УДК: 621.315.592.

Б Б.Чотонов
физика-математика илимдеринин кандидаты, доцент
Жалал –Абад илимий борбору, УИА КР
Jak1989kg@mail.ru

КРЕМНИЙ КРИСТАЛЛЫН ОТУРУКТАШТЫРУУ ПРОЦЕССИНДЕ АРАЛАШМА ЛАРЫНЫН ИЧКИ ЭНЕРГЕТИКАЛЫК АБАЛДАРЫ

Кремний кристаллын отурукташтыруу процессинде, аралашмалардын абалдарын ички энергетикалык абал параметри аркылуу аныктоо.

Негизги сөздөр: поликристал, монокристал, трихлорсилан, тетрохлорида, электроника, микроэлектроника, наноэлектроника, нанотехнология, экстенсивдүү параметр, кварц тигели

Б.Б.Чотонов
кандидат физико-математических наук, доцент
Жалал-Абадской научный центр ЮО НАН КР

ВНУТРЕННЕЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ ПРИ ПРОЦЕССЕ ОСАЖДЕНИЯ КРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ

Определено внутреннее энергетическое состояние примесей, при процессе осаждения кристаллов кремния

Ключевые слова: поликристалл, монокристалл, трихлорсилан, тетрохлорида, электроника, микроэлектроника, наноэлектроника, нанотехнология, экстенсивное параметр. кварцовый тигель.

B. B. Chotonov
Candidate of physical and mathematical Sciences, associate Professor
Jalal-Abad scientific center SB NAS KR

THE INTERNAL ENERGY STATE OF THE IMPURITIES DURING THE DEPOSITION PROCESS OF SILICON CRYSTALS

Determination of the internal energy state of impurities during the deposition of silicon crystals

Киришүү. Бүгүнкү күнү дүйнөлүк окумуштуулар микроэлектрониканы багынтып, наноэлектрониканы башкарууну максат кылуу менен тынымсыз изилдөөнүн үстүндө эмгектенишүүдө.

Учурда бүткүл дүйнө элдеринин микроэлектроникага болгон муктажды гы 2010- жылдары 10% дан 40% га жетсе, 2018- жылга муктаждык 90% га өсүп жетти. Ал эми 2008- жылдары микроэлектрониканын сырьесу болгон поли- жана монокристаллдык кремнийди өндүрүүнүн көлөмү 60 000 тоннага жетсе, бүгүнкү күнгө 150 000 тоннага жетти [1]. Бул дегендик дүйнөлүк коомчулуктун микроэлектроникага болгон суроо талабы 2,5 эсеге өстү дегенди түшүндүрөт.

Азыркы учурда дүйнөлүк көйгөйлөрдүн эң негизгилеринин бири, поли- жана монокристаллдык кремнийди өндүрүү болуп саналат. Ошондуктан бул көйгөйлөрдүн үстүндө илим изилдөө өз актуалдуулугун жоготкон жок.

Микроэлектроникага, наноэлектроникага болгон дүйнөлүк коомчулуктун суроо талабын, канааттандырууну өлкөбүз колго алса болот. Анткени Орто – Азияда жападан

жалгыз микроэлектроникага керектелүүчү поли- жана монокристаллдык кремний өндүрүүчү Таш-Көмүр "Солар" заводубуз бар. Микроэлектроникалык жана наноэлектроникалык приборлордун сапаттуулугу, негизги сырьесунун сапаттуулугуна көз каранды болот. [2].

Ошол себептен бүгүнкү күнү завод өз алдына өндүргөн поликристаллдык жана монокристаллдык кремнийинин сапаттуулугун арттыруу маселесин коюуда. Бул маселе бүгүнкү күнү дүйнөлүк проблемаларга айланды. Мындай проблеманын үстүндө бүгүнкү күнү илимий изилдөөлөр жокко эсе. Ошондуктан биз бул дүйнөлүк проблемаларды Таш- Көмүр "Солар" заводу менен биргеликте чечүүгө аракеттенип жатабыз. Бул уникалдуу заводдун кубаттуулугу 5000 тонна поли- жана монокристаллдык кремнийди өндүрүүгө ылайыкташтырылып курулган. Дүйнөлүк базарга Кыргызстан арзан ошондой эле өтө сапаттуу төмөнкүдөй поли- жана монокристаллдык кремнийди өндүрүп берүү мүмкүнчүлүгүнө ээ: Мисалы:

