shekem tigelde shiyshe tu'tikshede qi'zdi'ri'w jetkilikli boladi'. yen' jaqsi'si', a'lbette, bul operaciyani' vakuumda islep ha'm ku'kirttin', mi'shyakti'n', surmali' jalti'rawi'qti'n', qorg'asi'n jalti'rag'i'ni'n', nashati'rdi'n', as duzi'ni'n' ha'm bir qatar basqa zatlardi'n' derlik ideal kristallari'n wo'siriw mu'mkin.

§ 1.3. Qatti' haldan kristallani'w yamasa polimorfli' wo'zgeriw joli' menen kristallani'w

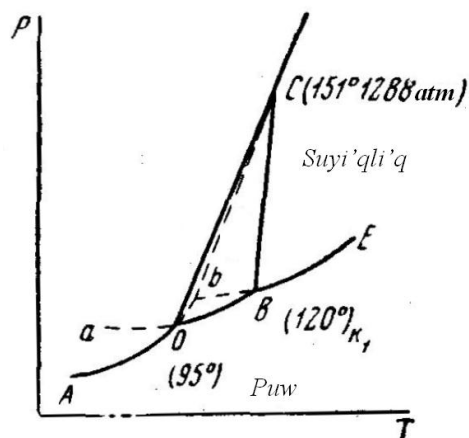
Polimorfizm dep zatlardi'n' bir neshe modifikაციyalarda kristallani'w uzi'nli'g'i'na ayti'ladi'. Uglerodti'n' (almaz ha'm grafit) diorfizmi, fosfordi'n' u'sh (sari', qi'zi'l ha'm qara) modifikაციyasi' ko'pshilikke belgili. Qalayi' yeki tu'rge iye: gu'mis-aq ha'm qorg'asi'n sur (qalayi' gumasi'). Muz – tog'i'z modifikაციyag'a iye boli'p, wolardan da'ryaniki yen' jumsarti'lg'an, molekulari' ha'r tu'rli taqlang'an yesaplanadi'. Kremniydin' dnuokisi tog'i'zdan aslam modifikაციyalarg'a iye.

Barli'q modifikაციyalar fazali'q diagrammada wo'zinin' qatnasi'w oblasti'na iye, yag'ni'y individual faza yesaplanadi'. Modifikაციyalar bir-birine wo'tiwi mu'mkin, bul jag'dayda qa'siyetlerdin' wo'zgeriwi sekirmeli iske asi'ri'ladi'.

Bir modifikაციyadan yekinshisine wo'zgeriw ko'p jag'i'nan qatti' haldan suyi'q halg'a yamasa kerisinshe wo'tiwlerge uqsas, biraq bir halda kristall pa'njerede bo'lekshelerdin' ta'rtiplesken jaylasi'wi' ta'rtipsizlew jaylasi'wg'a almasadi', al yekinshi halda – bir ken'isliktegi pa'njere basqasi'na wo'zgeredi.



8-su'wret. K_1 ha'm K_2 polimorfli' modifikაციyalardi'n' mu'mkin bolg'an birge qatnasi'wi'



9-su'wret. Ku'kirttin' hali'ni'n' diagrammasi'.

Zatti'n' bir modifikaciyan yekinshisine wo'tiwi yeger bul wo'tiw qi'zdi'ri'w waqti'nda wo'tetug'i'n bolsa a'dette ji'lli'li'qti'n' juti'li'wi' arqali', al yeger wo'tiw suwi'ti'w waqti'nda wo'tetug'i'n bolsa ji'lli'li'qti'n' bo'linip shi'g'i'wi' arqali' wo'tkeriledi. Massa birligine beriletug'i'n ji'lli'li'q mug'dari' wo'zgeriw ji'lli'li'g'i' dep ataladi'. Solay yetip, rombli' ku'kirtin' monosi'nali'g'a wo'tiwi 3,12 kal/g wo'zgeriw ji'lli'li'g'i'ni'n' bo'linip shi'g'ari'li'wi' menen birge wo'tedi. yeger bir modifikaciyan yekinshisine wo'tiw belgili bir temperaturada tuwri' ha'm ker bag'i'tta wo'tiwi mu'mkin bolsa, yag'ni'y, yeger wo'tiw processi qayti'wshan' bolsa, wonda bunday ha'r tu'rlilik enantiotropi' dep ataladi'. Wolarg'a wo'zgeriw noqati' $96,5^{\circ}\text{C}$ qa ten' bolg'an rombli'q ha'm monosi'nali' ku'kirt kiredi. Monotropi' formalar birinen yekinshisine keyinge qaytpaytug'i'n wo'tiw menen xarakterlenedi.

Belgili bir sharayatlarda, ha'r tu'rlilikler bir waqi'tta bar boli'p ha'm ha'tteki bir-biri menen tiyisip tursa, yag'ni'y, wo'zgeriwde irkilisler bolsa, bir turaqli' yemes fazani'n' bunday hali' metastabilli dep ataladi' (8-su'wret).

Ku'kirtin' hali' diagrammasi'nda (9-su'wret) EB iymekliginin' dawami' bolg'an Vv iymekligi metastabillik ten'salmaqli'li'qti'n' iymekligin bildiredi. CB_b oblasti' monosi'nali' kristall ku'kirt ha'm sol waqi'tta ku'kirtin' asa suwi'ti'lg'an yeritindisine juwap beredi. wo'zgeriwdegi irkilis ku'kirtin' yeki kristalli'q modifikaciyasi'nda da baqlanadi'. O_a kesim monosi'nali' ku'kirt ha'm puwdi'n' ten'salmaqli'g'i'ni'n' BO iymekliginin' dawami' boli'p yesaplanadi' ha'm turaqli' rombli'q ku'kirt maydani'nda jaylasadi'. AO iymekligi boylap ha'reketlene woti'ri'p, O noqati'nan wo'tip monosi'nali' ku'kirt maydani'na tu'siw mu'mkin. yeger bul waqi'tta rombli'q ku'kirtin' monosi'nali'g'a wo'zgeriwi baslanbasa, wonda iymeklik boylap ji'li'sa woti'ri'p, $\hat{a}$ noqati'na shekem jetip bari'w mu'mkin, bul jerde, metastabilli rombli' ku'kirt puw ha'm yeritindi menen ten'salmaqli'qta boladi'. $\hat{a}\tilde{N}$ iymekligi metastabilli rombli' ku'kirtin' yeriw iymekligi boli'p yesaplanadi'.

Polimorfizm qubi'li'si'n ayi'ri'm waqi'tlari' barli'q kristalli'q zatlarg'a ta'n bolg'an uli'wmali'q qubi'li's tu'rinde ko'rip shi'g'adi' (V. I. Vernadskiy

boyi'nsha). Polimorfli'q wo'zgeriwlerde zatti'n' qa'legen fazali'q wo'zgeriwlerindegidey, qosi'mtalar a'hmiyetli boladi'. Ta'rtip boyi'nsha, yeriwshi qosi'mtalar polimorfli' wo'zgeriwdi irkedi. Qalayi'da kerii effekt baqlanadi'. yeriwshi qosi'mtalar wo'tiwge sistemadag'i' bar bolg'an qosi'mtalarg'a iye "arali'q" ximiyali'q birikpelerdin' payda boli'w joli' menen ta'sir yetiw mu'mkin. Solay yetip, Bi ha'm Sn qalayi'ni'n' polimorfli' wo'zgeriwine tosqi'nli'q yetiwshi ximiyali'q aktiv zat boli'p shi'g'adi'. Principial tu'rde qosi'msha belgilengen qosi'mtani' kiritiw menen yerimeytug'i'n qosi'mtani'n' bar bolg'ani' sebepli kelip shi'g'atug'i'n polimorfli' wo'zgeriwlerdi stimullaw yamasa stabillew mu'mkin.

B. Ya. Lyubov qosi'mtani'n' polimorfli' wo'zgeriwge ta'sirin to'mendegishe ko'rip shi'g'adi'. Qatti' –suyi'q fazalar bo'liminin' uchastkalari'na tarti'ladi', usi'ni'n' na'tiyjesinde yeritpe beti azi'qlandi'ri'w materiali'na jarli'lani'p qaladi'. Bul wo'zgerisler noqatlari'ni'n' joqari'lawi'n keltirip shi'g'aradi', wonnan keyin polimorfli' modifikaciylardi'n' wo'z-ara orientaciyasi'da wo'zgeredi.

Polimorfli' wo'zgeriw zatti'n' maydalani'w da'rejesine baylani'sli' boli'wi' mu'mkin. Aq qalayi'ni'n' ku'l ren'ge, almaz ta'rizli – "ajurnoe" g'a wo'zgeriwi ko'lemnin' ken'eyiwi menen birge wo'tedi, sonli'qtan gewekliktin' joqari'lawi' bug'an qolayli'q tuwdi'radi'.

§ 1.4. Kristallani'w energiyasi'. Kristallardi'n' payda boli'wi'(tuwi'li'wi') boyi'nsha eksperimental ko'rsetkishleri

Ximiyali'q taza zatti'n' hali' T temperatura, P basi'm ha'm V sali'sti'rmali' ko'lem menen ani'qlanadi'. yeger bul shamalardi'n' yen' bolmag'anda birewi wo'zgerse, zat basqa halg'a wo'tedi. yeger zatti'n' bir haldan yekinshisine wo'tiw waqti'nda ko'rsetilgen u'sh shamani'n' birewi basqasi'ni'n' sheksiz kishi wo'zgeriwinde aqi'rg'i' wo'zgeriwge ushi'rasa, wonda zatti'n' yeki hali'da ha'r qi'yli' fazalarg'a tiyisli boladi'. Ishki su'ykeliw koefficienti 10^{13} g'a jaqi'n bolg'an ku'shli asa suwi'ti'lg'an suyi'qli'qti'n' amorf halg'a wo'tiwi bul qa'siyetlerdin' wo'zgeriw tezligi ha'r tu'rli temperaturali'q intervallarda ha'r qi'yli' boli'wi'na qaramastan woni'n' qa'siyetinin' a'ste aqi'ri'nli'q penen wo'zgeriwi birge wo'tedi. Usi'g'an tiykarlani'p amorfli' ha'm suyi'q haldi' ko'binshe bir fazag'a kiritedi.

T, P, V u'sh shamadan tek yekewi g'a'rezsiz. T, P, V shamalardi' baylani'sti'ri'wshi' ha'm yekewi boyi'nsha u'shinshisin ani'qlawg'a mu'mkinshilik beriwshi

$$\Phi(T, P, V) = 0 \quad (1.2)$$

Matematikali'q baylani'sli'li'q haldi'n' ten'lemesi dep ataladi'. Barli'q fazali'q wo'zgerislerdi qayti'p ali'wg'a mu'mkinshilik beriwshi hal ten'lemesinin' konkret matematikali'q formasi' ha'zirgi waqi'tqa shekem bir zat ushi'nda tabi'lmadi'. Biraq, ta'jiriybe mu'mkinshilik beredi, bunda ha'r bir zat ushi'n T, P, V arasi'ndag'i' baylani'sli'li'qti' ta'jiriybe sha'rtleri boyi'nsha ani'qlang'an sheklerde bul shamalardi' wo'lshevi tiykari'nda grafikali'q tu'rde du'ziwge boladi'. Bul shamalar arasi'ndag'i' baylani'sli'li'qti' wornati'wshi' grafikler yamasa modeller fazali'q diagrammalar dep ataladi'.

Hal ta'repinen , yag'ni'y, T, P, V shamalar menen ani'qlani'wshi' zatti'n' energiyasi'n ishki energiya dep yesaplaw qabi'l yetilgen:

$$U = f(T, P, V) \quad (1.3)$$

Real ma'niske iye ha'zirshe ta'jiriybe joli' menen ani'qlanbag'an energiyani'n' wo'zi yemes, al woni'n' bir haldan yekinshisine wo'tiw waqti'ndag'i' wo'zgeriwi yesaplanadi'. 1 g zatqa yesaplang'an bul shama aqi'rg'i'si' yamasa sheksiz kishi boli'wi'na baylani'sli' ΔU yamasa dU menen belgilenedi.

(1.3) ten'lemenini differenciallaw to'mendegini beredi:

$$dU = \frac{\partial U}{\partial T} dT + \frac{\partial u}{\partial p} dp + \frac{\partial U}{\partial V} dV \quad (1.4)$$

yamasa

$$dU = cdT + hdp + ldV \quad (1.5)$$

Solay yetip, T, P, V wo'zgergendegi zatti'n' ishki energiyasi'ni'n' wo'zgeriwin u'sh bo'lekke bo'liw mu'mkin:

$$dQ = cdT$$

$$dH = hdp$$

$$dL = ldV$$

dU (ΔU) din' kishi shamasida bul qosi'mtalar g'a'rezsiz ha'm temperatura, basi'm ha'm ko'lemnin' wo'zgeriw energiyalari' boladi'. Barli'q qosi'li'wshi'lar bir qi'yli' energetikali'q birliklerde beriliwi kerek.

Proporcionalli'q koefficienti

$$C = \frac{dQ}{dT},$$

yag'ni'y ji'lli'li'q si'yi'mli'li'g'i' shama menen 1 g zatti'n' $1^\circ C$ qa qi'zdi'ri'wda yamasa suwi'ti'wg'a jumsalg'an kishi kaloriyalar sani'na ten'.

C_v ha'm C_p ji'lli'li'q si'yi'mli'qlari', yag'ni'y turaqli' ko'lemde ha'm turaqli' basi'mda wo'lshengenler ayri'qsha qi'zi'g'i'wshi'li'qti' keltirip shi'g'aradi'. yeger zat turaqli' ($d_p = 0$) basi'mda jan'a halg'a wo'tetug'i'n bolsa, wonda (1.5) ten'leme to'mendegi tu'rge kiredi:

$$dU = C_p dT + ldV$$

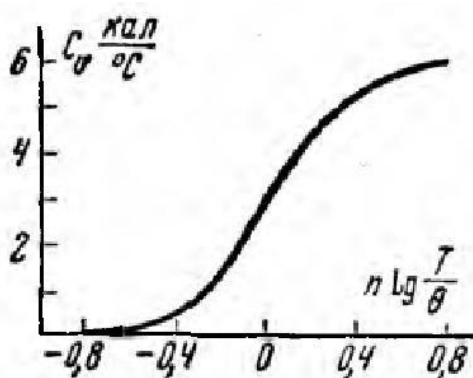
bunnan

$$C_p = \frac{dU - l dV}{dT} = \frac{dQ}{dT}.$$

A'meliyatta turaqli' atmosferali'q basi'mda kristalli'q zatlardi'n' ji'lli'li'q si'yi'mli'li'g'i'n wo'lsheude ko'binshe hdp shamani' yesapqa almaydi' ha'm dQ ha'm dU di birdey dep qaraydi'. Bul jag'dayda

$$C_p = \frac{dU}{dT} = \frac{dQ}{dT}$$

dep qabi'l yetiw mu'mkin. Ji'lli'li'q si'yi'mli'li'g'i'ni'n' temperaturadan g'a'rezliligini'n' (Lyuis ha'm Gibson boyi'nsha) uli'wma ni'zami' 10 su'wrette ko'rsetilgen. x ko'sheri boylap $n \lg \frac{T}{\theta}$ an'latpa jatqi'zi'ladi', bul jerde, n ha'm θ - berilgen zatti' xarakterlewshi konstantalar. Ko'plegen zatlar ushi'n $n=1$. θ shama temperaturani'n' xarakteristikasi' dep ataladi'.



10-su'wret.

Ji'lli'li'q si'yi'mli'li'g'i'ni'n' temperaturag'a g'a'rezliligini'n' uli'wma ni'zami'.

Yeger zat bir fazadan basqasi'na wo'tse, wonda zatti'n' ishki energiyasi' ha'm c, h, l shamalar keskin wo'zgeriske ushi'raydi', usi'ni'n' aqi'betinde jan'a faza ushi'n (1.4) ten'leme to'mendegi tu'rde boladi':

$$dU = c' dT + h' dp + l' dV.$$

Kristallani'w waqti'ndag'i' ji'lli'li'q si'yi'mli'li'g'i'ni'n' keskin wo'zgeriwi ba'rqulla ji'lli'li'qti'n' bo'lip shi'g'ari'li'wi' menen birge wo'tedi. Kristallani'w

vaqti'nda ba'rqulla energiya bo'linip shi'g'adi'; bul halda temperatura turaqli' boli'p qali'wi' mu'mkin. 1 g zatti'n' kristallani'w energiyasi' kristallani'w di'n' ji'lli'li'q effekti dep ataladi'. yeriw vaqti'nda energiya juti'ladi'.

S. Kromptonni'n' ko'rsetiwinshe, taza metallar ushi'n absolyut yeriw temperaturasi'na T bo'lingen A atomli'q salmaqqa r kristallani'w di'n' ji'lli'li'q effektin' ko'beytindisi shama menen 2,2 ge ten':

$$\frac{rA}{T} \approx 2,2$$

Yeriwden keyin associaciyalanbag'an molekulalarg'a iye suyi'qli'qti' payda yetiwshi M molekulyar awi'rli'qtag'i' ximiyali'q birikpeler ushi'n P. I. Valden uqsas bolg'an baylani'sli'li'qti' berdi:

$$\frac{rM}{T} \approx 13,5.$$

Bul qag'i'yadan ku'shli awi'tqi'w suyi'qli'qtag'i' associaciya da'rejesi haqqi'nda ayti'wg'a mu'mkinshilik beredi.

K. S. Kirxgof kristallani'w di'n' ji'lli'li'q effektin' temperaturag'a baylani'sli'li'g'i'n ani'g'i'raq yetip to'mendegishe wornatti'. Meyli zat asa suwi'ti'lg'an suyi'qli'q hali'nda kristallani'wg'a shekem T temperaturag'a, al kristallani'wdan keyin bolsa $T + dT$ temperaturag'a iye bolsi'n. Kristallani'w processin yeki tu'rli wo'tti dep woylaw mu'mkin: da'slep T temperaturada suyi'qli'qti'n' kristallani'wi' a'melge asi'ri'ladi' ha'm wonnan keyin kristall zat $T + dT$ temperaturag'a shekem, yamasa kerisinshe ali'p bari'ladi', da'slep suyi'qli'q qi'zdi'ri'ladi', al wonnan keyin woni' kristallaydi'. yeger processler turaqli' basi'mda boli'p wo'tse, wonda yeki jolda termodinamikani'n' birinshi ni'zami' boyi'nsha energiyani'n' birdey wo'zgeriwine ali'p baradi'. T temperaturadag'i' kristallani'w di'n' ji'lli'li'q effektin r dep belgilep, $T + dT$ temperaturada - $r + dr$ arqali'. Al suyi'qli'q ha'm kristall zatti'n' ji'lli'li'q si'yi'mli'li'g'i'n C'_p ha'm C_p dep belgiley woti'ri'p to'mendegini alami'z.

$$-r + C_p dT = C'_p dT = (r + dr)$$

bunnan

$$C_p' - C_p = \frac{dr}{dT} \quad (1.6)$$

Bul Kirgof formulasi' boli'p, wol yeger ni'zam belgili yamasa ji'lli'li'q si'yi'mli'li'g'i'ni'n' temperaturag'a baylani'sli'li'q grafigi bo'limi bolsa, temperaturani'n' T_0 dan T g'a shekem joqari'latqanda kristallani'wdi'n' ji'lli'li'q effektin yesaplawg'a mu'mkinshilik beretug'i'n formula yesaplanadi'. Kirxgof formulasi'n integraciyalaw to'mendegini beredi:

$$\int_{T_0}^T C_p' dT - \int_{T_0}^T C_p dT = r \int_{T_0}^T \quad (1.7)$$

Kirxgof formulasi' sonday-aq qa'legen fazali'q wo'zgeriwdin' ji'lli'li'q effektin yesaplawg'ada qollani'ladi'.

