

FİZİKA

Ge – Si BƏRK MƏHLULLAR SİSTEMİNİN
MONOKRİSTALLARININ PUTADAKI ƏRİNTİDƏN
ALINMASINA AİD QISA İCMALV.İ.TAHİROV*, S.R.SADIQOVA**, Ə.F.QULİYEV**,
Z.Ə.AĞAMALIYEV***, S.S.LƏTİFOVA**, N.F.QƏHRƏMANOV**

* Bakı Dövlət Universiteti, ** Sumqayıt Dövlət Universiteti,

*** AMEA-nın fizika institutu

Məqalədə müxtəlif növ putalardan istifadə olunmaqla Ge – Si bərk məhlul monokristallarının alınmasına həsr olunmuş məqalələr iki qrupda sistemləşdirilmişdir. Birinci qrupda müxtəlif formalı qidalandırıcı istifadə etməklə ərintidən dartma üsulu ilə monokristal alınır. İkinci qrupda monokristalın alınmasında bərk məhlul ərintisində müxtəlif formalı monokristal rüzeym istifadə olunur.

Bütün hallarda proses təmiz germaniumun kristallaşması ilə başlanır və silisium tədricən daxil edilir. Nə vaxt ki, silisiumun konsentrasiyası tələb olunan səviyyəyə çatır, bundan sonra o sabit saxlanılır. Belə proses kristallaşma zamanı güclü seqreqasiyaya malik təkmil bərk məhlul kristalları almağa imkan verir.

Yarımkəçiricilərin klassik nümayəndəsi olan Ge və Si maddələrinin öz aralarında əmələ gətirdiyi bərk məhlullar sisteminə maraq hələ iyirminci əsrin ortalarından yaranmışdır. Bu maraq yarımkəçiricilər fizikasının inkişafı və yarımkəçirici çeviricilərin elektron lampaları əsasında düzəldilmiş cihazları tədricən sıxışdırıb aradan çıxardığı dövrləri əhatə edir.

Ge-Si sisteminin gözlənilən tətbiq olunma perspektivini həyata keçirmək üçün ilk növbədə onun mükəmməl monokristallarının alınması tələb olunurdu. Ona görə bu sahədə böyük miqyaslı işlər aparılmağa başlandı. Lakin bu dövrdə aparılan işlər bir növ kororanə xarakter daşıyırdı və Ge-Si sisteminin özünə məxsusluğu nəzərdən qaçırılırdı. Ona görə bu işlər uğursuzluqla nəticələnirdi. Bu işlər haqda ədəbiyyat icmal [1]-də şərh edilmişdir. Onlar elmi və metodiki cəhətdən o qədər də böyük maraq kəsb etmədiyi üçün burada biz həmin işlər üzərində dayanmayacağıq.

Ge-Si monokristallarının alınması sahəsində ilk uğurlu nəticə [2]-də alınmışdır. Bunun üçün müəlliflər kristallaşma zamanı güclü seqreqasiyaya malik olan binar bərk məhlulların monokristallarını almaq üçün yeni üsul işləyib hazırlamışlar. Üsulun mahiyyəti ondan ibarətdir ki, kristallaşma prosesi təmiz komponentlərdən

birinin monokristalının alınması ilə başlanır və ikinci komponent ərintiyə sonradan əlavə edilir. Ərintidə ikinci komponentin konsentrasiyası sıfırdan başlayaraq tədricən artırılır. Elə edilir ki, kristallaşma zamanı bərk və maye fazada kvazi-tarazlıq halında olan maddənin tərkibi sistemin hal diaqramında likvidus və solidus əyrilərinə uyğun olaraq tədricən artsın. Tərkibin tələb olunan qiyməti əldə edildikdən sonra maye fazada ikinci komponentin konsentrasiyası sabit saxlanılır. Buna uyğun olaraq yetişdirilən kristalda da ikinci komponentin konsentrasiyası sıfırdan başlayaraq tədricən artır və doyma qiymətinə çatdıqdan sonra sabit qalır.

Təklif edilmiş üsul bir sıra işlərdə [3-5] həyata keçirilmiş və tədqiqat nəticəsində Ge-Si sistemi haqda qiymətli elmi nəticələr alınmışdır.

Üsul iki variantda həyata keçirilə bilər: putadakı ərintidən dartmaqla monokristal yetişdirmə prosesində və zona kristallaşdırma yolu ilə.