1. Күн энергиясын колдонуучу монокристаллдык кремнийин;
2. Электрдик сапаттуулуктагы монокристаллдык кремнийин;
3. Күн энергиясын электр энергиясына айландыруучу монокристаллдык кремний пластиналарын;
4. Фотоэлектрдик түзүлүштөрүн;
5. Кварс тигелдерин [1,2].

Мында завод поли- жана монокристаллдык кремнийди өндүрүүдө алгач трихлорсиланды ($SIHCI_3$) жана тетрахлориданы($SICI_4$) өндүрөт [3,4]. Бул жогорудагы алынган кремний хлоридин тазалоо процесстерине жөнөтөт. Ал эми тазалоонун төмөнкүдөй эки процесси бар:

1. Кремний хлоридинен аралашма хлоридденрди тазалоо (конденсациялоо) процесси;
2. Кремний кристаллын кремний өзөкчөсүнө отурукташтыруу прцесси [5,6,7].

Мындагы изилдөө негизинен кремний кристаллдарын кремний өзөкчөсүнө отурукташтыруу прооцессинде арналган. Мында изилдөөнү кремний кристаллдарын кремний өзөкчөсүнө отурукташтыруу процессинде, системадагы аралашмалардын ички энергетикалык абалдарын (dH) аныктоо үчүн өзөкчөгө отурукташтыруучу температуралар 1473(K) - 1573(K) аралыгынын ар бир кадамында, төмөнкү (1)- негизги теңдемесин колдонуп, физика-математикалык эсептөөлөрдү жүргүздүк:

$$\Delta H_T^0 = \Delta H_{298}^0 + a(T-298) + b\left(\frac{T^2-298^2}{2}\right) - c\left(\frac{1}{T}-\frac{1}{298}\right) \quad (3.2)$$

Мындан алынган эсептөөлөрдүн жыйынтыктары төмөндөгү № 1- таблицасы жана №1- диаграммасы түрүндө берилди:

Таблица №.1

Кремний кристаллдарын өзөкчөгө отурукташтыруу процессинде, аралашмалардын ички энергетикалык абалдары

	Реакция	ΔH кДж/моль 1473 (K)	ΔH кДж//моль 1474 (K)	ΔH кДж/моль 1475 (K)	ΔH кДж/моль 1572 (K)	ΔH кДж/моль 1573 (K)
1.	$2AlCl_3+3H2\Leftrightarrow 2Al+6HCl$	1207,03	1206,76	1206,48	1178,96	1178,67
2.	$2FeCl_3+3H_2\Leftrightarrow 2Fe+6HCl$	776,59	776,604	776,619	778,333	778,353
3.	$MnCl_2+H_2\Leftrightarrow Mn+2HCl$	447,323	447,308	447,292	445,834	445,819
4.	$PbCl_2+H_2\Leftrightarrow Pb+2HCl$	268,269	268,116	267,962	252,757	252,596
5.	$SnCl_2+H_2\Leftrightarrow Sn+2HCl$	321,318	321,258	321,198	315,326	315,265
6.	$CrCl_2+H_2\Leftrightarrow Cr+2HCl$	388,453	388,453	388,453	388,80	388,80
7.	$NiCl_2+H_2\Leftrightarrow Ni+2HCl$	307,916	307,939	307,963	310,409	310,436
8.	$TiCl_4+2H_2\Leftrightarrow Ti+4HCl$	747,292	747,292	747,292	747,27	747,27
9.	$CaCl_2+H_2\Leftrightarrow Ca+2HCl$	766,636	766,623	766,609	765,372	765,359
10.	$CuCl_2+H_2\Leftrightarrow Cu+2HCl$	148,296	148,19	148,083	137,529	137,418