R. Klauzius ha'm B. Klapayron ta'repinen kristallani'wdi'n' ji'lli'li'q effektinin' 1 g taza zatti'n' hali'n ani'qlawsha barli'q parametrlerge toli'g'i'raq baylani'sli'li'g'i' ali'ndi'.

Zatti'n' 1 grammi' turaqli' temperaturada ha'm turaqli' basi'mda yeritiledi, wonnan keyin – adiabatikali'q qi'si'ladi', kristallanadi' ha'm yen' aqi'ri'nda, tez ha'r ta'repleme sozi'ladi'. Aqi'ri'nda zat da'slepki hali'na qaytadi', sonli'qtan energiyani'n' toli'q wo'zgeriwi nolge ten' boli'wi' tiyis:

$$O = r - (V' - V)p + \left(p + \frac{dp}{2}\right)dV - (r + dr) + (V' - V)(P + dp) - \left(P - \frac{dp}{2}\right)dV.$$

Bunnan qi'sqarti'li'wdan keyin ha'm sheksiz kishi yekinshi ta'rtipti yesapqa almastan to'mendegige iye bolami'z:

$$dr = (V' - V) dp$$

Bul ten'liktin' won' ta'repi aylanbali' processinin' "paydali'" jumi'si'n bildiredi. Termodinamikani'n' yekinshi ni'zami' boyi'nsha wol temperaturani'n' wo'zine wo'zgeriwindegi si'yaqli' ji'lli'li'q effektine kiredi.

$$\frac{(V' - V) dp}{r} = -\frac{dT}{T} \quad \text{bunnan} \quad r = -T (V' - V) \frac{dp}{dT} \quad (1.8)$$

Kirxgof formulasi' si'yaqli', Klauzius-Klapeyron formulasi' da zatti'n' bir fazadan yekinshisine wo'tiwidin' qa'legen processine qollani'ladi'.

Zatti'n' kristallani'w energiyasi'ni'n' a'hmiyetli xarakteristikasi' worni'nda zatti'n' wo'zgeriwi na'tiyjesinde ali'w mu'mkin bolg'an yen' u'lken jumi'sti' yesaplaw kerek. Meyli zat ishki ΔU energiyani'n' wo'zgeriwi, ji'lli'li'q effekti Q ha'm A jumi's penen birge wo'tiwshi qa'legen wo'zgeriske ushi'rasi'n. Bul zatti'n' wo'zgeriwi jan'a halg'a, jan'a fazag'a wo'tiw, elementlerge bo'liniwi ha'm t.b. boli'wi' mu'mkin.

Energiyani'n' saqlani'w ni'zami' boyi'nsha U ishki energiyani'n' wo'zgeriwi Q ji'lli'li'q effektinin' ha'm A jumi'sti'n' algebrali'q summasi'na ten' boli'wi' tiyis:

$$\Delta U = Q + A$$

Termodinamikani'n' yekinshi ni'zami' boyi'nsha

$$\frac{dA}{Q} = -\frac{dT}{T}$$

Yeki ten'lemeni de sali'sti'ri'p to'mendegini alami'z:

$$A = \Delta U + \frac{dA}{dT} T \quad (1.9)$$

Gibbs-Gelmgolc ten'lemesindegi A shama yen' qolayli' sharayatlarda zatti'n' hali'ni'n' wo'zgeriwi na'tiyjesinde ali'w mu'mkin bolg'an yen' u'lken jumi's yesaplanadi'. A'meliyatta Gibbs-Gelmgolc ten'lemesine kiriwshi barli'q shamalar wo'lshengen boli'wi' ushi'n turaqli' temperaturada ha'm soni'n' menen birdey waqi'tta turaqli' basi'm yamasa ko'lemde boli'p wo'tetug'i'n processlerdi yesapqa ali'wg'a tuwri' keledi.

Kristallani'wdi'n' yamasa uli'wma zatti'n' bir fazadan yekinshisine wo'tiwinin' yen' u'lken jumi'si' yeki fazani'n' puwi'ni'n' serpimliligi boyi'nsha ani'qlani'wi' mu'mkin. yesaplaw tiykari'na to'mendegi etaplardan aylanbali' process jatqi'zi'lg'an.

1. Basi'm P ha'm temperatura T bolg'anda taza zatti'n' bir molekulasini' puwlandi'rami'z. gaz ta'rizli fazani'n' ko'lemine sali'sti'rg'anda suyi'q fazani'n' ju'da' kishi ko'lemin yesapqa almag'an halda ha'm ken'eyiw jumi'si'

ko'lem u'lkeyiwini' basi'ng'a ko'beytindisine ten' yekenligin yesapqa ali'p process jumi'si' ushi'n $PV = -RT$ shamani' alami'z (ideal gazlar ushi'n ten'leme).

2. Puwdi' izotermikali'q tu'rde T ni'n' sonday temperaturasi'nda P basi'ng'a shekem qi'sami'z, bul waqi'tta gaz ko'lemi V dan V' qa shekem kishireydi. Process jumi'si' to'mendegige ten':

$$-\int_V^{V'} PdV = -\int_V^{V'} \frac{RT}{V} dV = -RT \int_V^{V'} \frac{dV}{V} = -RT \ln \frac{V'}{V}.$$

3. Puwdi' jan'a P' basi'mda kristall fazag'a kondesaciyalaymi'z. Gaz ta'rizli faza ko'lemine sali'sti'rg'anda kristalli'q fazani'n' ko'lemin yesapqa almastan $P'V' = RT$ jumi'sti' alami'z.

Kristallani'wdi'n' aqi'rg'i' jumi'si' u'sh etaptag'i' jumi'slardi'n' summasi'na ten', yag'ni'y

$$A = -RT \ln \frac{V'}{V} \quad (1.10)$$

Kristallardi'n' tuwi'li'wi'(payda boli'wi') boyi'nsha eksperimental ko'rsetkishleri. Krsitallardi'n' payda boli'wi' boyi'nsha eksperimental jumi'slardi'n' yen' ko'p sani' G. Gammang'a tiyisli.

Oni'n' ko'lem biriliginde asa suwi'ti'lg'an suyiqli'qti'n' ayi'ri'm temperaturasi'nda waqi't birliginde kelip shi'g'atug'i'n kristallani'w woraylari'ni'n' derlik turaqli' sani' menen ani'qlang'an zatti'n' kristallani'wdi'n' uqi'pli'li'g'i'n izertlewer ayri'qsha qi'zi'qli'. Kristallani'wdi'n' uqi'pli'li'g'i'n ani'qlaw to'mendegishe wo'tkerildi. Izertlenilip ati'rg'an organikali'q zatti'n' wonsha u'lken bolmag'an mug'dari' yoritindi ha'm kristallani'w woraylari'ni'n' payda boli'wi' ushi'n za'ru'r bolg'an belgili bir waqi'tta zat uslap turi'lg'an ekspoziciya temperaturasi'na shekem tez suwi'ti'ldi'. Bunnan keyin zat yeriw temperaturasi'na jaqi'n bolg'an joqari'raq temperaturalarda wo'sirildi. Bunday sharayatlarda jan'a woraylar payda bola almaydi'. 12 su'wrette abscissa ko'sheri boyi'nsha asa suwi'ti'li'w bo'lek ali'p qoyi'ladi', yag'ni'y, yeriw temperaturasi' (T_{ie}) ha'm ekspoziciya

temperaturasi' (T_{ye}) arasi'ndag'i' ayi'rma, al ordinata ko'sheri boylap belgili bir ko'lemde kristallani'w woraylari'ni'n' sani' (CHc) beriledi. yeriw temperaturasi'nda (0) kristallani'w di'n' payda bolg'an woraylari'ni'n' sani' nolge ten'. Asa suwi'ti'li'wlar joqari'lag'an sayi'n CHc belgili bir asa suwi'ti'li'wda maksimumg'a jetkenshe wo'sedi ha'm wonnan keyin ja'ne nolge shekem kemeyedi (A).

A noqat zatti'n' wo'z yerkinshe kristallani'w uqi'pli'li'g'i'na iye bola almaytug'i'n ha'm wonnan keyingi suwi'ti'li'wda shiyshe ta'rizli, amorfli' massag'a aylani'p qati'p qalatug'i'n asa suwi'ti'li'wlarg'a sa'ykes keledi.

O'zinin' ta'biyati' boyi'nsha kristallani'w a'melge asi'ri'latug'i'n yeki fazani'n' bo'lim beti (zatravka-o'siw worayi') ha'r tu'rli boli'wi' mu'mkin:

1) yerigen zatti'n' qatti' kristall shan'i' ko'birek effektli boladi';

2) jaqsi' wo'siw worayi' boli'p, yerigen zat penen qatti' yeritpeni beriw uqi'bi'na iye zatti'n' bo'lekshesi xi'zmet yetiwi mu'mkin: mi'sali', alyuminiy-kaliyli kvascalar ushi'n wo'siw worayi' xi'zmetin xromli' kvascani'n' kristalligi atqaradi';

3) zatravka (o'siw worayi') boli'p yerigen zatti'n' strukturasi'na jaqi'n bolg'an wo'simteni bere alatug'i'n zatti'n' kristalligi xi'zmet yetiwi mu'mkin:

4) wo'z betinde yerigen zatti'n' molekulalari'n sori'p ali'wg'a uqi'pli' bolg'an ko'plegen bo'leksheler wo'siw worayi' boli'wi' mu'mkin.

Biraq, wo'siw worayi' tek belgili bir du'ziliske yamasa bettin' ani'qlang'an qa'siyetlerine g'ana iye boli'p qalmastan, woni'n' wo'lshemleri de ayi'ri'm shegaralardan joqari' boli'wi' kerek. Kritikali'q wo'lshemlerge ha'm kritikali'q wo'lshemnen u'lken bolg'an wo'lshemge jetken bo'leksheler kristallani'w di'n' do'retiwshisi boladi'. Kritikali'q wo'lshemlerge jetpegen bo'leksheler termodinamikali'q jaqtan turaqli' bolmag'an boli'p qaladi': ji'lli'li'q fluktuaciyasi' na'tiyjesinde wolar suyi'q fazag'a qaytadi'. Zarodi'shti'n' (do'rewdin', payda boli'w di'n') kritikali'q wo'lshemi kristallani'w di'n' jasi'ri'n ji'lli'li'g'i' ha'm asa suwi'ti'li'w da'rejesi qansha u'lken bolsa, sonsha kishi

boladi' ha'm woni'n' sali'sti'rmali' betlik energiyasi' qansha kishi bolsa, wonda zarodi'shti'n' kritikali'q wo'lshe'mi sonsha kishi boladi':

$$r_k = \frac{2 \sigma T_0}{Q (T_0 - T)} \quad (1.11)$$

Bul jerde, r_k - zarodi'shti'n' kritikali'q wo'lshe'mi, σ - betlik energiya, Q - kristallani'wdi'n' jasi'ri'n' ji'lli'li'g'i', $(T_0 - T)$ - sistemani'n' asa suwi'ti'li'w da'rejesi.

Ayi'ri'm zatlardi'n' kristallari'ni'n' shama menen mikronni'n' woni'nshi' u'lesine jetken bo'leksheleri metastabil halda jaylasqan yeritpeni (eritindini) "O'zine tarti'w" g'a uqi'pli' boli'p qali'wi' mu'mkin.

II BAP

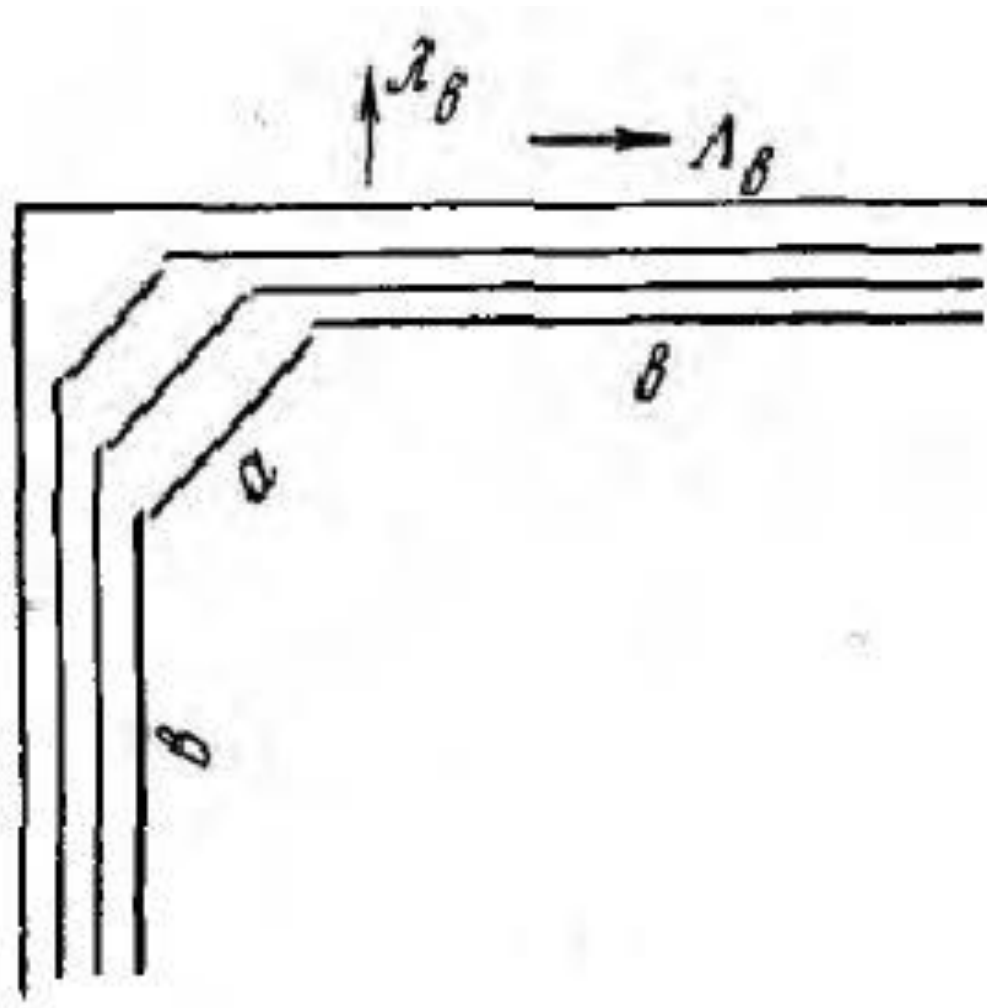
Kristallardi'n' wo'siw teoriyasi'

§ 2.1. Uli'wma tu'sinikler

Ayti'p wo'tilgenindey, ha'zirgi waqi'tta real kristalldi'n' payda boli'wi'ni'n' qanaatlandi'rarli' teoriyasi' yele joq. Bul ba'rinende buri'n, qurami'nda ko'plegen ha'r tu'rli defektler bar real kristallardi'n' wo'zinde jasi'ri'n qoyg'an u'lken quramali'li'qlardi'n' na'tiyjesi yesaplanadi'. Kristalani'w processinde do'retilip, defektler bul processke ta'sir yetiwge uqi'pli'. Sonli'qtan kristallani'w teoriyasi'n kristalli'q haldi'n' barli'q ayri'qshali'qlari'n ma'jbu'riy yesapqa alg'an halda fazali'q wo'tiwlerdin' teoriyasi'ni'n' jeke menshik an'lati'li'wi' retinde ko'rip shi'g'i'w kerek. Biraq wonday yesapqa ali'w ha'zirgi zaman teoriyalari'ni'n' hesh birinde a'melge asi'ri'lmag'an. Wolar barli'g'i' wo'siw sha'rtlerin jen'illestiriwshi boljawlardan kelip shi'g'i'p, kristallani'w a'meliyati'nda belgili bir, ko'binese kishi qollani'w oblasti'n ta'miynleydi. Ha'r bir teoriya kristallani'w processinin' tek g'ana bir ta'repin tu'sindiredi (adsorbciyali'q, diffuziyali'q, dislokaciya'q ha'm t. b.). birewler kristallani'wdi'n' berilgen mashqalasi'n sheshiwge tek termodinamikali'q poziciyadan jaqi'nlap, zatti'n' kristalli'q du'zilisinin' ayri'qshali'qlari'n yesapqa almaydi', basqalari' bolsa, bul bosli'qti' ayi'ri'm da'rejede tolti'ra woti'ri'p, kristalldi' ideal, buzi'lmag'an "pa'njere" tu'rinde ko'rip shi'g'adi'. Ha'zirgi waqi'ttag'i' dislokaciya'q teoriya defektlerdin' tek bir tipin – dislokaciyalardi' yesapqa aladi'. Itimal, kristallardi'n' wo'siwi menen baylani'sli' bolg'an barli'q qubi'li'slardi' yesapqa alatug'i'n kristallar wo'siwinin' ha'r ta'repleme qamti'wshi' "universal" teoriyasi'n waqi'tti'n' wo'tiwi menen du'ziledi dep u'mit yetiwge tiykar bar.

Rentgen nurlari' ashi'li'wi'nan biraz aldi'ni'raq Brave birinshi boli'p kristallardi'n' ha'r qi'yli' qi'rlari'ni'n' wo'siw tezliginin' atomlardi'n' taqlani'w ti'g'i'zli'g'i'na (Bravede pa'njere tarmaqlari') ha'r qi'yli' jalpaq torlarg'a, yag'ni'y qi'rlardi'n' retikulyar ti'g'i'zli'g'i'na baylani'sli'li'g'i' haqqi'ndag'i'

hallardi' ayti'p wo'tti. Woni'n' ko'rsetiwinshe, masimal ti'g'i'zli'qqa iye tegislikler wo'siw waqti'nda qalay aldi'g'a normallar boylap kishi tezlikler menen ji'li'satug'i'nli'g'i', tangencialli'q tu'rde wo'sip, tez wo'siwshi qi'rlardi' basi'p taslaytug'i'nli'g'i' ani'qlandi' (11-su'wret). solay yetip, kristall qi'ri'ni'n' wo'siwinin' normal ha'm tangencialli'q tezliklerin ayi'ri'p ali'w kerek. wo'siwdin' normal tezligi (λ) – bul qi'rdi'n' wo'zinin' betine perpendikulyar bag'i'tta wo'zine-o'zi parallel tu'rde ji'li'satug'i'n tezligi boli'p yesaplanadi'. Tangencialli'q tezlik (Λ) – bul qi'rdi'n' tegisliginde jati'wshi' bag'i'tlarda qi'rlardi'n' wo'sip ko'beytiw tezligi yesaplanadi'.



11-su'wret.

Tez wo'siwshi a qi'rdi'n' v qi'rlar menen si'nali'wi'

Bravenin' zamani'nda kristallardi'n' ishki strukturasi'n wornati'w ushi'n metodlar bolmadi', soni'n' ushi'n sol waqi'tlari' da woni'n' teoriyasi'n qollani'wda ko'plegen qi'yi'nshi'li'qlardi' ko'rsetiwshi mag'li'wmatlar boldi'.