Birinci halda qidalandırıcı xəlitədən istifadə edilir. İkinci komponentin konsentrasiyasının sıfırdan başlayaraq tədricən artmasını təmin etmək üçün tərkibi bircins olan silindr qidalandırıcının başlanğıcı konus şəklində götürülür. Qidalandırıcının sxemi şəkil 1a-da göstərilmişdir.

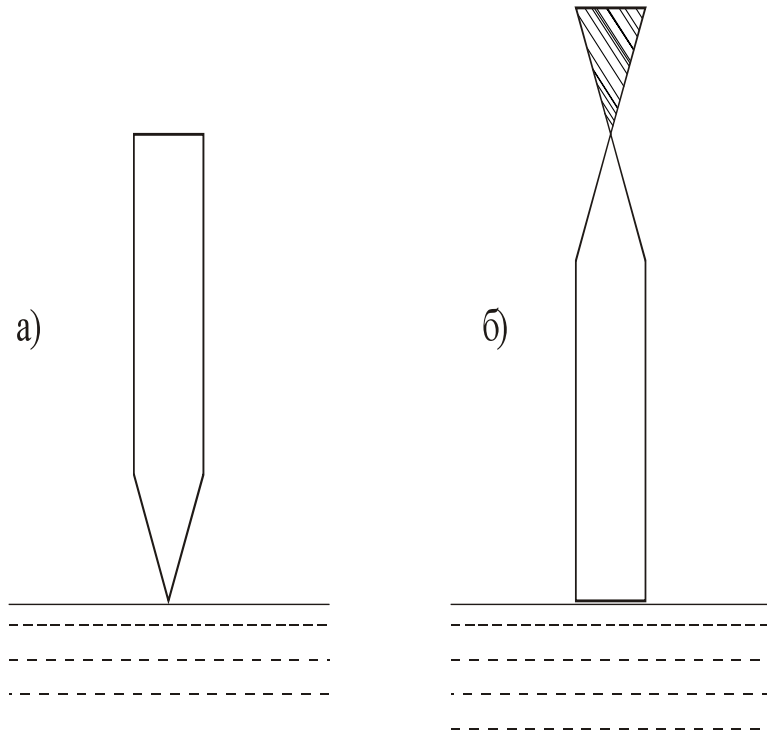
Silindrik putadan istifadə etdikdə, əgər yetişdirilən kristalın (şəkil 1b) en kəsiyinin sahəsi və yerdəyişmə sürəti qidalandırıcınınkı ilə eyni olarsa, onda ikinci komponentin konsentrasiyasının kristal boyunca dəyişməsi şəkil 2-də göstəriləndiyi kimi olar. Bu asılılıq [5]-dən götürülmüşdür. Burada qidalandırıcıda Si-un konsentrasiyası 10at.%-i, kristalın və qidalandırıcının yerdəyişmə sürəti 2,5 mm/saat olmuşdur. Şəkildən görüldüyü kimi, kristal boyunca Si-un konsentrasiyası sıfırdan başlayaraq tədricən artıb doyma qiymətinə çatır. Bu sabit qiymət prosesin sonuna qədər davam edir.

Alınmış kristalın monokristallığı onun müxtəlif hissələrindən götürülmüş kristalciqlardan alınmış laueqramlarla təsdiq edilmişdir.

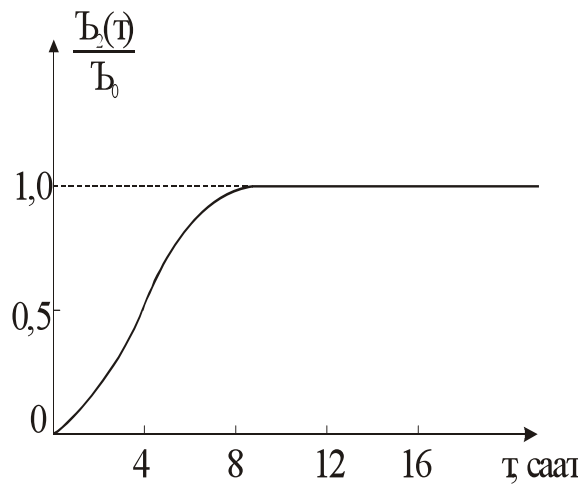
Digər variantda güclü seqreqasiyaya malik olan binar bərk məhlulların monokristallarının alınması zona əritməklə həyata keçirilir. Bunun üçün əvvəlcə tələb olunan tərkibdə bircins xəlitə düzəldilir və komponentlərin birindən ona uyğun monokristal özək seçilir.