11.	$2BCl_3+3H_2 \Leftrightarrow 2B + 6HCl$	692,945	692,945	692,945	692,68	692,68
12.	$2PCl_3+3H_2 \Leftrightarrow 2P + 6HCl$	530,05	529,928	529,805	517,918	517,795
13.	$2SbCl_3+3H_2 \Leftrightarrow 2Sb+6HCl$	299,586	299,041	298,496	243,766	243,183
14.	$ZnCl_2+H_2 \Leftrightarrow Zn+2HCl$	405,293	405,293	405,293	405,41	405,41

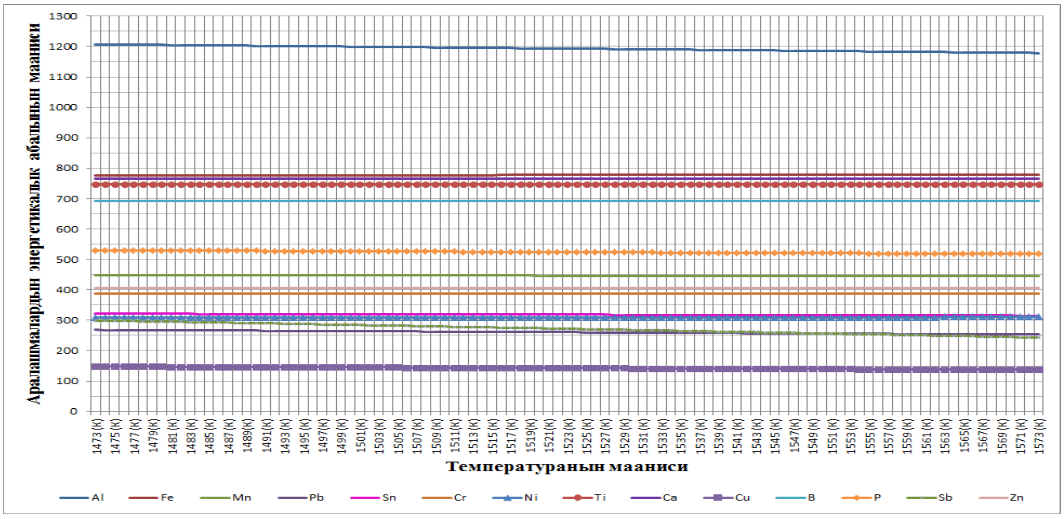

Диаграмма 1. Кремний кристаллдарын өзөкчөгө отурукташтыру процессиндеги аралашмалардын ички энергетикалык абалы

Жогорудагы алынган таблицага жана диаграммага карата төмөндөгүдөй илимий анализ жүргүзөбүз:

- Жогоруда алынган диаграммада аралашмалардын ички энергетикалык абалы 100 % га оң мааниге ээ экендиги аныкталды.

-Системада аралашмаларынын ички энергетикалык абалы (dH>0) шартын канааттандырса, анда мындай шартта реакциялардын жүрүшү жогорку температураларга көз каранды болушат. Ошондой эле кремний кристаллдарын өзөкчөгө отурукташтыруу процессиндеги аралашмалардын ички энергетикалык абалынын (dH>0) шартын канааттандыруусу, системадагы кристаллдардын отурукташуучу температураларын 1473 (К) – 1573 (К) колдонуу менен шартталган деп түшүнүүгө болот [4,5].

Изилдөөдө төмөнкүдөй илимий жаңылыктарга ээ болдук:

- Айрым аралашмалардын ички энергетикалык абалдары чоң маанини алуусуна
- Айрым аралашмалардын ички энергетикалык абалдары кичине маанини алуусуна
- Кээ бир аралашмалардын ички энергетикалык абалдары тең салмактуу каныгууга умтулуусуна
- Кээ бир аралашмалардын ички энергетикалык абалдары өзгөрүлмөлүү болуусуна

Жогорудагы жаңылыктарга илимий анализ жүргүзөйлү.

1. Мында системада **ички энергетикалык абалдарычоң** мааниге ээ болгон аралашмалар:

1. $dH_{(Al)}$ = 1207, 03(кДж / моль) – 1178,67 (кДж / моль)
2. $dH_{(Fe)}$ = 776,59 (кДж / моль) – 778,35 (кДж / моль)
3. $dH_{(Ca)}$ = 766,74 (кДж / моль) – 765,36 (кДж / моль)

Бул аралашмалардын буулуу-газ эритиндисиндеги жылуулук санынын жогору болушунан жана сырткы басымын жоюуга жумшалган энергиясынын чоңдугунан улам, өзөкчөгө отурукташуудан четтеши алынды.