Biraq, Brave teoriyasi'ni'n' tiykarg'i' qararlari' toli'q saqlani'p qali'ndi', atap aytqanda, pa'njerenin' ha'r qi'yli' tegisliklerinin' retikulyar ti'g'i'zli'qlari' kristalldi'n' aqi'rg'i' formasi'n ani'qlap beriwshi a'hmiyetli faktorlardi'n' biri boli'p yesaplanadi'.

Bir qansha keyinirek P. Kyuri kristallardi'n' wo'siw tezliginin' woni'n' betlik energiyasi'na baylani'sli'li'g'i' haqqi'ndag'i' ideyani' usi'ndi': kristall qi'ri'ni'n' betlik energiyasi' arti'wi' menen woni'n' wo'siw tezligi artadi' ha'm kersinshe. Bul ideya Bravenin' qi'rdi'n' betlik energiyasi'ni'n' woni'n' retikulyar ti'g'i'zli'g'i'na keri baylani'sli'li'g'i' haqqi'ndag'i' qarari' menen jaqsi' u'ylesedi.

§ 2.2. Gibbstin' termodinamikali'q teoriyasi'

Kristallar wo'siwinin' birinshi sanli' teoriyasi' Gibbs ta'repinen 1876 ji'li' termodinamikali'q tiykarda islenip shi'g'i'ldi'.

Oni'n' yeki tiykarg'i' hali'nan birinshisi to'mendegiden turadi', bunda wo'zinin' yeritpesi menen ten'salmaqli'qta bolatug'i'n kristall turaqli' ko'lemde woni'n' summali'q betlik energiyasi'ni'n' minimumi'na juwap beretug'i'n formag'a iye boli'wi' tiyis $\sum \sigma_i S_i = \min$ $V = Const$ (2.1) bolg'anda

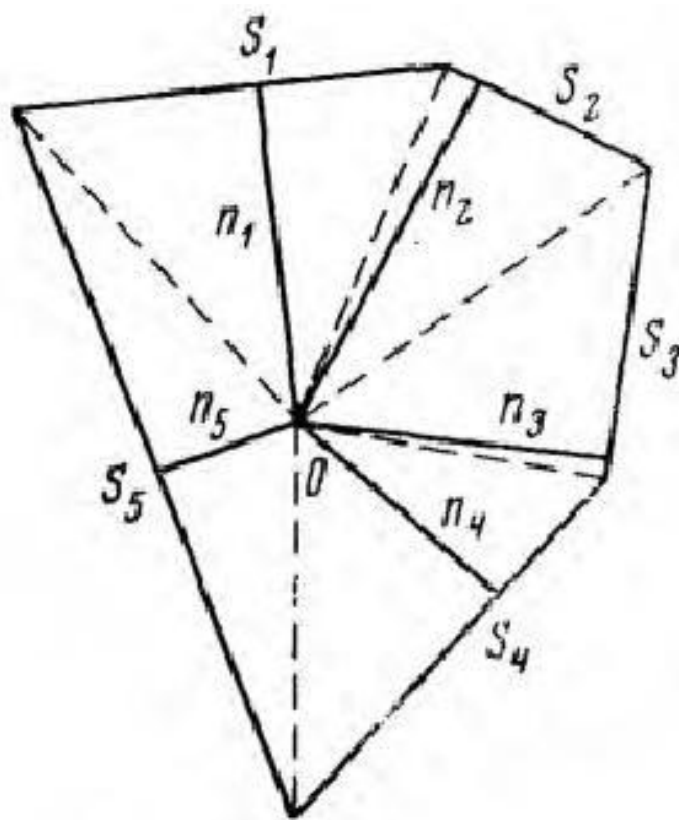
Bul hal to'mendegi qosi'mtalarg'a za'ru'r: kristalldi'n' arti'qsha betlik enegiyasi'ni'n' bosati'li'wi' (shi'g'ari'p taslaw) ushi'n, da'slep energetikali'q barerdi (tosqi'nli'qti') asi'p wo'tiw kerek, yag'ni'y, process keyin wo'z-o'zinen wo'tiwi ushi'n qosi'msha tu'rde energiyani'n' azg'ana mug'dari'n jumsaw kerek. Solay yetip, yeritpeden kristalldi'n' ten'salmaqli' formasi'n ali'wda, keyingisi da'wirli qi'zdi'ri'ladi'. Ji'lli'li'q energiya aldi'n-ala kristalldan "naduri's woti'rg'an" bo'lekshelerdi ali'p taslawg'a ja'rдемlesedi, keyin wo'z betinshe kristall betinin' basqa "energetikali'q" paydali'raq uchastkalari'na qosi'li'sadi'. Ha'r qi'yli' qi'rlar ushi'n σ di'n' ha'r qi'yli' ma'nislerinde kristall kishi ma'nistegi betlik energiyag'a iye qi'rlari' ko'p bolg'an formada boli'wi' kerek. (2.1) sha'rtti qanaatlandi'ratug'i'n qi'rlarg'a iye kristalldi' sol zatti'n' toyi'ng'an yeritpesine bati'rg'anda wol wo'zinin' formasi'n wo'zgartpesinen yeritpe menen ten'salmaqli'qta boli'wi' tiyis. yegerde kristallg'a (2.1.) sha'rtti qanaatlandi'rmaytug'i'n ma'jbu'riy formani' bersek, wol formasi'n wo'zghertedi: ha'tteki woni'n' σ di'n' u'lken ma'nisine iye "jasalma" qi'rlari' tez wo'se baslaydi', yag'ni'y, woraydan qashi'qlasadi' ha'm qi'si'li'wdan shi'g'adi'. Kristallardi'n' regeneraciyasi' qubi'li'si' usi'nnan ibarat, yag'ni'y, ani'qlang'an, bekkemirek kristallografiyali'q formalardi' qayta tiklewden ibarat.

Yekinshi hal – kristallardi'n' sekirmeli wo'siwi haqqi'ndag'i' Gibbs ideyasi' – wo'siwdin' barli'q zamanago'y teoriyalari' tiykari'nda jatadi'. Woni'n' ma'nisi, kristalldi'n' wo'siwi ha'mme waqi't yeki wo'lshemli zarodi'shlardi'n' kelip shi'g'i'wi'na ali'p keledi. yeki wo'lshemli zarodi'shlar bolsa, qi'rlarda tek g'ana jetkilikli da'rejedegi asa toyi'ni'wda kelip shi'g'adi'.

§2.3. Kristallardi'n' ten'salmaqli' formasi'ni'n' teoriyasi' (Vulf teoremasi')

1901 ji'li' G. V. Vulf Gibbs ha'm Kyuriden g'a'rezsiz tu'rde kapillyarli'q turaqli'lardi', ha'r qi'yli' qi'rlardi'n' retikulyarli'q ti'g'i'zli'g'i'n' wolarg'a kristall worayi'nan wo'tkizilgen normallar uzi'nli'qlari' menen yag'ni'y, qi'rdi'n' wo'siw tezligi menen baylani'sti'ri'wshi' formulalardi' shi'g'ardi'.

Kristalldi'n' ishinde kristall zarodi'shi' menen tuwri' keletug'i'n' O noqati'n' alami'z (12-su'wret) ha'm wonnan perpendikulyarlardi' qi'rlarg'a yamasa wolardi'n' dawami'na tu'siremiz. $n_1, n_2, n_3, \dots$ arqali' O dan ha'r qi'yli' qi'rlarg'a shekemgi perpendikulyardi'n' uzi'nli'qlari'n' ha'm $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots$ arqali' bul qi'rlardi'n' sali'sti'rmali' betlik energiyalari'n, al $S_1, S_2, S_3, \dots$ arqali' bolsa – qi'rlardi'n' maydanlari'n belgileymiz.



12 – su'wret.

G. V. Vulf teoremasi'na

Vulf teoremasi' to'mendegishe formulirovkalandi': "Ko'p qi'rli'ni'n' berilgen ko'leminde betlik energiyani'n' minimumi' wolardi'n' qi'rlari'ni'n' sonday wo'z-ara jaylasi'wi'nda yerisiledi, bunda wolar bir noqattan yekinshi noqatqa wolardi'n' kapillyarli'q turaqli'lari'na proporcional bolg'an qashi'qli'qlarg'a uzaqlasti'ri'ladi'"

$$\sigma_1 : \sigma_2 : \sigma_3 : \dots = n_1 : n_2 : n_3 : \dots \quad (2.2)$$

Bul jerde Vulf ta'repinen usi'ni'lg'an yeki da'liyldin' birewi keltiriledi. Meyli, qandayda bir ko'p qi'rli' berilgen V da betlik energiyani'n' minimum sha'rtin qanaatlandi'ratug'i'n bolsi'n. Ko'rinip turg'ani'nday, usi'g'an uqsas ha'm wonnan tek ko'lemleri boyi'nsha g'ana wo'zgeshe bolg'an basqa barli'q ko'p qi'rli'larda bul sha'rtni qanaatlandi'ri'ladi'. Bul ko'p qi'rli'lar ha'r qi'yli' wo'siw stadiyalari'ndag'i' birdey kristalldi' bildiredi.

Ko'p qi'rli'ni'n' barli'q qi'rlari'ni'n' uli'wma maydani' S to'mendegishe beriledi:

$$S = P (n_1^2 + n_2^2 + n_3^2 + \dots)$$

Bul jerde, P - ko'pqi'rli'ni'n' formasi'na baylani'sli' bolg'an ayi'ri'm turaqli', $n_1, n_2, n_3, \dots$ - perpendikulyardi'n' O dan qi'rlarg'a shekemgi bolg'an uzi'nli'qlari'.

Kristalldi'n' betlik energiyasi' to'mendegige ten':

$$U = P (\sigma_1 n_1^2 + \sigma_2 n_2^2 + \sigma_3 n_3^2 + \dots), \text{ al ko'p qi'rli'ni'n' ko'lemi:}$$

$$V = q (n_1^3 + n_2^3 + n_3^3 + \dots) \text{ ge ten', bul jerde, } q \text{ - turaqli' koeficient.}$$

Yeger toli'q ko'p qi'rli'ni' O noqati'nda uli'wma to'besi bolg'an ha'm bo'lek bir qi'rlarg'a ten' bolg'an tiykarlarg'a iye piramidalg'a bo'lip taslasaq, wonda bul an'latpag'a kelemiz. Turaqli' ko'lemdegi betlik energiyani'n' minimumi'ni'n' sha'rti to'mendegishe:

$$dU = 2p (\sigma_1 n_1 dn_1 + \sigma_2 n_2 dn_2 + \sigma_3 n_3 dn_3 + \dots) = 0,$$

$$dV = 3q (n_1^2 dn_1 + n_2^2 dn_2 + n_3^2 dn_3 + \dots) = 0,$$

boli'wi' mu'mkin, yeger $\sigma_1 : \sigma_2 : \sigma_3 : \dots = n_1 : n_2 : n_3 : \dots$ bolsa.

Solay yetip, betlik energiyani'n' minimumi'n qanaatlandi'ri'wshi' ko'p qi'rli'ni' du'ziw ushi'n qandayda bir O noqat ali'nadi' ha'm wonnan kristalldi'n' mu'mkin bolg'an qi'rlari'na perpendikulyar ha'm bul qi'rlardi'n' sali'sti'rmali' betlik energiyalari'na proporcional bolg'an kesimler wo'tkeriledi; kesimlerin' shetleri arqali' wolarg'a perpendikulyar tu'rde tegislikler wo'tkeriledi. O noqati'na jaqi'n jaylasqan tegislikler berilgen sha'rtlerde kristalldi'n' ta'biyg'i'y formasi'n payda yetedi.

Ali'si'raq jaylasti'ri'lg'an ha'm kesilispeytug'i'n qi'rlar tek boli'wi' mu'mkin boladi', biraq haqi'yqati'nda bar bolmaydi'.

Gibbs – Kyuri – Vulf principin wo'siw formalari'na uli'wma halda qollani'wg'a bolmaydi'. Poliedrikali'qtan basqa, real kristalar wo'siw din' mu'mkin bolg'an basqa formalari'na iye: skeletli, dendritli ha'm t.b. Dendritli (terek ko'rinisli) formadag'i' kristallar joqari'lati'lg'an betlik energiya menen xarakterlenedi. Bul faktlerge tu'sindiriwlerdi kristalldi'n' wo'siw sha'rtlerinen izlew kerek: woni'n' qi'r payda yetiwshi elementlerinin' birdey yemes jaylasi'wi'nda azi'qlani'wg'a qatnasi'nda, wo'siw kinetikasi'nda ha'm t.b. Basqa da ko'plegen waqi't arali'g'i'nda wo'tiwshi ta'biyatti'n' processlerinde, kristallardi'n' wo'siw qubi'li'slari'nda yeki belgili da'rejedegi qarama-qarsi' tendenciyalar boladi': yerkin energiyani'n' minimumi'na umti'li'w ha'm processtin' yen' tez tamamlani'wi'na umti'li'w. Kristall betlik energiyani'n' minimumi'na tek ten'salmaqli'q sha'rtlerinde yerisiwi mu'mkin, yag'ni'y, sheksiz a'stelik penen wo'siwde, al payda boli'wdi'n' yen' tez boli'wi'na – sheksiz rawajlang'an bette yerisedi. Real sharayatlarda ko'p qi'rli' ten'salmaqli', yamasa shaqali' ten'salmaqli' yemes formag'a jaqi'nlasatug'i'n komprimisli formalar a'melge asi'ri'ladi'.

§2.4. Wo'siwidin' adsorbciyalı'q teoriyasi' ha'm kristallardi'n' yeriwi

1926 ji'li' Folmer ta'repinen kristallardi'n' adsorbciyalı'q mexanizm menen wo'siwin tu'sindirip beriwshi teoriya islep shı'g'i'ldi'.

Kristalldi'n' betlik bo'leksheleri ha'm wolar menen kontaktlesiwshi wortalı'q arası'ndag'i' wo'z-ara ta'sir yetisiw energiyası' wortalı'q bo'lekshelerinin' bir-biri menen wo'z-ara ta'sir yetisiw energiyası'nan joqari' bolg'an jag'dayda adsorbciya boli'p wo'tedi. Folmer teoriyası'na muwapi'q, kristallanı'wshi' zatti'n' bo'lekshesinin' sa'ykes keliwshi asa toyi'ni'wi'nda kristalli'q betke jetken waqti'nda wo'zinin' jasi'ri'n ji'lli'li'g'i'ni'n' tek bir bo'legin g'ana bo'lip shı'g'aradi'. Bo'lekshenin' qatti' betinde qaldi'ri'lg'an energiyani'n' bir bo'leginin' jog'ali'wi' aqi'betinde, wolardi'n' kristall beti menen ku'shli wo'z-ara ta'sir yetisiwine qaramastan, kristall beti boylap ha'reketke qatnasi' boyi'nsha bir qansha yerkinlikti saqlap qaladi', yag'ni'y, bet boylap ji'li'sa aladi'. Ji'li'si'wshi' bo'lekshelerdin' birikpesi wo'siwshi kristalldi'n' belgilenip qoyi'lg'an "ti'ni'shlendi'ri'lg'an" beti ha'm yeritpenin' jaqi'n jaylasqan qatlami' arası'ndag'i' jaylasqan adsorbciyalı'q qatlamdi' bildiredi. Folmerdin' boljawi'nsha, adsorbciyalı'q qatlam ha'm yeritpe arası'ndag'i' ten'salmaqlı'q derlik bir zamatta yerisiledi, yag'ni'y, adsorbciyalı'q qatlam ha'm to'menirekte jati'wshi' jalpaq tor arası'ndag'i' ten'salmaqlı'q hali'ni'n' qa'legen buzi'li'wi'nda, atap aytqanda, bo'lekshelerdin' adsorbciyalı'q qatlamnan kristallg'a wo'tiw waqti'nda ten'salmaqlı'q qatlamg'a qorshag'an yeritpeden bo'lekshelerdin' keliwi yesabi'nan qayta tiklenedi. Kyuri principine muwapi'q, kristall qi'ri'ni'n' woni'n' proporcional betlik energiyası'nan qabi'l yetiledi.

Adsorbciyalı'q katlamni'n' bo'leksheleri arası'ndag'i' serpimli yemes soqli'g'i'si'wlar na'tiyjesinde keyinirek kristalli'q strukturani'n' to'menirekte jati'wshi' jalpaq tori'na qosi'li'p ketetug'i'n yeki wo'lshemli zarodi'shlar payda boli'wi' mu'mkin. Adsorbciyalı'q qatlamni'n' kristallanı'wshi' bo'leginin' rawajlani'w tezligi woni'n' qurami'nda bar bo'lekshelerdin' ti'g'i'zli'g'i'ni'n'

kvadrati'na proporcional dep shama menen boljaydi'. yeki ha'r qi'yli' jalpaq torlarga jaylasqan adsorbciyali'q qatlamlardi'n' wortasha ti'g'i'zli'g'i' ushi'n, Bolcman ten'lemesine muwapi'q, to'mendegishe jazi'w mu'mkin:

$$\frac{C_1}{C_2} = l \frac{A_1 - A_2}{RT},$$

Bul jerde, C_1 ha'm C_2 - yeki ha'r qi'yli' jalpaq torlar a'tirapi'nda jaylasqan adsorbciyali'q qatlamlardi'n' ti'g'i'zli'qlari', A_1 ha'm A_2 - usi' adsorbciyali'q qatlamlardi'n' ishindegı potentsiallari'. wo'siw tezligin C^n ge proporcional dep qabi'l yetip, bul jerde n yen' keminde 1 ge ten', yeki ha'r qi'yli' qi'rlar ushi'n wo'siw tezliklerinin' qatnasi' kelip shi'g'adi':

$$\frac{g_1}{g_2} = a \left(\frac{C_1}{C_2} \right)^n = a e^{\frac{n(A_1 - A_2)}{RT}} \quad (2.3)$$

Bul jerde, a - bo'lekshelerdin' kristalli'q torlarga wo'tiwindegı jen'illikti yesapqa ali'wshi' ken'isliktegi faktor.

Temperatura pa'seygende $\frac{g_1}{g_2}$ qatnas tez wo'sedi. yeger kristaldi'n' wo'siwi ten'salmaqli'qtan uzaq bolg'an sharayatlarda boli'p wo'tse, wonda $\frac{g_1}{g_2} > e^3$.

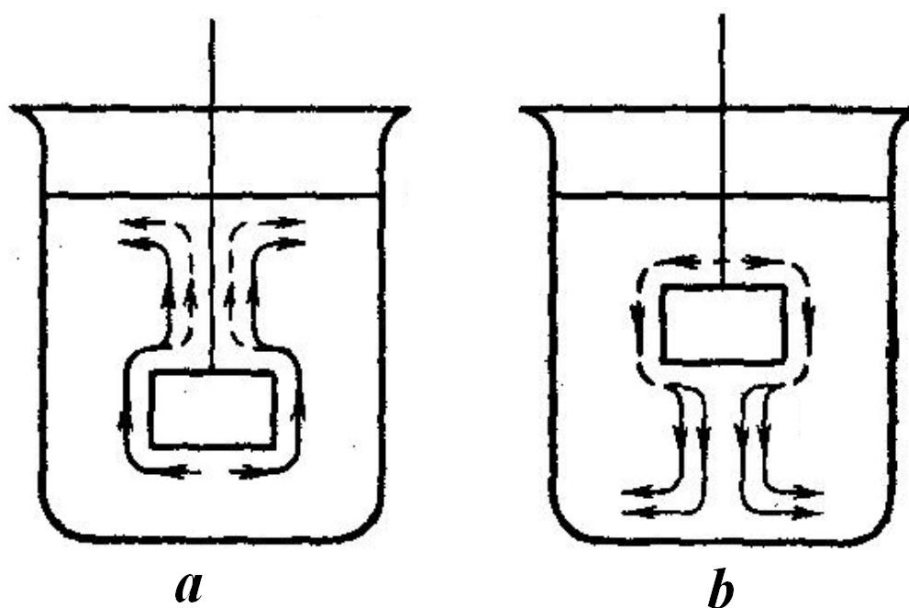
Gibbstin' ko'z-qarasi'na su'yene woti'ri'p, Folmer kristallardi'n' wo'siwin sekirmeli process retinde qarap shi'g'adi'. yeki ha'r qi'yli' qi'rlardi'n' yeriw tezliklerinin' qatnasi'n tabi'w ushi'n Folmer zatti'n' bo'lekshelerinin' pa'njereni taslap ketiw uqi'pli'li'g'i'n ha'm adsorbciyali'q qatlamg'a qosi'li'w uqi'pli'li'g'i'n xarakterlewshi an'latpani' qollanadi'. Solay yetip, wol yeriw processin wo'siwge kerı process retinde ko'rip shi'g'adi'; zatti'n' adsorbciyali'q qatlamnan yeritpege wo'tiwi, wo'siwdegı si'yaqli' derlik bir zamatta boladi'.

Yeriw tezliklerinin' qatnasi' sa'ykes keliwshi qi'rlardi'n' wo'siw tezliginin' qatnasi' ani'qlanatug'i'n faktorlarga baylani'sli' boladi'. Ta'jiriybe mag'li'wmatlari'ni'n ko'rsetiwinshe, bunday sheshim ayi'ri'm hallarg'a g'ana tuwri' keledi. wo'siw ha'm yeriw arasi'ndag'i' ani'q kerisinshelik joq.

§2.5. Wo'siwdin' diffuziyali'q teoriyasi' ha'm kristallardi'n' yeriwleri

Ko'pshilik avtorlar kristallardi'n' diffuziyali'q yemes wo'siw mu'mkinshiligin bar dep yesaplamaydi'. Diffuziyali'q processler kristallardi'n' payda boli'wi'nda ani'q a'himiyetli yekenligi so'zsiz ha'm bul I. I. Andreevke kristallardi'n' diffuziya ni'zamlari' boyi'nsha wo'siw ha'm yeriw processlerin tu'sindiriwge mu'mkinshilik berdi.

Kristallardi'n' wo'siwi ha'm yeriwinin' diffuziyali'q ni'zami'n ani'qlaw ushi'n kristalldi' "bir tekli" qorshap turi'wshi' jati'rli'q yeritpe ha'm koncentraciyali'q ag'i'mlardi' joq yetiw kerek. yen' da'slep T. ye. Lovic ta'repinen baqlang'an koncentraciyali'q ag'i'mlar kristall betindegi yeritpenin' koncentraciyasi'ni'n' wo'zgeriwi na'tiyjesinde payda boladi'. Wolar wo'siwshi kristall betinde shi'g'i'wshi' ha'm kristall yerigende pa'seyiwshi boli'wi' kerek (13-su'wret).



13-su'wret.

a – asa toyi'ng'an ha'm b – toyi'nbag'an yeritpelerdegi koncentraciyali'q ag'i'mlar

Kristalldi' qorshap turg'an yeritpenin' birtekliligine yeritpeni energiyali' aralasti'ri'w joli' menen yerisiwge boladi'. Bunday sharayatlarda wo'siwshi kristall wo'zinin' barli'q qi'rlari' menen C koncentraciyag'a iye bolg'an bir tekli asa toyi'ng'an yeritpe menen bir-birine tiyisedi. Kristall a'tirapi'nda woni'n' wo'siwi halati'nda, bir ta'repinen kristall beti menen, yekinshi ta'repinen – asa toyi'ng'an yeritpe menen shegaralang'an aktiv "ko'ylek" payda boladi'. Ha'reket yetiwshi suyi'qli'qti'n' ko'leminen g'a'rezli bolg'an ko'ylektin' qali'n'li'g'i' boylap yeritpenin' toyi'ni'w koncentraciyasi' yesaplanatug'i'n koncentraciyani'n' C dan C_e ge shekem pa'seyiwi boli'p wo'tedi. Boljaw yetiliwinshe, toyi'ng'an yeritpelerdin' C_e koncentraciyasi' ha'r qi'yli' qi'rlar ushi'n ha'r tu'rli.

Yeger kristall, toyi'ng'an yeritpenin' C_e koncentraciyasi'nan kishi bolg'an S koncentraciyasi'na iye jaqchsi'lap aralasti'ri'lg'an toyi'nbag'an yeritpe jaylasti'ri'lg'an bolsa, wonda yeriw boli'p wo'tedi. Kristall barli'q ta'repinen qali'n'li'g'i' boylap koncentraciyani'n' C_e den C g'a shekem to'menlewi boli'p wo'tetug'i'n ko'ylek penen qorshalg'an; kristalldi'n' yeritpege diffuziyasi' boli'p wo'tedi. wo'siwshi yamasa yeriwshi kristall a'tirapi'ndag'i' ko'ylekti ayi'ri'm waqi'tlarda "kristallani'wdi'n' ha'wlisi" dep ataydi'. Ha'wlinin' bar yekenligin ha'm woni'n' qali'n'li'g'i'n optikali'q usi'llar menen ani'qlaw mu'mkin.

Kristalldi'n' qi'ri'ni'n' wo'siw tezligi yamasa woni'n' yeriw tezligi waqi't birliginde kristallani'wdi'n' ha'wlisi arqali' diffuziyalawshi' zatti'n' sani' menen ani'qlanadi'. Bunnan kelip shi'g'adi', kristalldi'n' qi'ri'ni'n' wo'siw yamasa yeriw ni'zami' diffuziya ni'zami' menen sa'ykes keliwi kerek:

$$\frac{dm}{dt} = k S (C - C_e) \quad (2.4)$$

Bul jerde, $dm - S$ maydan arqali' dt waqi't ishinde diffuziyalawshi' zatti'n' sani', $\frac{dm}{dt} \cdot \frac{1}{S}$ - diffuziya tezligi, K - qi'rg'a azi'qlandi'ri'wshi' zatti'n' ag'i'p keliwinin' intensivligi menen ani'qlanatug'i'n turaqli'.

Kristall qi'ri'ni'n' tezligi yeki shama menen belgilengen: kristallani'w tezligi menen ha'm diffuziya tezligi menen. Diffuziyani'n' a'piwayi' ni'zami' ha'm kristall qi'ri'ni'n' wo'siw tezliklerinin' ayi'rmashi'li'g'i' arasi'ndag'i' qarama-qarsi'li'qti' Andreev toyi'ng'an yeritpenin' koncentrasiyasi' ha'r tu'rli qi'rlar ushi'n ha'r qi'yli' yekenligi menen tu'sindiredi. Bul, duri's dep yesaplani'wshi' sheshim qosi'msha jol menen ali'ndi'.

E. B. Treybus eksperimental ko'rsetkishlerine tiykarlani'p to'mendegi formula menen yeriw tezligi (j) kristalldi'n' formasi' ha'm wo'lshegi menen (r - iymeklik radiusi'), yeritpenin' ha'reket tezligi (u) menen, yeritpenin' toyi'nbag'anli'g'i' menen (ΔC) ha'm diffuziya koefficienti (D) menen baylani'sti'ri'wg'a umti'ldi':

$$j = 0,45 \sqrt{\frac{D_4}{r}} \Delta C \quad (2.5)$$

Ol ta'repinen izertlenilgen sharayatlar oblasti'nda, yeriw processi diffuziyali'q qadag'alani'wshi' boli'p yesaplanatug'i'n waqi'tta kristallardi'n' anizotropiyasi' ani'qlanbaydi'.

Gibbs – Kyuri – Vulf ti'n' betlik energiyasi' teoriyasi' menen derlik bir waqi'tta usi'ni'lg'an diffuziyali'q teoriya, sezilerli da'rejede keyingisinin' kemshiliklerin ani'qlawg'a ja'rdem berdi. Kristallar wo'siwinin' jan'adan bolg'an teoriyalardi'n' u'lken tu'siniklilikke iye boli'wi'na qaramastan wol kristallardi'n' wo'siw processin ha'zirgi waqi'ttada izertlewde wo'zinin' ma'nisin saqlap qaldi'.

Kristallardi' wo'siriw a'meliyati'nda ko'binese λ_i qi'rdi'n' i - shi kristallani'wdi'n' normal tezliginin' ha'm kristall wo'siwinin' massali'q tezligi $\frac{dm}{dt}$ ten'lemeleri qollani'ladi'. Kristallani'wdi'n' massali'q tezligi – bul waqi't birliginde kristallg'a bo'linip qoyi'lg'an zatti'n' massasi'. λ_i ha'm $\frac{dm}{dt}$ ma'nislerin yesaplaw diffuziya ten'lemesin ha'm massa balansini'n' ten'lemesin qollani'w waqi'tnda a'melge asi'ri'ladi'

$$dm_i = -dC \quad (2.6)$$

Bul jerde, $dm_i - i$ qi'rg'a bo'linip qoyi'lg'an zatti'n' massasi', $-dc$ - yeritpenin' asa toyi'ni'wi'ni'n' pa'seyiwi. Birinshisi to'mendegige ten':

$$dm_i = \rho dl_i dS_i = \rho \lambda_i dS_i dt \quad (2.7)$$

Bul jerde, ρ - zatti'n' ti'g'i'zli'g'i', $l_i - i$ - shi qi'rdi'n' beti, $\lambda_i - i$ - shi qi'rg'a normal, t - waqi't.

Diffuziya ten'lemesinen yeritpe koncentraciyasi'ni'n' kemeyip ketiwi to'mendegishe an'lati'ladi':

$$-dc = D \frac{dc_i}{dl_i} dS_i dt,$$

Bul jerde, $\frac{dc_i}{dl_i} - i$ - shi qi'rdi'n' koncentraciyasi'ni'n' gradienti, D - diffuziya koefficienti. Ten'lestirip $\lambda_i = \frac{dc}{dS_i dt \rho}$, kristalani'wdi'n' teoretikali'q normal tezlik ushi'n ten'lemeni alami'z

$$\lambda_i = \frac{D}{\rho} \cdot \frac{dC_i}{dl_i} \quad (2.8)$$

Kristall ko'leminin' toli'q wo'simi $d\vartheta = \sum S_i dl_i$ den turadi', solay yetip,

$$\frac{dm}{dt} = \rho \sum_i S_i \lambda_i.$$

λ_i ma'nis $\frac{dm}{dt}$ g'a qoyi'p, kristallani'wdi'n' teoretikali'q massali'q tezli ushi'n ten'lemeni alami'z:

$$\frac{dm}{dt} = D \sum_i \frac{dC_i}{dl_i} S_i \quad (2.9)$$

(2.8) ha'm (2.9) ten'lemesinde ji'lli'li'q beriw ha'm irkiwlerge du'zetiwlir kiritiw kerek boladi'.

O'siwshi kristall ta'repinen bo'linip shi'g'ari'lg'an ji'lli'li'qti'n' ayi'ri'm u'lesi woni'n' betinen yerigen zatti'n' ha'm yeritkishtin' bo'lesheleri menen shi'g'ari'p jiberiledi; ji'lli'li'q beriw shamasi' jabi'sqaq wortali'q u ushi'n jetkilikli da'rejede u'lken.

$$\frac{dm}{dt} = D \sum_i \frac{dc_i}{dl_i} S_i + \frac{1}{2} \sum_i K_{ii} \frac{dT}{dl_i} S_i \quad (2.10)$$

Bul jerde, $\frac{dT}{dl_i}$ - i shi qi'rdag'i' temperatura gradienti, r - kristallani'w ji'lli'li'g'i', K_{ii} - ji'lli'li'q wo'tkizgishlik koefficienti.

Bo'lekshelerdin' bag'i'tlandi'ri'lg'an ag'i'mi' kristall menen toli'q wo'zlestirilmeydi, sonli'qtan wolardi'n' irkiliwine du'zeti'w kiritiledi:

$$\lambda_i = \frac{K_i dc_i}{\rho dl_i}; \quad \frac{dm}{dt} = \sum_i K_i \frac{dC_i}{dl_i} S_i \quad (2.11)$$

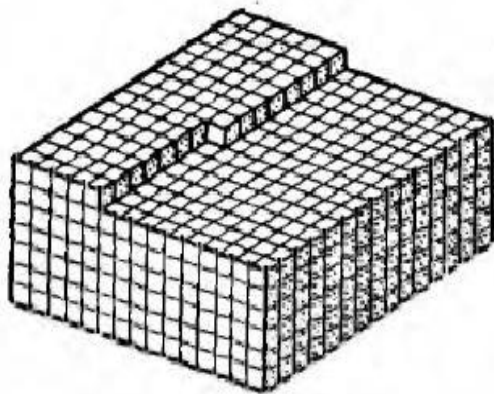
Bul jerde, λ_i - i - shi qi'rdi'n' gu'zetilip ati'rg'an wo'siw tezligi, wol birden kishi bolg'an. wo'zlestiriwdin' du'zeti'w koefficientine ν_i ko'beytilgen kristallani'wdi'n' teoretikali'q normal tezligine ten', K_i - i qi'rg'a azi'qlandi'ri'wshi' zatti'n' ag'i'p keliwinin' intensivligi menen ani'qlanatug'i'n turaqli' (2.3), $K_i = \nu_i D$.

(2.11)ten'lemeler yeritpeden bolg'an kristalardi'n' wo'siwi ushi'n tiykarg'i' kinetikali'q ten'lemeler boli'p yesaplanadi'.

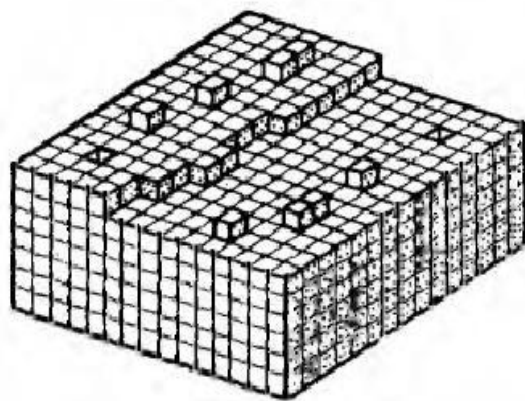
§2.6. Kristallardi'n' wo'siwi ha'm yeriwinin' molekulyar-kinetikali'q teorialari'

1927 ji'li' V. Kossel ha'm I. N. Stranskiy kristallardi'n' wo'siwi boyi'nsha teoretikali'q jumi'slarda jan'a bag'dar du'zdi, wol ha'zirgi waqi'tta R. Kaishev ta'repinen ayri'qsha tabi'sli' rawajlandi'ri'li'p ati'rg'an kristallardi'n' wo'siwinin' molekulyar-kinetikali'q teoriyasi'na da'slepki qa'demdi qoydi'. Bul teoriya ideal jetilisken kristallardi' ko'rip shi'g'adi' ha'm wo'siw processin analizlew waqti'nda bir qatar jen'illestiriwshi boljawlardan kelip shi'g'adi'.

Boljaw yetemiz, kristall beti deformაციyalanbag'an, wo'siw processi absolyut nol temperaturada wo'tedi ha'm wonsha u'lken bolmag'an asa toyi'ni'wda wortali'qti'n' ta'siri derlik yesapqa ali'nbaydi'. Tek absolyut nol temperaturada g'ana kristall beti ideal tegis boli'p (14-suwret), real kristalldi'n' betinen wo'zgeshe boladi'. Absolyut jol temperaturadan joqari'raq bolg'an temperaturada kristall qi'rlari' termodinamikali'q fluktuაციyalar aqi'betinde "Gedir-budi'r" boladi'. (15-su'wret) (Ya.I.Frenkel boyi'nsha).



14-su'wret. Absolyut nol temperautradag'i' kristalldi'n' beti.



15-su'wret. Absolyut nolden joqari' bolg'an temperaturadag'i' kristalldi'n' beti.

Bunnan aldi'ng'i' termodinamikali'q teoriyalarg'a sali'sti'rg'anda Kossel-Stranskiy teoriyasi' to'mendegi arti'qmashi'li'qlarg'a iye: wo'siw qubi'li'si'n kristall betinin' atom-molekulyarli'q qa'siyetleri pozitsiyasi'nan tu'sindiriv, atap aytqanda, diffuziyali'q teoriyada yerigen zatti'n' bo'lekshelerdin' qosi'li'wg'a jen'illigin ha'm wolardi'n' kristall strukturasi'nda sa'ykes keliwshi tu'rde jaylasi'wi'n yesapqa alatug'i'n yen' ani'q ani'qlang'an koefitsient K boli'p shi'g'i'wshi' eksperimental aldi' ko'beytkishtin' shamasin' ani'qlawg'a mu'mkinshilik berdi. Kossel ha'm Stranskiy teoriyasi' bul koefitsient K ja'rdeminde kristallardi'n' wo'siw mexanizmin tu'sindiredi. Kristallardi'n' wo'siwi yerkin energiyani'n' minimumi' principinen kelip shi'qqan halda wo'siwdin' birlikli ju'risleri tu'sinigi ja'rdeminde, yag'ni'y kristall betinde wo'siwdin' ha'r qi'yli' hallari'nda lokalizatsiyalari'p qaldi'ri'lg'an birlik atomlardi'n', molekulalardi'n' yamasa ionlardi'n' qosi'li'w (eriw jag'dayi' ushi'n ayi'ri'li'w) energiyasi' ja'rdeminde ko'rip shi'g'i'ladi'. Bul energiyalardi' sali'sti'ri'w polyarli'q ha'm polyarli'q yemes kristallardi'n' ideallasti'ri'lg'an wo'siwinin' molekulyar-kinetikali'q mexanizminin' detallari'n ashi'p berdi. Teoriya, Gibbsin' Kristallardi'n' sekirmeli wo'siwi haqqi'ndag'i' ideasi'na tiykarlang'an.

III BAP EKSPERIMENT NATIYJELERINE WO'SIRIU USI'LLARI'NI'N' TASIRI

§3.1. Kristalldag'i' tigelsiz ha'm tigelli usi'llardi'n' wo'zgesheliklari

Usi'ldi' tigellik usi'lg'a kirgizedi, sebebi wo'siriw waqti'nda yeritiwge ha'm quri'lma atmosferasi'na shi'damli' bolg'an materiallardan bolg'an tigel ler qollani'ladi'. Tigeldegi kristallardi' wo'siriwde yeritindini tigel materiali' menen i'laslaw boli'p wo'tedi (kvarc tigelden wo'sirilgen kremniy ushi'n basli' pataslawshi' elementler, bular kvarc qurami'ndag'i' kislorod, bor, fosfor, alyuminiy, temir yesaplanadi').