1. **Ички энергетикалык абалы кичине** мааниге ээ болгон аралашма
2. $dH_{(Cu)}$= 148,296(кДж / моль) – 137,487(кДж / моль)

Жез аралашмасынын буулуу-газ эритиндисинде сырткы басымын жоюууга жумшалган энергиясынын азайышынан улам кремний өзөгүнө отурукташууга умтулбагандыгы аныкталды.

3. Ички энергетикалык абалдары тең салмактуу каныгуу абалына умтулган аралашмалары болуп төмөнкүлөр алынды: :

1. Хром $dH_{(Cr)}$= 388,50 (кДж / моль) – 388,81(кДж / моль)
2.Титан $dH_{(Ti)}$ = 747,29 (кДж / моль) – 747,27(кДж / моль)
3.Бор $dH_{(B)}$= 692,95 (кДж / моль) – 692,68 (кДж / моль)
4.Цинк $dH_{(Zn)}$. = 405, 29(кДж / моль) – 405,42 (кДж / моль)

Эгерде аралашмалардын буулуу-газ эритиндилери тең салмактуу каныгуу абалына ээ болсо, анда эриген зат кристалл түрүндө бөлүнүп чыгууга умтулушат [6].Бул теорияга таянып, жогорудагы аралашмалардын (Cr, Ti,B,Zn). тең салмактуу каныккан эритиндилери буулуу-газ абалында массалуу кристаллдары кремний өзөкчөсүнө отурукташып, өсүүгө умтулушат. Мындан бор (B) аралашмасынын кристаллдары кремний өзөкчөүндө отурукташып, поликремнийдин электрондук өткөрүмдүүлүгүн жогорулатуу менен сапаттуулукка оң, ал эми (Cr, Ti,Zn).аралашмалары терс таасирлерин бериши алынды.

4. Ички энергетикалык абалдары өзгөрүлмөлүү болгон аралашмалары болуп, төмөнкүлөр аныкталды:

1. Алюминий $dH_{(Al)}$ = 1207,03 кДж / моль) – 11178,67(кДж / моль)
2. Темир $dH_{(Fe)}$ = 776,59(кДж / моль) – 778,35 (кДж / моль)
3. Марганец $dH_{(Mn)}$= 447,32 (кДж / моль) – 445,81 (кДж / моль)
4. Коргошун $dH_{(Pb)}$ = 268,26 (кДж / моль) – 252,59 (кДж / моль)
5. Калай $dH_{(Sn)}$= 321,31 (кДж / моль) – 315,26 (кДж / моль)
6. Никель $dH_{(Ni)}$= 307,91 (кДж / моль) – 3107,43 (кДж / моль)
7. Кальций $dH_{(Ca)}$ = 766,63 (кДж / моль) – 765,35 (кДж / моль)
8. Жез $dH_{(Cu)}$ = 148,29 (кДж / моль) – 137,41(кДж / моль)
9. Фосфор $dH_{(P)}$ = 530, 05 (кДж / моль) – 517,79 (кДж / моль)
10.Сурьма $dH_{(Sb)}$ = 299,58 (кДж / моль) – 243,18 (кДж / моль)

Эгерде аралашмалардын буулуу-газ эритиндилери өзгөрүлмөлүү болсо, анда ал аралашмалардын ички энергетикалык абалдары да өзгөрмөлүү болушат [6,7].

Мында кремний кристаллын кремний өзөкчөсүнө отурукташтыруу процессинде, ички энергетикалык абалдары (dH) өзгөрмөлүү сан мааниге ээ болуп, системанын 72 % ын түзгөн төмөнкү аралашмалардын : (Al), (Fe), (Ca), (Mn), (Pb), (Sn), (Ni), (Cu), (P), (Sb) атомдору кристалл түрүндө бөлүнүп чыгуудан алыстап, натыйжада учуучу болуу менен кремний өзөкчөсүнө отурукташуудан четтөөсү алынды.