Kislorodti'n' koncentrasiyasi' ha'm tayar quyi'lmadag'i' woni'n' ten' wo'lsheqli bo'listiriliwi a'hmiyetli parametrlar boli'p yesaplanadi', sonli'qtan basi'm ha'm yeritindi u'stindegisi XX – a'sirdin' 70 – shi ji'llari'nan berli kremniy quymalari'n' wo'siretug'i'n' argonli' atmosferani'n' tezligin eksperimental tu'rde tan'laydi' ha'm process dawami'nda regulirovkalaydi'. Usi'l yeritindinin' u'lken ashi'q maydani' boli'wi' menen xarakterlenedi, sonli'qtan ushi'wshi' komponentlar ha'm qosi'mtalar yeritindi betinen aktiv tu'rde puwlanadi'. Sog'an muwapi'q, ushi'wshi' legirlewshi komponentlardin' mug'dari'n' wo'siriw u'skenesindegi basi'mdi' yamasa atmosfera qurami'n' wo'gertiw arqali' basqaradi'. Mi'sali', kvarcli' tigelden wo'sirilgen kremniy yeritindisinin' betinen tigel materiali' yerigen waqi'tta payda boli'wshi' SiO kremniydin' monooksidi aktiv tu'rde puwlanadi'.

Yeritindi ko'lemi boylap temperatura ha'm qosi'mtalardi'n' bo'listiriliwin ta'miynlew ushi'n qi'zdi'ri'wshi' kristall ha'm yeritindisi bar tigeldi aylandi'radi', ha'tteki qarama-qarsi' bag'i'tlarda. Usi'g'an qaramastan, bilqastan bir tekli yemes ji'lli'li'q maydani'nda aylandi'ri'w ba'rqulla quyi'lma betinde vintli kesimlardin' payda boli'wi'na ali'p keldi. Wonnan qala berse, wo'siwdegi qolaysi'z sharayatlar bolg'anda vintli kesimnen basqa bette quymani'n' wo'zi shtopor (kolenval) formasi'nda wo'siwi mu'mkin. Qosi'mtalardi' bo'listiriwde

de usi'g'an uqsas kartina boladi': aylani'wg'a qaramastan, kristallani'w fronti'ni'n' boyi'nda ba'rqulla yeritindi komponentlerinin' (mi'sali', qosi'mtalardi'n') transporti' a'stelik penen toli'q diffuziya yesabi'nan a'melge asi'ri'latug'i'n wo'zgermeli qali'n'li'qtag'i' yeritindinin' qozg'almaytug'i'n oblasti' qali'p qoyadi'. Bul yeritindi komponentlerinin' quyi'lma diametri boyi'nsha (kesimi boyi'nsha) bo'listiriliwdegi ten'o'lshemsizlikni bildiradi. Qosi'mtalardi'n' kesim boyi'nsha bo'lsitiriliwine ta'sir yetiwidin' qosi'msha faktori' boli'p u'lken diametrdegi quyi'lmalardi' wo'siriwde yeritindidegi turaqli' ha'm turaqli' bolmag'an turbulent vixrlar yesaplanadi'.

Usi'l yeritindinin' u'lken ko'lemi boli'wi' menen ayri'li'p turadi', bunda quyi'lma wo'sken sayi'n kristall denesinin' qaliplesiwi yesabi'nan a'ste aqi'ri'nli'q penen kishireyedi.

Kristallani'w fronti'nda kristall wo'skende turaqli' tu'rde komponentlerdin' bir bo'legin yeritindige qi'si'p shi'g'ari'w boli'p wo'tedi.

Yeritindi a'ste aqi'ri'n kristallg'a intensiv tu'rde qosi'li'p ali'wshi' komponentler menen azayadi' ha'm kristalldi'n' wo'siw waqti'ndag'i' qi'si'p shi'g'ari'latug'i'n komponentler menen bayi'ydi'. yeritindi de komponent koncentraciyasi' wo'sip barg'an sayi'n woni'n' koncentraciyasi' kristallda da joqari'laydi', sonli'qtan quyi'lmani'n' uzi'nli'g'i' boylap komponentlerdin' bo'listiriliwi ten'o'lshemli bolmaydi' (kremniy ha'm legirlewshi qosi'mtalardi'n' koncentraciyalari'ni'n' wo'siwi xarakterli). Wonnan basqa, yeritindi ko'lemi kishireygende yeritindinin' tigel materiali' menen kontakt maydani' kishireyedi, bul tigelden yeritindige patasli'qlardi'n' wo'tiwini kishireytedi (kremniy jag'dayi'nda kislorod tigelden yeritindige ti'ni'nsi'z wo'tedi ha'm wonnan keyin betten kremniydin' monooksidi tu'rinde puwlanadi'; na'tiyjede yeritindi ha'm tigeldin' kontakt maydani' kemeyiwi sebepli quymadag'i' kislorod koncentraciyasi' quyma basi'nan woni'n' aqi'ri'na shekem kishireyedi).

Kristall formasi' cilindrlikke jaqi'n, biraq bul jag'dayda wo'sirilgen quyi'lmani'n' wo'siriwidin' ji'lli'li'q sha'rtleri, qi'si'p shi'g'ari'w tezligi,

kristalli'q strukturasi' ha'm kristallografiyalı'q orientaciyasi' menen ani'qlanatug'i'n buzi'li'wlar payda boladi'. Solay yetip, orientaciyada [111] wo'sirilgen kremniydin' dislokaciyasi'z quyi'lmalari' ba'rqulla ani'q qi'rlarg'a iye boladi', yag'ni'y cilindrde qag'i'ya boyi'nsha bir ani'q quyi'lmani'n' 1/6 diametrine shekemgi ba'lentliktegi segmentti kesip alg'andag'i'day ha'm yegerde cilindrden biyikligi birneshe millimetr bolg'an segmentti kesip alg'andag'i'day yeki ani'q yemes qi'rlar payda boladi'. Bag'i'tta [100] wo'sirilgen kremniydin' dislokaciyasi'z quyi'lmalari' a'dewir suwi'ti'lg'anda ani'q berilgen kvadrat qi'rlari' wo'zlestiriwge umti'ladi', bunda qi'si'p shi'g'ari'w tezliginin' pa'seyiwi qi'rlardi'n' payda boli'wi'n tezletedi.

Qi'si'p shi'g'ari'w tezligin ha'dden ti's joqari'lati'w yamasa yeritindini qayta suwi'ti'w ko'binese quyi'lmani'n' u'lken yamasa kishi vint ta'rizli formag'a (twisting) uqsap qali'wi'na ali'p keledi.

Wo'siriw processinin' iniciaciyasi' yeritindige kerekli strukturani'n' ha'm kristallografiyalı'q orientaciyani'n' qi'zdi'ri'wshi' kristali'n kiritiw joli' menen a'melge asi'ri'ladi'. Zatravkani' yeritindige bati'ri'p alg'anda suyi'qli'qtag'i' bet kerimi sebepli qi'zdi'ri'wshi' kristall betinde da'slep ha'reketsiz yeritindinin' juqa qatlami' payda boladi'. Bul qatlamdag'i' atomlar qi'zdi'ri'wshi' kristalldi'n' kristalli'q pa'njeresin dawam yetiwshi ta'rtiplestirilgen kvazikristalli'q pa'njerege du'ziledi. Solay yetip, wo'sirilgen quyi'lma da'slepki qi'zdi'ri'wshi' kristallardikindegı kristalli'q strukturani' aladi'.

Usi'ldi'n' etaplari' Shixtani' ildirgish tayarlanadi' ha'm *tigel* ge (tigelge) jaylasti'ri'ladi'. Ildirgishler u'lken bolg'an jag'dayda (onlag'an ha'm ju'zlegen kilogramm) woni' kishi bo'lekshelerden (10 nan 50 mm ge shekem) tayarlawg'a umti'ladi', sebebi *tigel* din' buzi'li'wi'ni'n' ha'm yeritindinin' bir bo'leginin' ag'i'p ketpewinin' aldi' ali'ni'wi' kerek: yeritiw waqti'nda ildirgishtin' joqarg'i' bo'leginde qali'p qoyg'an qatti' bo'leksheler qandayda bir momentte sho'ge baslaydi' ha'm yeritindige tu'sedi. Ildirgishti islewde ildirgishtin' maydaraq frakciyalari'nan du'ziw aqi'lg'a muwapi'q yemes, sebebi, bo'leksheler yeriw

temperaturasi'na jetpey turi'p-aq u'lken deneni payda yetip pisip qali'wi' mu'mkin. Ayri'qsha alg'anda ju'da' kishi maydalang'an ko'p komponentli ildirgishti yeritkende qa'wipsiz bolmawi' mu'mkin, sebebi bo'lekshelerdin' kontakt zonalari'nda kepserleniwler payda boli'wi' mu'mkin.

Za'ru'r bolg'anda u'skenede kerekli parametrlerge iye atmosfera wornati'ladi' (monokristalli' kremniy ushi'n – bul basi'mi' 30 Torr dan aspag'an neytral argonli' atmosfera).

Shixta ildirgishi yeritiledi, bunda energiyani' ali'p bari'w ko'binshe to'mennen ha'm tigel din' qaptallari'nan ali'p bari'ladi'. Bunda ildirgish yeritilgende joqari'dan to'menge yerigen metall to'mege ag'adi' ha'm muzdayraq bolg'an shixtada kristallani'p tigel diywallari'ni'n' buzi'li'w qa'wpi payda boladi'.

Yeritiw da'rejesinin' bunday hali' qi'zdi'rg'i'shqa sali'sti'ri'li'p islenedi, bunda kristallani'wdi'n' baslani'wi' ushi'n za'ru'r bolg'an sharayatlar tek yeritindinin' worayi'nda woni'n' betine jaqi'n a'tirapta g'ana boladi'. Qatan' aytqanda, Choxralskiydin' klassikali'q usi'li' diametri 50 mm den arti'q bolg'an kremniy quyi'lmalari'n wo'siriwde qollani'w mu'mkin, u'sh faza (yeritindi – tigel - atmosfera) ni'n' kontakt zonasi' a'tirapi'nda ja'ne bir lokal suwi'ti'li'wshi' zonag'a iye boladi', biraq qi'zdi'ri'wshi' woraylardi'n' joq boli'wi' sebepli, bul oblastta kristallani'w baslanbaydi'. Bul waqi'tta wo'siriw u'skenesinde yeritindinin' turaqli' laminarli'q ag'i'mi'ni'n' kelip shi'g'i'wi'n ha'm saqlani'p turi'wi'n ta'miynlewshi belgili bir temperatura maydani'ni'n' gradientine iye kvazistacionarli'q sharayatlar (ji'lli'li'q tarmag'i'ni'n' koncentraciyasi' ta'repinen ani'qlani'wshi') kelip shi'g'adi'. U'lken diametrli kristallarda yeritindi ko'lemindegi laminarli'q ko'ship ju'riwshi ag'i'mlardan basqa kristallani'w fronti' a'tirapi'nda qosi'msha tu'rde qa'liplesiw zonasi'nda qosi'mtalardi'n' ten' wo'lshemli yemes bo'listiriliwine juwap beriwshi ayi'ri'm taq sandag'i' turbulentli vixrler qa'liplesedi. Wonnan keyin za'ru'r bolg'an sharayatlar tiykari'nan yeritiw da'rejesi hali'ni'n' qi'zdi'rg'i'shqa sali'sti'rg'anda turaqli'li'qti' saqlaw arqali' ta'miynlenedi.

Sistema bunday jag'dayda ag'i'mlardi'n' stabilligi ha'm sistemada temperaturani'n' bo'lsitiriliwi ushi'n uslap turi'ladi'. Kremniy ushi'n ha'r tu'rli mag'li'wmatlar boyi'nsha uslap turi'w waqti' 15 minuttan bir neshe saatqa shekem boli'wi' mu'mkin. Uslap turi'w passiv tu'rde (o'zlik uslap turi'w) de, aktiv tu'rde de – processtin' rejimlik parametrlarini'n' aktiv wo'zgeriwi menen birgelikte wo'tkeriliwi mu'mkin.

Qatti' yamasa iymeygish ildirgish (u'skeneni shi'g'ari'wshi'g'a baylani'sli') wog'an qati'ri'lg'an za'ru'r bolg'an struktura ha'm orientaciyag'a iye qi'zdi'ri'wshi' kristall menen birge to'menge tu'siriledi, qi'zdi'ri'wshi' kristall yoritindi beti menen kontaktke keltiriledi ha'm sol jerde kontakt zonasi'ni'n' qi'zdi'ri'li'wi' ha'm yeritiliwi ushi'n uslap turi'ladi'. yeger kontakt zonasi' wo'siw baslang'ang'a shekem toli'q yeritilmegen bolsa, wonda birinshiden kristalldi'n' tuwri' kelmeytug'i'n strukturasi' yamasa orientaciyasi'n ali'w mu'mkin, sonday-aq wonnan keyin yerip boli'nbag'an wori'nda si'ni'w payda boli'p ha'm quyi'lma yoritindige tu'sip ketiwi mu'mkin.

Qi'zdi'ri'wshi' kristalldi' joqari'g'a suwi'q zonag'a qi'si'p shi'g'ari'w baslanadi'. Qi'si'p shi'g'ari'w bari'si'nda da'slep diametri bir neshe millimetr bolg'an cilindr qa'liplesedi – bul qi'zdi'ri'wshi' kristalldi'n' dawami' boladi' ha'm dislokaciyasi'z kristallardi' wo'siriwde ayri'qsha a'hmiyetli. Sozi'w diametri ayi'ri'm islep shi'g'ari'wshi'lardi'n' woni' basqi'shli' yetiwine qaramastan uzi'nli'g'i' boylap wo'zgermes boli'wi' mu'mkin. Qi'zdi'ri'wdan aldi'n'g'i' cilindr din' finalli'q bo'liminin' diametrin minimal yetiwge umti'ladi' (oni'n' u'ziliwge shi'damli'li'g'i'n yesapqa ali'p ha'm kishi diametr din' korrekciya boyi'nsha qolda bar mu'mkinshiliklerin yesapqa alg'an halda). Ha'r qi'yli' materiallardan bolg'an kristallar ushi'n cilindr uzi'nli'g'i' struktura ha'm orientaciyani'n' ha'r qi'yli' talaplari'nda bir neshe millimetrdan bir neshe ju'zlegen millimetrge shekemgi arali'qta boli'wi' mu'mkin.

Keyin temperaturani'n' pa'seyiwi ha'm qi'si'p shi'g'ari'w tezliginin' pa'seyiwi yesabi'nan qi'zdi'ri'wdan aldi'n'g'i' cilindr din' diametri kerekli shamag'a shekem u'lkeytiriledi, wonnan keyin cilindr di maksimal mu'mkin

bolg'an uzi'nli'qta tarti'p shi'g'aradi'. Bul jag'dayda wo'siw processinin' finishlik operaciyalari' ushi'n yoritindinin' ayi'ri'm awi'si'q bo'legin qaldi'ri'w ko'zde tuti'lg'an.

U'lken salmaqtag'i' kristallardi' qi'si'p shi'g'ari'w hali'nda ayi'ri'm islep shi'g'ari'wshi'lar ja'rdem beriwshi quri'lmani'n' islewi ushi'n arnalg'an kristalldi'n' joqarg'i' bo'liminde qali'n'lasti'ri'wdi' du'zedi. Bunday quri'lmalar a'dette qi'zdi'ri'w kristali'ni'n' qatti' ildirgishke iye wo'siriw quri'lmasi'na wornati'ladi'.

Processti tamamlawdan aldi'n yoritindinin' temperaturasi'n asi'ri'w yesabi'nan ha'm tarti'p shi'g'ari'wdi'n' tezliginin' ayi'ri'm joqari'lati'wlari' yesabi'nan kristall diametri a'ste aqi'ri'n kishireytyledi (diametri 300 mm den joqari' ha'm wonnan u'lken bolg'an kremniy quymasi' ushi'n qa'liplestirilgen konusti'n' uzi'nli'g'i' 2 diametrge jetiwi mu'mkin).

Konus tamamlang'annan keyin ha'm yoritindi qaldi'qlari' tamam bolg'annan keyin quymani' yoritindiden uzaqlati'w ha'm ayi'ri'm sharayatlarda quymani' berilgen temperaturag'a shekem a'ste aqi'ri'n suwi'ti'w a'melge asi'ri'ladi'.

Processtin' etaplarini'n' ha'r birinin' barli'q rejimlik parametrleri, qag'i'yda boyi'nsha, konkret islep shi'g'ari'wshi'ni'n' si'ri' boli'p yesaplanadi'.

Usi'ldi'n' modifikaciyasi'. Usi'ldi'n' bir neshe modifikaciyasi' islep shi'g'i'lg'an. yeriwshi tigeldi qollanatug'i'n Choxralskiy usi'li'. Usi'ldi'n' maqseti bul uzi'nli'g'i' boyi'nsha qosi'mtalardi'n' ten' wo'lsheqli bo'listiriliwin ha'm kristall kesimin yoritindinin' si'rtqi' bo'leginen qosi'mtalardi'n' beriliwin qadag'alaw yesabi'nan ali'w yesaplanadi'. yeriwshi tigellerdin' ko'plegen razmerleri ha'm konstrukciyalari' bar, soni'n' ishinde patentler menen qorg'anlari'da bar. Konstruktiv tu'rde usi'l yoritindili tiykarg'i' tigelge wonnan maqsetli kristall wo'siriw ali'p bari'latug'i'n yoritindinin' kishi ko'lemi bo'lip shi'g'aratug'i'n kishi wo'lsheqli tigeldi kiritiw joli' menen a'melge asi'ri'ladi'. yoritindinin' kishi ko'lemi yoritindinin' tiykarg'i' ko'lemi menen sonday baylani'sadi', bunda maqsetli kristalldi'n' qa'liplesiwine ketken yoritindi porciyalari'ni'n' worni'na si'rttan qosi'msha ag'i'mdi' ta'miynlewi

tiyis, bul halda yeki ko'lemnin' aralasi'wi' ha'm sog'an muwapi'q kishi ko'lemdegi qosi'mtalardi'n' stabillesken koncentraciyalari'ni'n' wo'zgeriwin boldi'rmaw kerek.

Choxralskiy usi'li' qosi'msha azi'qlandi'ri'wg'a iye Usi'lda kristall da'nesinin' qa'liplesiwine sari'plang'an yeritindi ko'leminin' u'zliksiz tolti'ri'li'wi' yesabi'nan wo'siriw quri'lmasi'ni'n' islep shi'g'ari'wi'n asi'ri'w boli'p tabi'ladi'. Usi'ldi' apparat penen a'melge asi'ri'wdi'n' 2 tu'ri bar: polikristalli'q sterjennin' **tigelinin' periferiyali'q oblasti'nda (yamasa yeriwshi tigeldin' si'rti'nda) a'ste aqi'ri'nli'q penen yeritiw arqali'** qosi'msha azi'qlandi'ri'w; yeriwshi tigel si'rti'nda maydalang'an polikristall kremniydi beriw arqali' qosi'msha azi'qlandi'ri'w. Usi'l jol boyi'nsha kristall uzi'nli'g'i' boylap qosi'mtalardi'n' a'dewir ten'o'lsheqli bo'listiriliwine yerisiwge mu'mkinshilik beredi.

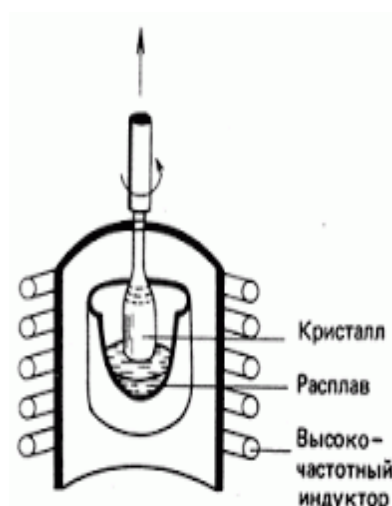
Arali'q qosi'msha ju'klemelerge iye Choxralskiy usi'li'.— bul tigellerdi qaytadan qollani'w yesabi'nan ha'm processler arasi'ndag'i' xi'zmet ko'rsetiwge ha'm qorg'aw atmosferasi'n du'ziwge jumsalatug'i'n waqi'tti' qi'sqarti'w yesabi'nan wo'siriw quri'lmalari'ni'n' islep shi'g'ari'wi'n asi'ri'w ha'm qa'rejetlerdi qi'sqarti'w boli'p yesaplanadi'.

Gilyuzli'q quri'lmalardi' qollani'w arqali' tayar kristallar quri'lmalardan shi'g'ari'ladi', al wolardi'n' worni'na tigelge yeritiw ha'm keyingi quyi'lmani' wo'siriw ushi'n shixtani'n' keyingi porciyasi' sali'nadi'.

Pedestal qollani'latug'i'n Choxralskiy usi'li': yeritindige sa'ykes keliwshi futerovka da elementtin' maydani' boylap bo'listirilgen temperaturali'q datchikler menen ta'miyinlengen jalpaq qi'zdi'ri'w elementi kiritiledi. Element yeritindige quyi'lma wo'siriletug'i'n zonag'a 15-30 mm teren'likte kiritiledi. wo'siw bari'si'nda element maydani' boylap temperaturani'n' bo'lsitiriliwi qadag'alanadi' ha'm kristallani'w fronti' a'tirapi'nda temperaturalaradi'n' "duri's" bo'listiriliwin ta'miyinlew ushi'n qi'zdi'ri'wshi' elementtin' sa'ykes keliwshi zonalari'na azi'qlandi'ri'w beriledi.

§3.2. Basqa usi'llar menen sali'sti'ri'w

Choxralskiy usi'li' ja'rdeminde islep shi'g'ari'lg'an ayi'ri'm materiallardi'n' kristallari' tigelsiz zonali'q yeritiw usi'li' menen ali'ni'wi' mu'mkin yemes ha'm kerisinshe. Ayi'ri'm materiallar yeki usi'l menen de ali'ni'wi' mu'mkin. Kremniy hali'nda, zonali'q yeritiw usi'li' menen ali'ng'an quyi'lma, tazali'g'i' boyi'nsha a'dette Choxralskiy usi'li'nda ali'ng'an sog'an uqsas quyi'lmadan arti'qmash boladi', biraq zonali'q yeritiw arqali' ali'ng'an kristallar kishi diametrge iye, tayarlawda ju'da' joqari' wo'zine tu'ser bahag'a iye, keyingi texnologiyali'q cikller ushi'n arnalg'an legirlewshi ha'm basqa qosi'mtalardi'n' basqasha bo'lsitiriliwine ha'm saqlani'wi'na iye boladi'.



Choxralskiy wo'zinin' ataqli' usi'li'n 1916 ji'li' ashti', bunda wol wo'zinin' ruchkasi'n yeritilgen qalayi' sali'ng'an tigelge tu'sirip alg'an waqi'tta ani'qlandi'. Wol ruchkasi'n tigelden shi'g'ari'p ati'rg'anda metall peroni'n' izinen suwi'ti'li'p qati'ri'lg'an qalayi'ni'n' jin'ishke sabag'i' qosi'li'p shi'qqani'n ko'redi.

Ruchka perosi'n mikroskopli'q metall bo'legi menen almasti'ri'p, Choxralskiy bunday yol menen payda bolg'an metall sabaqti'n' monokristalli'q strukturag'a iye yekenligin ani'qladi'.

Choxralskiy ta'repinen wo'tkerilgen ta'jiriybelerde, diametri bir millimetr a'tirapi'ndag'i' ha'm uzi'nli'g'i' 150 sm bolg'an wo'lshe'degi monokristallar ali'ndi'. Choxralskiy wo'zinin' jan'ali'g'i'ni'n' ma'nisin nemeclerdin' "Zeitschrift fuer Physikalische Chemie" jurnalinda ja'riyalang'an "Metallardi'n' kristallani'w da'rejesin wo'lshe'wdin' jan'a usi'li'" statyasi'nda ayti'p wo'tti (1918) [1].

1950 ji'li' amerikani'n' Bell Labs Tul (Gordon K. Teal) ha'm Littl (J. B. Little) korporaciyasi'ni'n' xi'zmetkerleri Choxralskiy usi'li'n joqari' tazali'qtag'i' germaniy monokristallari'n wo'siriw ushi'n qollani'ladi',

Zonali'q yeritiw (zonali'q qayta kristallaw) – qatti' ha'm suyi'q fazalarda qosi'mtalardi'n' ha'r qi'yli' yerigishligine tiykarlang'an qatti' zatlardi'n' tazalani'wi' metodi' yesaplanadi'. Metod bag'darlang'an kristallani'w'di'n' bir tu'ri boli'p yesaplani'p, wol waqi'tti'n' ha'r bir momentinde u'lginin' ayi'ri'm u'lken bolmag'an bo'legi yeritilgen boli'p yesaplani'wi' menen ayri'li'p turadi'. Bunday yeritilgen zona u'lgi boylap ji'li'si'p woti'radi', bul qosi'mtalardi'n' qayta bo'listiriliwine ali'p keledi. yeger qosi'mta suyi'q fazada jaqsi' yerise, wonda wol yerigen zonada a'ste aqi'ri'nli'q penen ji'ynali'p baradi' ha'm woni'n' menen birge ji'li'sadi'. Na'tiyjede qosi'mta da'slepki u'lginin' bir bo'leginde ji'ynaladi'. Bag'darlang'an kristallizaciyag'a sali'sti'rg'anda bul metod u'lken effektivlikke iye boladi'. Metod 1952 ji'li' V. Dj. Pfann ta'repinen usi'ni'lg'an boli'p sonnan berli u'lken jetiskenlikke yeristi.

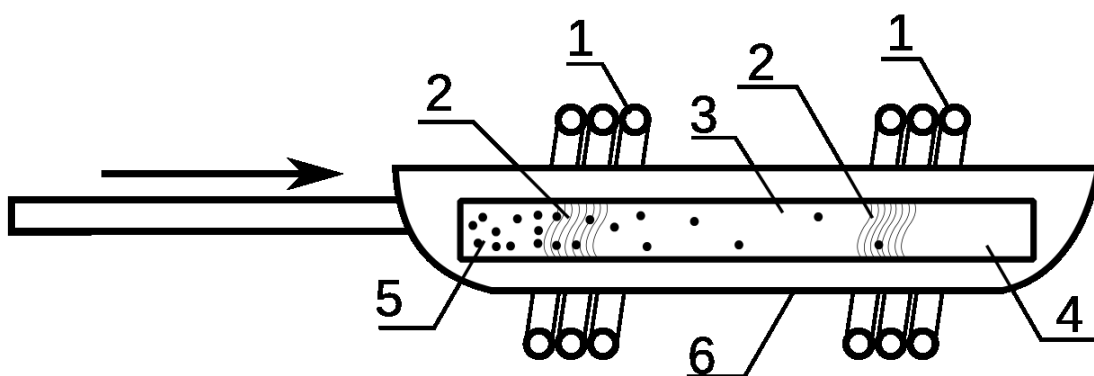
Ha'zirgi waqi'tta metod 1500 den aslam zatlardi' tazalaw ushi'n qollani'ladi'.

Qayi'qshadag'i' zonali'q yeritiw ushi'n bolg'an u'skenenin' sxemasi' 3.1-su'wrette ko'rsetilgen.

Tazalani'wshi' zatti' qi'yi'n yeriwshi materialdan bolg'an qayi'qshag'a jaylasti'rami'z. Qayi'qsha materiali'na qoyi'latug'i'n tiykarg'i' talaplar to'mendegishe:

Yeriwdin' joqari' temperaturasi';

Qayi'qsha materiali' tazalang'an zatta yerimewi yamasa woni'n' menen ta'sir yetispewi kerek.



16 – su'wret. Germaniydin' zonali'q yeritiliwi ushi'n bolg'an u'skenenin' sxemasi':

1-indukciyalı'q katushkalar; 2-eritilgen zonalar; 3-tazalang'an germaniy; 4-ju'da' taza germaniy; 5-joqari' mg'dardag'i' qosi'mtalarg'a iye germaniy; 6-grafit qayi'qsha.

Qayi'qsha gorizontaı trubag'a jaylasti'ri'li'p, woni'n' bir ta'repi kepserlenedi yamasa wol arqali' inert gaz beriledi. yeger wol kepserlengen bolsa, wonda trubani'n' basqa ta'repi vakuum quri'lma menen baylani'sqan boladi'.

U'lginin' bir ta'repi yeritiledi, wonnan keyin yeritilgen zona quyi'lma boylap ha'reketlene baslaydi'. yeritilgen zonani'n' uzi'nli'g'i' quyma

uzi'nli'g'i'na baylani'sli' ha'm bir neshe santimetrni quraydi'. Zat yamasa indukciyalig' tok penen, yamasa qarsi'li'q pechindegi (oshag'i'ndag'i') ji'lli'li'q beriliwi yoritiledi. Ha'reket tezligi, qag'i'ya boyi'nsha, sanaatta bir neshe millimetrdan bir neshe santimetrge shekemni quraydi'. Ha'reket yamasa qayiqshani' ji'li'spaytug'i'n woshaq arqali' tarti'w yesabi' menen, yamasa qizdi'ri'w zonasi'n ji'li'sti'ri'w arqali' ali'p bari'li'wi' mu'mkin. Ayi'ri'm waqitlari' effektivlikni joqari'lati'w ushi'n zonani'n' wo'tiw sani'n yamasa zonalar sani'n joqari'latadi'. Qosi'mtani'n' bo'listiriliwi bo'listiriliw koefficienti menen xarakterlenadi ha'm wol to'mendegige ten':

$$K = \frac{C_s}{C_L},$$

Bul jerde, $\tilde{N}^s$ -qatti' fazadag'i' qosi'mta koncentraciyasi', S^L - suyi'q fazadag'i' qosi'mtani'n' koncentraciyasi'.

Ayi'ri'm waqitlari' bo'listiriliw koefficienti K worni'na bo'liniw koefficienti α qollani'ladi' ha'm wol to'mendegige ten':

$$\alpha = \frac{C_s (1 - C_L)}{C_L (1 - C_s)}.$$

Bo'listiriw koefficienti $K < 1$ bolg'an qosi'mtalar yoritilgan zonada ji'ynaladi' ha'm woni'n' menen birgelikte quyma aqi'ri'na ji'li'sadi'. Basqa ta'repten, yoritilgan zonadan $K < 1$ bolg'an qosi'mtalarg'a sali'sti'rg'anda tazaraq bolg'an zatti'n' qatlamlari' payda boladi'. $K < 1$ bolg'an qosi'mtalar kerisinshe, quymani'n' basi'na ji'ynaladi'. yeger yoritilgan zona ko'p ma'rtebe wo'tkerilse, wonda $K < 1$ qosi'mtalar ushi'n bul metod effektivligi kem. Quymani'n' yen' taza bo'lekleri (ortasi'nan) a'sbaplardi' tayarlawda qollani'ladi'. Bunday metod penen germaniydi shama menen qosi'mtani'n' bir atomi' germaniydin' 1010 atomi'na qalatug'i'n sali'sti'rmali' qarsi'li'g'i' 70 $\hat{n} \cdot \tilde{n}$ bolg'an u'lgilerga shekem tazalaw mu'mkin.

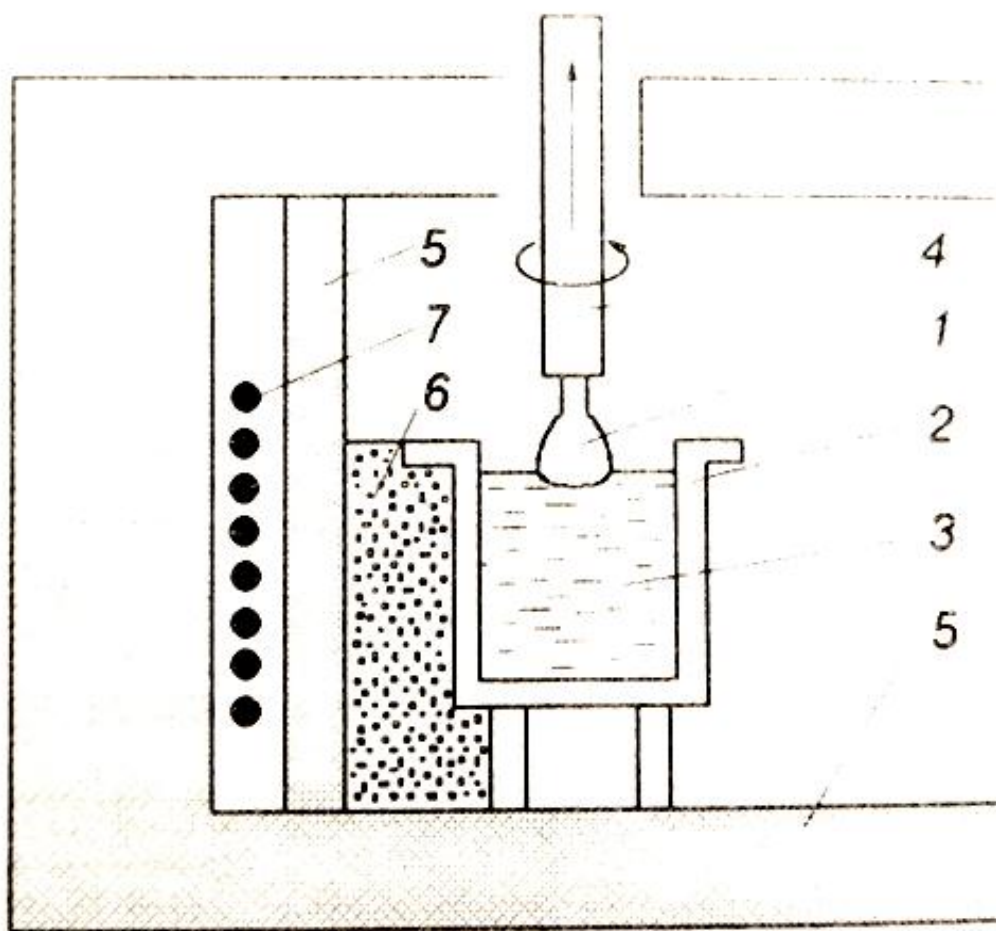
Yeger yoritindi tigel (qayiqsha) materiali' menen reaksiyag'a kirishe, yamasa tazalani'wshi' zat joqari' yeriw temperaturasi'na ($> 1500^\circ C$) iye bolsa, tigelsiz zonali'q yeritildi qollani'ladi'.

Metod ko'plegen kemshiliklarga iye. Tiykarg'i' kemshiligi – bul masshtablaw mu'mkin yemesligi, sebebi process tezligi qosi'mtani'n' diffuziya tezligi menen ani'qlanadi'. Soni'n' ushi'n metod ju'da' taza zatlardi' ali'wda tazalawdi'n' aqi'rg'i' stadiyasi' ushi'n qollani'ladi'. Qayi'qshani'n' maksimal gabaritleri(sheklengen si'rtqi' kelbeti) – uzi'nli'g'i' 50 sm, qali'n'li'g'i' – 2-3 sm, yeritilgen zonani'n' uzi'nli'g'i' – 5 sm.

Choxralskiy usi'li'ni'n' tariyxi' 1916 ji'li' baslandi'. wo'tkerilgen ta'jiriybelerdi tu'sindiriwler waqti'nda, professor, YAn Choxralskiy, peroni' yeritindi bar tigelge si'ya da'wet worni'nda tu'siredi, bul waqi'tta ruchka perosi'ni'n' ushi'nda yeritindinin' kristallizaciyalani'wi' ani'qlang'an.

Ali'ng'an metall sharikti analizlew waqti'nda – woni'n' monokristalli'q strukturag'a iye yekenligi ani'qlang'an. yen' birinshi 1950 ji'li' AQSH ta ali'ng'an kristallardi'n' birewi germaniy monokristallari' boldi'.

Da'slepki qi'zdi'ri'wda ali'ng'an monokristall a'ste aqi'ri'nli'q penen yeritindiden ali'nadi'. Temperatura, qag'i'yda boyi'nsha induktorg'a ju'kletilgen quwatli'li'qti' wo'zgertiw joli' menen regulirovkalanadi'. Kristall, ali'w



17 – su'wret. Choxralskiy metodi' menen kristallardi' wo'siriw ushi'n quri'lma: 1-kristall, 2-tigel, 3-eritindi, 4-zatravka uslag'i'sh, 5-keramikali'q ji'lli'li'q izolyaciya, 6-joqari' temperaturali' ji'lli'li'q izolyaciya materiallari'nan islengen qosi'msha ji'lli'li'q izolyaciya, 7-induktor.

processinde tigel menen kontaktta bolmaydi', bul joqari' sapali'li'q ha'm tazali'qti' bildiredi, soni'n' ushi'nda Choxralskiy metodi' joqari' bahalanadi'.

Choxralskiy metodi' menen monokristallardi' ali'w ushi'n Omega kristall kompaniyasi' ta'repinen islep shi'g'ari'lg'an quri'lmalar ha'r qi'yli' tigel tu'rleri: molibden, volfram, grafit, kvarc, platina, iridiy ha'm t.b. lar menen ta'miyinlengen boli'wi' mu'mkin.

Quri'lmalardag'i' termoizolyaciya molibden, volfram, cirkoniy oksidi, alyuminiy oksidi, grafitlengen materiallar yamasa kvarc tiykari'nda qollani'li'wi' mu'mkin. Qi'zdi'ri'w indukciyali'q yamasa rezistivlik boli'wi' mu'mkin. Omega kristall kompaniyasi'ni'n' qa'niygeleri ha'r bir konkret kristall ushi'n yen' jaqsi' ji'lli'li'q izolyaciyasi'na iye materialdi', ji'lli'li'q tarmag'i'ni'n' ha'zirgi zamanago'y materiali'n tan'lap ali'wi' mu'mkin. Ayi'ri'm hallarda, u'lken uzi'nli'q ha'm diametrlerge iye iri ha'm ayri'qsha iri monokristallardi' wo'siriwde kristalldi'n' wo'siw zonasi'nda ji'lli'li'q maydani'ni'n' ha'm ji'lli'li'q sha'rtlerinin' turaqli'li'g'i'na za'ru'rlik payda boladi'. Bunday kristallardi'n' wo'siwinde yeriw da'rejesi tez pa'seyedi ha'm bul wo'siw zonasi'nda ji'lli'li'qti' jetkerip beriwdegi ha'm ji'lli'li'qti' ali'p ketiwdegi sharayatlardi' qayta bo'listiriwge ali'p keledi.