Жыйынтыгы:

1. Кремний кристаллын кремний өзөкчөсүнө отурукташтыруу процессинде, системанын аралашмаларынын ички энергетикалык абалы 100 % га ($dH > 0$) оң мааниге ээ экендиги алынды
2. Кремний кристаллын кремний өзөкчөсүнө отурукташтыруу процессинде, төмөнкү аралашмаларынын (Al), (Fe), (Ca) буулуу-газ эритиндисинде сырткы басымын жоюууга жумшалган энергиясынын чоңойушунан улам, ички энергетикалык абалдары чоң мааниге ээ болуусу аныкталды.
3. Кремний кристаллын кремний өзөкчөсүнө отурукташтыруу процессинде, төмөнкү аралашманын (Cu) буулуу-газ эритиндисинде сырткы басымын жоюууга жумшалган энергиясынын азайышынан улам, ички энергетикалык абалдары кичине мааниге ээ болуусу аныкталды.
4. Кремний кристаллын кремний өзөкчөсүнө отурукташтыруу процессинде, 72 % төмөнкү аралашмалардын : (Al), (Fe), (Ca), (Mn), (Pb), (Sn), (Ni), (Cu), (P), (Sb) ички энергетикалык абалдары (dH) өзгөрмөлүү сан мааниге ээ болуу менен аралашмалардын атомдору кристалл түрүндө бөлүнүп чыгуудан алыстап, натыйжада

учуучу болуу менен кристаллдары өзөкчөгө отурукташуудан четтеп, өндүрүлүүчү поликристаллдык кремнийдин сапатуулугуна оң таасирин бериши аныкталды.

5. Кремний кристаллын кремний өзөкчөсүнө отурукташтыруу процессинде, 28%ын түзгөн төмөнкү аралашмаларынын (Cr), (Ti), (B), (Zn) ички энергетикалык абалдары (dH) тең салмактуу каныгууга ээ болуу менен аралашмалардын кристаллдары өзөкчөгө отурукташууга умтулуусу аныкталды.
6. Кремний кристаллын кремний өзөкчөсүнө отурукташтыруу процессинде, кремний өзөкчөсүнө отурукташууга умтулган бор (B) аралашмасы өндүрүлүүчү поликристаллдык кремнийдин электрондук өткөрүмдүүлүгүн жогорулатуусу менен сапаттуулугуна оң таасирин бериши аныкталды.

Адабияттар:

1. **Асанов, А.А.** “Технология производства кристаллического кремния” [Текст] / Т.Б. Клычбаев // Бишкек. 2012 ж.с. 6 – 277
2. **Медведов, С.А.** “Введение в технологию полупроводниковых материалов”М: Высщая школа 1970 – ж. с.5 – 500.
3. Иоффе А.Ф. Физика полупроводников - [Текст] М-Л.: Изд. Мос. - Лен. 1957.- 486с.
4. **Ормонт, В.Ф.** Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников - [Текст] М.: Изд. Высшая школа. 1968.- 200 с.
5. **Чотонов, Б.Б.** Кремний кристаллын отурукташтыруу процессинде ички энергетикалык абалдары каныгууга ээ болгон аралашмалар // [Текст] Эл аралык конф. КРнын эмгек сиңирген ишмери, ф-м. и.д., проф.Б.А Арапов 70 жашта: ОшМУнун жарчысы. Вып.II. 2013. №2.-С. 160-162.
6. **Чотонов, Б.Б.** “Поликремнийди өндүрүү процессинде аралашмалардын экстенсивдүү параметрлерин изилдөө жана оптимумун аныктоо” Монография.” [Текст] Ч.П. Буланов” менчик басмаканасы. Жалал-Абад ш. 13 б.т. 2017.- 206 с.
7. **Чотонов, Б.Б.** “Исследование термодинамических процессов очистки хлоридов кремния” [Текст] Verl aq / Издатель ; LAP LAMBERT Academic Pubшishinq Германия издания (ННБ)/Немецская Национальная Библиотека. Saarbrucken 2017 с.-1-75 /Монография. 2017.- 115с.