Choxralskiy metodi' menen kristalldi'n' wo'siw tezligi ji'lli'li'qti' ayi'ri'p beriw intensivligi menen ani'qlanadi'. Kristalldi' tarti'p ali'w tezligi ha'm kristalldi'n' wo'siw tezligi bir-birine tuwri' kelgende kristallani'w fronti' ha'reketsiz qalatug'i'n optimal sharayatlar payda boladi'. yeritiw da'rejesi pa'seyiwi mu'mkin, bul jag'dayda kristalldi'n' wo'siw tezligin qi'si'p shi'g'ari'w tezligin ha'm tigeldegi yeriw da'rejesinin' pa'seyiwin qosi'w joli' menen ani'qlaw mu'mkin.

Yeger kristallani'wdi'n' temperaturali'q gradienti turaqli' bolsa, wol quymani' qi'si'p shi'g'ari'w tezligi kemeyse, quyma diametri u'lkeyedi, bunda polikristalli'q wo'siw zonaları'ni'n' payda boli'wi' mu'mkin boladi'. Keri effekt bolg'an jag'dayda, yag'ni'y qi'si'p shi'g'ari'w tezligi joqari'lasa, temperaturalaradi'n' ji'lli'li'q gradientinin' berilgen sha'rtleri wori'nlang'anda

wo'siwshi quymani'n' diametrinin' kishireyiwine ali'p keledi. Ali'ng'an kristallardi'n' sapasi'na, tazali'g'i'na ha'm jan'alani'wi'na tiykari'nan kristallani'wdi'n' fronti' ta'sir yetedi.

Uli'wma qabi'l yetilgen ha'm a'debiyatta jazi'lg'an kristallani'wdi'n' bir neshe frontlari' bar. Jalpaq front, minimal radial temperaturali'q gradientlerdi du'ziw waqti'nda payda boli'wi' mu'mkin. Bunday front ji'lli'li'q ag'i'm wo'sip barati'rg'an kristallg'a asti'nan bag'i'tlandi'ri'lg'anda wonsha u'lken bolmag'an radial ji'lli'li'q ag'i'mi'nda payda boladi'.

Keyingi ji'llari' ali'ng'an kristallardi'n' tiykarg'i' tipleri wo'siriw waqti'nda quyma diametrin regulirovkalawdi' kishireytiw joli' menen, yamasa qi'si'p shi'g'ari'w tezligin asi'ri'w joli' menen regulirovkalawdi', aylani'w tezligin regulirovkalawdi' qollanbaydi'. Omega kristall kompaniyasi' qi'zdi'rg'i'shti'n' quwatli'li'g'i'n regulirovkalawdi' joqari' ani'qli'qtag'i' sistemani' qollanadi', bul wo'siwshi quymani'n' diametrin ani'g'i'rag'i' regulirovkalawg'a mu'mkinshilik beredi.

Omega kristall kompaniyasi' ta'repinen islep shi'g'i'lg'an Choxralskiy metodi' menen kristallardi' wo'siriw quri'lmasi' wo'siwshi kristalldi' preziciyali'q wo'lshew sistemasi' menen ta'miyinlengen. Basqari'w sistemasi' kristalldi'n' kerekli formasi'n buyi'ri'wg'a ha'm quymalardi'n' kerekli wo'lshe'm ha'm geometriyalari'n ali'wg'a mu'mkinshilik beredi. Kristalldi'n' wo'siwinde omega kristall kompaniyasi'ni'n' u'senesinde wo'siwdin' ha'r qi'yli' rejimlerin, ha'r qi'yli' atmosferani', inertli, okisleniwshi yamasa qayta quri'wshi' atmosferalardi'n' wo'tiwin yamasa toqtap turi'wi'n yamasa teren' vakuumde wo'tiwin paydalani'w mu'mkin.

To'mengi shtokti'n' aylani'wi'n ha'm ji'li'si'wi'n, joqarg'i' ha'm to'mengi shtoklardi'n' ji'li'si'wi' ha'm aylani'wi'ni'n' kombinaciyalang'an mu'mkinshiliklerin qollani'w mu'mkin. Qi'zdi'ri'w ha'm ku'ydiriw ushi'n quri'lmalar ko'p zonali' qi'zdi'rg'i'shlar menen, wo'siw bari'si'ndag'i' ku'ydiriw sistemasi' menen komplektleniwi mu'mkin. Ayi'ri'm hallarda qi'zdi'ri'w yamasa quymani'n' wo'siwin qadag'alaw processin baqlaw ushi'n

video kameralardi' qollani'w wo'zin aqladi'. Za'ru'r bolg'anda wo'siw zonasi' termopara yamasa pirometrler menen baqlanadi'.

Tigelsiz zonali'q yeritiw – tigel ha'm basqa tigel di qollanbaytug'i'n, formal tu'rde zonali'q yeritiwdin' bir tu'ri yesaplani'wshi' yeritindinin' kishi ko'leminen kristallardi' ali'w metodi'.

Tigeldin' bolmawi' haqi'yqati'nda energiyani' yeritilgen zonag'a beriw usi'li'ni'n' ha'm woni' tigeldegi zonali'q yeritiwge sali'sti'rg'anda shi'g'ari'w usi'li'ni'n' wo'zgeriliwine ali'p keledi; zonada fizikali'q processlerdin' wo'tiwin radikal tu'rde wo'zgeritedi; yeritindi ha'm kristalldi'n' tigel materiali' menen wo'z-ara ha'reketi arqali' kiritiliwshi kernewler ha'm i'laslani'wlardi'n' joq boli'p ketiwine ali'p keledi. YAg'ni'y, formal tu'rdegi uqsasli'g'i'na qaramastan, tigelsiz zonali'q yeritiw tigeldegi zonali'q yeritiwden yen' a'hmiyetli tu'rde wo'zgeshe boladi'.

Tigelsiz zonali'q yeritiwdi ha'm yerimegen material ta'repinen payda boli'wshi' tigel formal tu'rde qatnasatug'i'n suwi'q tigeldegi (garnisaj) zonali'q yeritiwdi ayi'ri'p biliw kerek.

Qayta yeritilgen materialdan bolg'an tayarlang'an material ha'm ha'r qi'yli' diametrdegi sterjenler tu'rindagi qi'zdi'ri'wshi' kristall bir ko'sherde jaylasti'ri'ladi', wolardi'n' shetleri yeritiledi ha'm bir-birine tiyetug'i'n tu'rge keltiriledi. Tayarlang'an material ha'm qi'zdi'ri'wshi' (yamasa ayi'ri'm tayar) kristall arasi'ndag'i' yeriw zonani' uslap turi'wg'a yeritindinin' betkerimi ku'shi juwap beredi.

Yeritilgen zonani'n' temperaturasi' to'menletilgende tayarlang'an material di'n' ha'm qayta kristallang'an materialdi'n' birigip ketiwi ha'm wonnan keyin jabi'sti'ri'lg'an wori'nlardi'n' si'ni'wi' ha'm zonani'n' bo'linip ketiwi mu'mkin. Zona qi'zdi'ri'lg'anda yeritilgen materialdi'n' massasi' wo'sedi ha'm yeritindinin' zonadan to'gilip ketiwi mu'mkin. Qatti' tarti'w tezligin, zona ha'm ji'lli'li'q maydanlari'ni'n' konfiguraciyasi'n, ton'lap qali'wdi'n' aldi'n ali'w yamasa zonani'n' ag'i'p ketiwinin' aldi'n ali'w ushi'n beriletug'i'n energiyani'n' mug'dari'n tan'law boli'p yesaplanadi'.

Juwmaqli'wshi' kristalldi'n' diametri u'lken bolg'an jag'dayda zona formasi' bir-biri menen juqa qi'snaq penen baylani'sqan yeki tamshi' tu'rinde boli'wi' mu'mkin. Bunday jag'dayda induktivlik qi'zdi'ri'w elementi qi'snaq a'tirapi'nda monokristalldi'n' periferiyali'q oblastlari' u'stinde jaylasi'wshi' jalpaq bo'lekshege iye boladi'. Tayarlang'an materialdi' ha'm qi'zdi'ri'wshi' kristalldi' wonda qa'liplesiwshi tayar kristall menen ha'm yeritilgen zona menen ayi'ri'lg'an tu'rinde a'stelik penen to'menge qi'zdi'ri'w zonasi'na sali'sti'rmali' tu'rde, yeritilgen zona a'ste aqi'ri'n tayarlang'an materialdi'n' jan'a uchastkalari'n jutatug'i'n yetip ha'm to'mendegi zonadan a'ste aqi'ri'n tayar kristall shi'g'i'p keletug'i'nday yetip jaylasti'radi'. Bul halda tayarlang'an material a'ste aqi'ri'n yeriydi, al tayar kristall a'ste aqi'ri'n tayarlang'an material yeritilgen waqi'tta kelip qosi'li'wshi' yeritindiden wo'sedi. Tayar kristallda wonsha u'lken bolmag'an diametrge sali'sti'rmali' sterjennen turadi'.

Tayar kristalldi'n' kristallografiyali'q orientaciyasi'n berilgen orientaciyani'n' qi'zdi'ri'wshi' monokristalldi' to'mende wornati'w menen basqari'w mu'mkin. Kristalldi' legirlewden sali'sti'rmali' tu'rde tar sheklerde legirlewshi elementlerdi wo'siriw u'skenesinin' gaz wortali'g'i'na kiritiw joli' menen basqari'w mu'mkin.

Uli'wma jag'dayda juwmaqlawshi' quyma diametrleri ha'm da'slepki tayarlang'an materialdi'n' diametrleri bir-birine tuwri' kelmewi mu'mkin. Qag'i'yda boyi'nsha, tayarlang'an material diametri juwmaqlawshi' kristall diametrine ten' yamasa kishi boladi' (kishi diametrdegi tayarlang'an material ni' yeritiw an'sat, biraq bul juwmaqlawshi' kristalldi'n' uzi'nli'g'i'ni'n' kemeyiwine ha'm u'skenenin' biyikligi ha'm islewshi ko'leminin' wo'siwine ali'p keledi).

Texnologiyali'q process to'mendegi stadiyalardan turadi':

1. wo'stiriwshi u'skenede qi'zdi'ri'wshi' kristalldi' ha'm tayarlang'an materialdi' jaylasti'ri'w, u'skeneni vakuumlaw, kerek bolg'an jag'dayda qorg'awshi' atmosferani' du'ziw;

2. To'mengi bo'limnin' qi'zdi'ri'w zonasi'na tayarlang'an materialdi' kiritiw ha'm woni' wonsha u'lken bolmag'an tamshi' payda bolg'ang'a shekem yeritiw;

3. Qi'zdi'ri'w zonasi'na qi'zdi'ri'w kristali'n kiritiw ha'm woni' tamshi' menen kontaktqa keltiriw;

4. Qi'zdi'ri'w kristali'n strukturasi' buzi'lmag'an uchastkag'a shekem yeritiw ushi'n qi'zdi'ri'w kristali'n tayarlang'an material menen birgelikte keril (joqari'g'a) beriw;

5. Tiykarg'i' kristalldi'n' izbe-iz wo'siw bari'si'nda qi'zdi'ri'w kristali'n tayarlang'an material menen birgelikte tuwri' (to'men) beriw;

6. Zonali'q tazalaw wo'tkergen waqi'tta yeritilgen zonani'n' wo'tiwi bir kristalldi'n' barli'q uzi'nli'g'i' boylap tuwri' berilgende bir neshe ma'rte qaytalani'wi' mu'mkin – bunda qosi'mtalar wo'siwshi kristalldan woni'n' to'mengi bo'limine shi'g'ari'p taslanadi';

7. Suwi'ti'li'w ha'm kristalldi' u'skeneden shi'g'ari'w, keyingi yeritiwge tayarli'q.

Usi'ldi'n' modifikaciyasi' Zonani' qi'zdi'ri'w di'n' jollari':

1) indukciyalı'q maydan menen qi'zdi'ri'w – wo'tkizgishlerdin' ha'm Yari'mo'tkizgishlerdin' (mi'sali', kremniydin') monokristallari'n wo'siriw ushi'n qollani'ladi'.

2) optikali'q dereklerden qi'zdi'ri'w (optikali'q zonali'q yeritiw dep atali'wshi') – dielektriklerdin' ayri'qsha taza kristallari'n, mi'sali', oksidli'q kristallardi', granatlardi' ha'm t.b. lardi' wo'siriw ushi'n qollani'ladi'.

3) rezistiv qi'zdi'rg'i'sh penen qi'zdi'ri'w – an'sat yeriwshi dielektrikler kristallari'n wo'siriw ushi'n qollani'ladi'.

Qayta kristallang'an ha'm qayta kristallanbag'an sterjenler arasi'ndag'i' bir ko'sherlik bolmag'an da'rejege iye metodti'n' modifikaciyasi' da bar yekenligi ani'q.

"Puwlani'wshi' yeritinde" dep atali'wshi' metodti'n' modifikaciyasi' da bar, biraq yele ken'nen a'meliy qollani'wg'a iye yemes – induktor maydani'nda

qandayda bir tigel siz yeritindinin' tamshi'si' puwlandi'ri'ladi', woni' sa'ykes keliwshi konfiguraciyani' ha'm maydan intensivligin tan'law menen ha'm qi'zdi'ri'wshi' kristalldi' kiritiw menen qayta kristallaw mu'mkin.

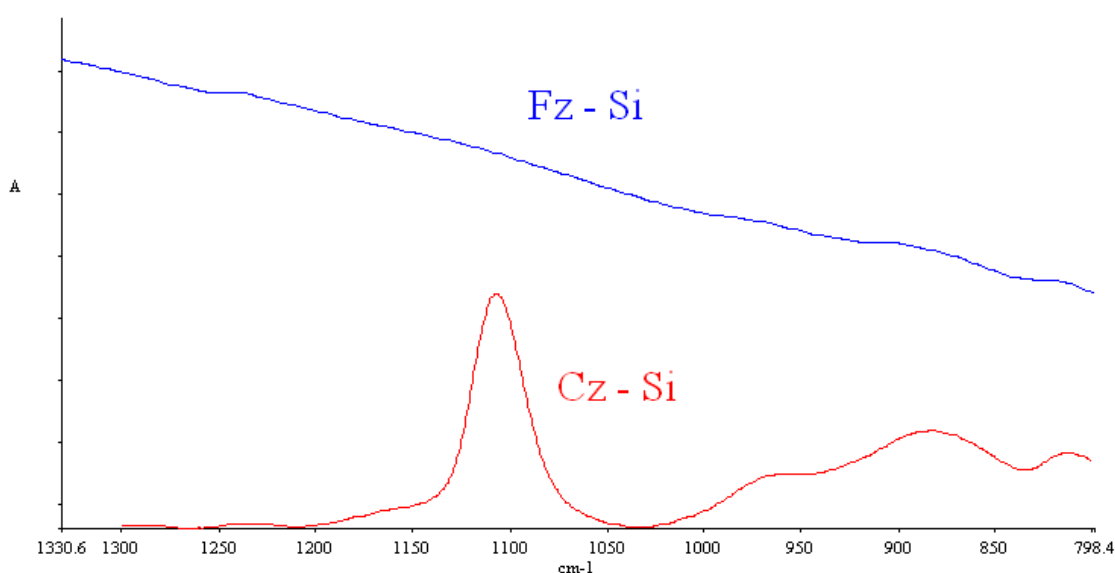
2008-shi ji'li' usi' ta'rizde yeritiw maydani'nda uslap turi'lg'an maksimal salmaq 30-40 grammdi' quradi'.

A'meliy qollani'w: Tigelsiz zonali'q yeritiw birinshi gezekte ju'da' taza monokristallardi' ali'w ushi'n qollani'ladi', bul qayta yeritiliwshi materialdi'n' basqa texnologiyali'q materiallar menen kontakti'ni'n' joqli'g'i' menen belgilengen. Si'rtqi' dereklerden pataslani'wlardi' kirgiziw bolmag'an halda tayarlang'an material da bar bolg'an qosi'mtalardi' qi'si'p shi'g'ari'w Yari'm wo'tkizgish sanaati' ushi'n, atap aytqanda, polikremniy sapasi'n tekseriwde shiyki zat sapasi'n islep shi'g'ari'wdag'i' qadag'alawdi' wo'tkeriwde tigelsiz zonali'q yeritiwdi qollani'wdi' talap yetti.

Tigelsiz zonali'q yeritiw dissociyalamaytug'i'n okisli'q birikpelerdin' ju'da' taza monokristallari'n wo'siriw ushi'n qollani'ladi'. wo'siriw processi atmosferada wo'tkeriliwi mu'mkin, al zonag'a energiyani'n' beriliwi optikali'q nurlani'wdi' fokuslaw arqali' ali'p bari'ladi'. Bul jag'dayda metodti' "optikali'q zonali'q yeritiw" dep ataw mu'mkin.

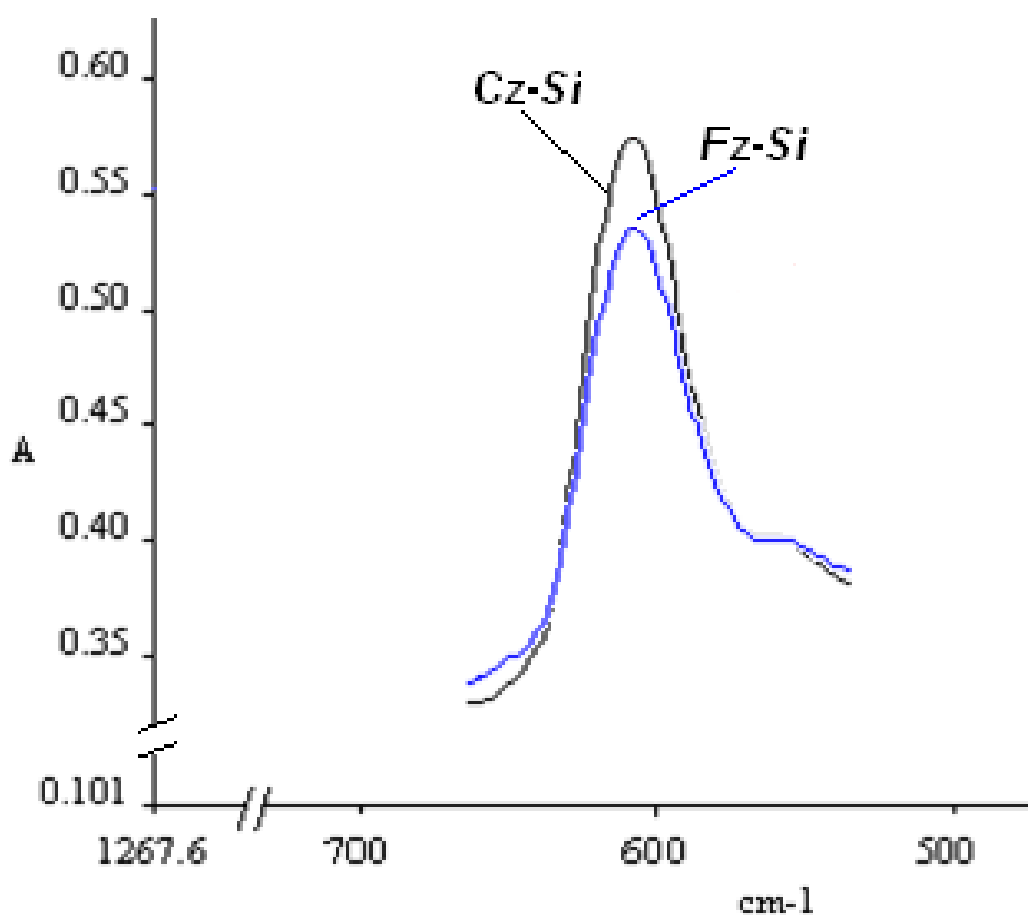
§3.3. Kremniy monokristallari'n wo'siriw waqti'nda payda bolatug'i'n defektler

Choxralskiy (Cz-Si) ha'm tigelsiz zonali' yeritiw (Fz-Si) usi'llari'nda wo'sirilgen kremniy monokristallari'nda infraqi'zi'l nurlardi'n' juti'li'w spektrine itibar bersek 18 – su'wret. spektrdin' 1106 sm^{-1} a'tirapi'nda juti'li'w piklerin ko'remiz. Kremniy monokristallari'nda infraqi'zi'l nurlardi'n' 1106 sm^{-1} de juti'li'wi' Si-O-Si kvazimolekulari' menen baylani'sli'. Bunnan Choxralskiy usi'li'nda wo'sirilgen kremniy monokristallari'nda kislorod ju'da' joqari' koncentraciyada bar yekenligin ani'q ayta alami'z. Buni'n' tiykarg'i' sebebi Choxralskiy usi'li'nda wo'siriw processinde tigelden yeritpege ju'da' ko'p mug'darda kislorod atomlari' wo'tedi. Tigelsiz zonali' yeritiw usi'li'nda wo'sirilgen kremniy monokristallari'nda infraqi'zi'l nurlardi'n' juti'li'wi' baqlanbag'an. Piklerdin' joqli'g'i' monokristallda arti'qsha element atomlari' joq yekenligin bildiredi.



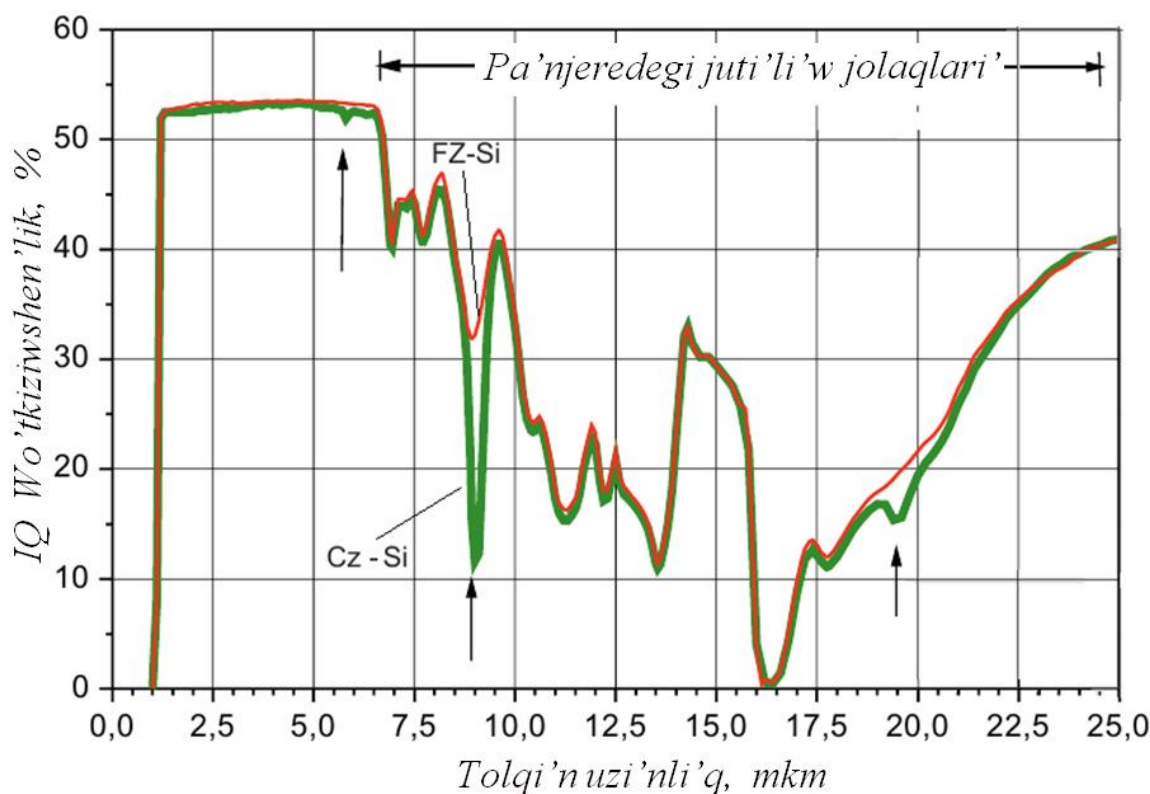
18 – su'wret. Spektrdin' 1106 sm^{-1} a'tirapi'nda juti'li'w pikleri

Choxralskiy ha'm tigelsiz zonali' yeritiw usi'llari'nda wo'sirilgen kremniy monokristallari'nda infraqi'zi'l nurlardi'n' juti'li'w spektrinde ja'ne bir juti'li'w piki bar boli'p, wol spektrdin' 607 cm^{-1} a'tirapi'nda ani'qlanadi'. Bunday juti'li'w a'debiyatlardan belgili bolg'ani'nday kremniy-uglerod (Si-S) atomlari'nda ju'z beredi. Juti'li'w piki bul yeki usi'lda wo'sirilgen kremniy monokristallari'nda ani'qlang'anli'g'i'nan uglerod penen baylani'sli' bolg'an defektlerdin' payda boli'wi' wo'siriw usi'li'na baylani'sli' yemes dep juwmaq shi'g'ari'wi'mi'z mu'mkin (19- su'wret).



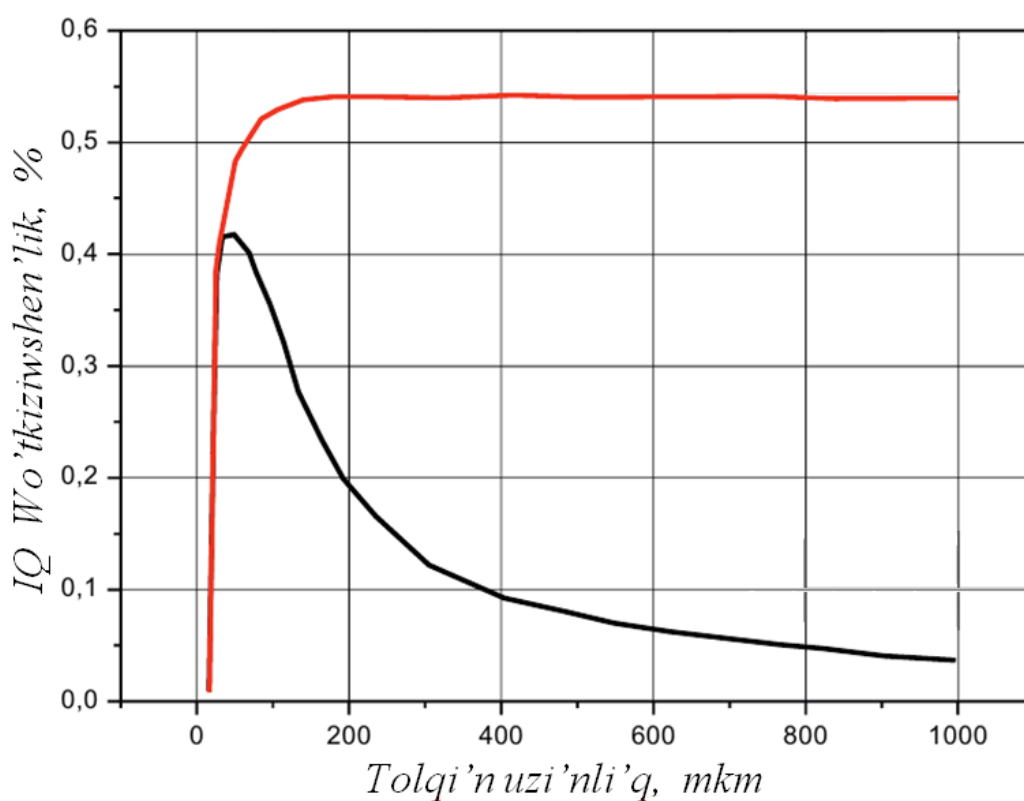
19- su'wret. Choxralskiy ha'm tigelsiz zonali' yeritiw usi'llari'nda wo'sirilgen kremniy monokristallari'nda infraqi'zi'l nurlardi'n' juti'li'w spektrinde juti'li'wi.

[12] jumi'sta Choxralskiy ha'm zonali' yeritiw usi'llari'nda wo'sirilgen kremniy monokristallari'nda eksperiment na'tiyjeleri keltirilgen (20- su'wret). Bul yeki infraqi'zi'l nurlari'ni'n' juti'li'w spektrin sali'sti'rsaq 5.8, 9.1 ha'm 19.4 mkm de tek g'ana Choxralskiy usi'li'nda wo'sirilgen monokristallda juti'lg'anli'g'i'n ko'riwimiz mu'mkin. Bunday tolqi'n uzi'nli'qlari'ni'n' juti'li'wi' (1724, 1098 ha'm 515 sm^{-1}) kremniy-kislorod kompleksleri dep atali'wshi' baylani'sta ju'z beredi. bunday ko'rsetkish Choxralskiy usi'li'nda wo'sirilgen monokristallarda kislorod atomlari' zonali' yeritiw usi'llari'nda wo'sirilgen kremniy monokristallari'na qarag'anda ju'da' ko'p yekenligin ko'rsetedi.



20- su'wret: Choxralskiy ha'm zonali' yeritiw usi'llari'nda wo'sirilgen kremniy monokristallari'nda eksperiment na'tiyjeleri.

Vodorod yen' a'piwayi' ha'm atomi'ni'n' wo'lshemi kishi element bolg'anli'qtan kremniy monokristallari'n wo'siriw processinde woni'n' qurami'na kirip qali'w itimalli'g'i' joqari' boli'p, a'dette wol u'lken koncentrasiyada ushi'raydi'. Infraqi'zi'l nurlari'ni'n' vodorod penen baylani'sli' bolg'an defektlerde (Si-H₂ [18]) juti'li'wi' spektrdin' 912 sm⁻¹ (~11 mkm) a'tirapi'nda ko'rinip tur. Spektrdin' 615 sm⁻¹ (~16.25 mkm) oblasti'nda bolsa, infraqi'zi'l nurlari' Si-S molekullari'nda toli'q juti'lg'an.



21- su'wret: Choxralskiy ha'm zonali' yeritiw usi'llari'nda wo'sirilgen ha'm sali'sti'rmali' qarsi'li'g'i' joqari' bolg'an kremniy monokristallari'nda infraqi'zi'l nurlardi'n' juti'li'w spektrleri.

21- su'wretke itibar qaratsaq Choxralskiy ha'm zonali' yeritiw usi'llari'nda wo'sirilgen ha'm sali'sti'rmali' qarsi'li'g'i' joqari' bolg'an kremniy monokristallari'nda infraqi'zi'l nurlardi'n' juti'li'w spektrleri bir birinen a'dewir pari'qlanadi'. Spekrde 50 mkm ge shekem yeki monokristallda da juti'li'w birdey bolg'an. 50 mkm den u'lken tolqi'n uzi'nli'qta zonali' yeritiw usi'llari'nda wo'sirilgen kremniy monokristallari'nda derlik 150 mkm oblasti'na shekem juti'li'w kemeygen ha'm keyinen wo'zgermey qalg'an. Demek, u'lken sali'sti'rmali' qarsi'li'qqa iye Fz-Si monokristallardi' 150-1000 mkm diapazondag'i' nurlani'w ushi'n mo'ldir dene dep qarawi'mi'z mu'mkin. Al, Choxralskiy usi'li'nda wo'sirilgen kremniy monokristallari'nda bolsa 50 mkm den u'lken diapazondag'i' infraqi'zi'l nurlari'ni'n' juti'li'wi' artadi'.

JUWMAQ

1. Tigelsiz zonali'q yeritiw ju'da' taza monokristallardi' ali'w ushi'n qollani'ladi', bul qayta yeritiliwshi materialdi'n' basqa texnologiyali'q materiallar menen kontakti'ni'n' joqli'g'i' menen belgilengen.
2. Choxralskiy usi'li'nda wo'sirilgen monokristallarda kislorod atomlari' zonali' yeritiw usi'llari'nda wo'sirilgen kremniy monokristallari'na qarag'anda ju'da' ko'p yekenligin ko'rsetedi.
3. Choxralskiy usi'li'nda wo'sirilgen kremniy monokristallari'nda kislorod ju'da' joqari' koncentraciyada bar yekenligin ani'q ayta alami'z. Buni'n' tiykarg'i' sebebi Choxralskiy usi'li'nda wo'siriw processinde tigelden yeritpege ju'da' ko'p mug'darda kislorod atomlari' wo'tedi.
4. Tigelsiz zonali' yeritiw usi'li'nda wo'sirilgen kremniy monokristallari'nda infraqi'zi'l nurlardi'n' juti'li'wi' baqlanbag'an. Piklerdin' joqli'g'i' monokristallda arti'qsha element atomlari' joq yekenligin bildiredi.
5. Arali'q qosi'msha ju'klemelerge iye Choxralskiy usi'li'.— bul tigellerdi qaytadan qollani'w yesabi'nan ha'm processler arasi'ndag'i' xi'zmet ko'rsetiwge ha'm qorg'aw atmosferasi'n du'ziwge jumsalatug'i'n waqi'tti' qi'sqarti'w yesabi'nan wo'siriw quri'lmalari'ni'n' islep shi'g'ari'wi'n asi'ri'w ha'm qa'rejetlerdi qi'sqarti'w boli'p yesaplanadi'.

PAYDALANI'LG'AN A'DEBIYATLAR DIZIMI I

I.O'ZBEKISTAN RESPUBLIKASI'NI'N' NI'ZAMLARI'

1.O'zbekiston Respublikasi konstitutsiyasi Toshkent, O'zbekiston 16-aprel 2014 yil

2.O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "PQ-1836-son qarori asosida "Axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini joriy etish va rivojlantirish to'g'risida"gi farmoni. 23 oktyabrdagi 2012 yil

3.O'zbekiston Respublikasi Prezidentining PQ 1875 son qarori asosida "Chet tillarini o'rganish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi 10-dekabr 2012-yildagi farmoni.

II. PREZIDENT MIYNETLERI

4. I.A.Karimov «Yuksak manaviyat engilmas kuch» Toshkent, "Manaviyat" 2008

5. I.A.Karimov «Vatanimiz bosqichma-bosqich va barqaror rivojlanishini tamiynlash-bizning oily maqsadimiz» Toshkent «Uzekiston» 2009

6. I.A.Karimov. «Worta a'sirler Shig'is ali'mlari' ha'm voyshi'llari'ni'n' tariyx'i'y miyrasi', wonin' ha'zirgi zaman civilizaciyasi'ni'n' rawajlani'wi'ndag'i' roli ha'm a'hmiyeti» atamasi'ndag'i' Xali'qarali'q konferenciyasi'ni'n' ashi'li'w ma'resiminde so'ylegen so'zi. «Xalq so'zi» gazetasi',2014 ji'l 16 may, № 95 (6026)

III. TIYKARG'I' A'DEBIYATLAR

7. И.Ф.Червоный. Механизм ускоренной кристаллизации кремния. Прекладная физика и материаловедение, Восточно-Европейский журнал передовых технологий 6/5 2011.

8. В.С. Вавилов, В.Ф. Киселев, Б.Н. Мукашев. Дефекты в кремнии и на его поверхности. Наука, М. (1990).
9. Попова А.А. Рост кристаллов, т.6 – М.: Наука, 1965,
10. Талипов Ф.М. Влияние иттербия на радиационное дефектообразование в кремнии ФТП 1997, том 31, N 6. Стр 728-729.
11. Мильвидский М.Г., Освенский Б.Б, Структурные дефекты в монокристаллах полупроводников. М, Металлургия, 1984, 25682, с
- Рейви К. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии. Пер. с англ., М., Мир, 1984, 471 с.
12. Конозенко И.Д., Семенюк А.К., Хиврич В.И. Радиационные эффекты в кремнии - Киев: Наукова думка, 1974
- Простомолотов А.И., и др. Устройство для выращивания монокристаллов кремния методом Чохральского //Заявка на патент РФ, № 2008147553, 2008.

IV. QOSI'MSHA A'DEBIYATLAR

13. Смирнов Л.С. Вопросы радиационной технологии полупроводников. Новосибирск: Наука, 1980. С. 20.
14. Лейман К. Взаимодействие излучения с твердым телом и образование элементарных дефектов. - М.: Атомиздат, 1979
15. Коноплева Р.Ф., Литвинов В.Л., Ухин Н.А. Особенности радиационного повреждения полупроводников частицами высоких энергий. - М.: Атомиздат, 1971
16. Л.И. Хируненко, В.И. Шаховцов, В.К. Шинкаренко, Л.И. Шпинар, И.И. Ясковец. Особенности процессов радиационного дефектообразования в кристаллах $Si_{1-x}Ge_x$. ФТП, т.21. вып.3. (1987), с.562-565.
17. Вerezub N.A., и др. // Материаловедение. № 3. 2004.
- Третьяков Ю.Д. «Нанотехнологии. Азбука для всех.» Физматлит, 2009

18. Н.А. Соболев, Р.Н. Кютт, В.И. и др. Дефектообразование в имплантационных Si:O и Si:Si светоизлучающих структурах с дислокационной люминесценцией // Материалы XI Межд. Симпозиума "Нанопизика и наноэлектроника", Н.Новгород, с.428-429 (2007).

19.Н.А.Соболев, А.Е. Калядин. Дислокационная фотолюминесценция в кремнии, имплантированном ионами кремния //Труды XVIII Межд. совещания «Радиационная физика твёрдого тела», Севастополь, Украина, с.11-18 (2008).

20. А.И.Белогорохов, В.А.Караванский, Л.И.Белогорохова, Физика и техника полупроводников, т.30, вып. 7, 1996

V.ILIMIY JURNALLARDAG'I' MAQALALAR

21. Akimova J,Jumabaev M,Xojanazarova R,Qurbanbaeva G. Choxralskiy ha'm tigelsiz zonali'q balqi'ti'w usi'llari'nda $Si_{1-x}Ge_x$ monokristallari'ni'n' 5560 sm^{-1} a'tirapi'nda IQ spektri Berdaq ati'ndag'i' qaraqalpaq ma'mleketlik universiteti xabarshi'si' No'kis 2014.

22. G.P.Qurbanbaeva Elektronlar menen nurlandirilg'an $Si_{1-x}Ge_x$ monokristallarindag'i' divakanciyalarg'a ku'ydiriwdin' ta'siri."XXI asir intellectual awlad asri" shiori ostida jas alimlar ha'm studentlerdin' hududiy ilimiy a'meliy konferenciyasi' No'kis 2015

VI.INTERNET SAYTLARI'

23. <http://www.tydexoptics.com/pdf/ru/>

24. www.physics.riew.com

25. www.firscwolar.com