Burada monokristal özəklə düzəldilmiş xəlitənin kontakta gətirilmə üsulu mühüm rol oynayır. Ona görə onun işdə istifadə edilən iki variantını burada göstərək.

Birinci variantda həm bərk məhluldan düzəldilmiş xəlitə, həm də birinci komponentin monokristalından kəsilmiş özək kristal diametrləri eyni olan silindr şəklindədir. Bu halda üfüqi vəziyyətdə yerləşdirilən özək monokristal və xəlitə, şəkil 3a-da göstəriləndiyi kimi, təmasa gətirilir. Bu vəziyyətdə ərimiş zona monokristal özəkdə elə yaradılır ki, onun ön cəbhəsi xəlitə ilə monokristal özəyin toxunma müstəvisində olsun (bu, şəkil 3b-də sxemdə göstərilmişdir). Bundan sonra ərimiş zona xəlitə boyunca U sürəti ilə hərəkətə gətirilir. Bu variantda yalnız zəif bərk məhlulların monokristallarını almaq mümkündür.



Şəkil 1. Qidalandırıcının (a) və yetişən kristalın (b) sxemi.

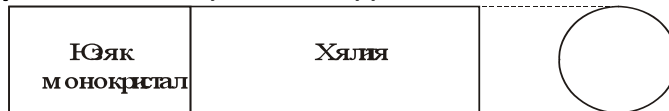


Şəkil 2. Kristal boyunca ikinci komponentin nisbi konsentrasiyasının $\left(\frac{C_2(t)}{C_0}\right)$ dəyişməsi .

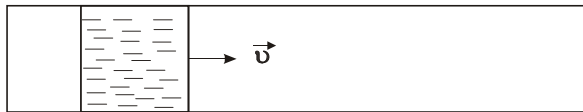
Bu nəticə kəsilməzlik tənliyinin həllindən alınır. Doğrudur, burada da kristalda ikinci komponentin konsentrasiyası sıfır qiymətindən başlayaraq artır. Ancaq bu artım xeyli kəskin olduğu üçün qatı bərk məhlulların monokristallarını yetişdirərkən kristallaşma «cəbhəsi»ndə baş verən ifrat soyumanı aradan qaldırmağa imkan vermir. Bunu aydın təsəvvür etmək üçün tərkibində 10 at.% Si olan Ge-Si bərk məhlullarından bu cür alınmış kristal boyunca Si-un konsentrasiyasının [1]-dən götürülmüş dəyişməsi şəkil 5-də göstərilmişdir (1 əyrisi). Si-un konsentrasiyası sıfırdan başlayaraq kəskin artır və doyma qiymətinə çatır. Konsentrasiyanın dəyişmə sürəti şəkil 6-da 1 əyrisi ilə göstərilmişdir. Konsentrasiyanın dəyişmə sürəti başlanğıcda ən böyük qiymətə malikdir. Bu qiymətdən başlayaraq konsentrasiyanın dəyişmə sürəti eksponensial olaraq sıfıra yaxınlaşır. Aydındır ki, tərkibin bu cür paylanma qanunu qatı bərk məhlulların monokristallarının alınması üçün əlverişli şərait yaratmır.

Olduqca incə şəkildə işlənmiş bir variant bütün bu çatışmazlıqları aradan qaldırmağa imkan verir. Bunun üçün sabit tərkibli bərk məhlul xəlitəsinin əsas hissəsi dördbucaqlı düz prizma şəklində düzəldilir. Onun bir ucu paz şəklinə salınır. Monokristal almaq üçün yenə də monokristal özəkdən istifadə edilir. Özək kristal birinci komponentin monokristalından kəsilir. Onun da həndəsi quruluşu bir ucu paz şəklinə salınmış dördbucaqlı düz prizmadan ibarət olur. Monokristal özəyin en kəsiyinin ölçüləri xəlitənin en kəsiyinin ölçülərinə bərabər götürülür. Belə olduqda özək kristalla xəlitənin paz şəkilli hissələrini əks istiqamətdə bir-birinin üzərinə qoyduqda onlar bütöv dördbucaqlı düz prizma əmələ gətirir. Bu, şəkil 4a-da göstərilmişdir.

Baxdığımız variantda ilkin ərimiş zona monokristal özəyin üzərində ehtə yaradılır ki, onun ön «cəbhəsi» onun paz hissəsinin prizma hissəsi ilə birləşmə nöqtəsindən prizmanın hündürlüyünə perpendikulyar keçən müstəvinin üzərində olsun (şəkil 4b). Bundan sonra ərimiş zona xəlitə boyunca müəyyən U sürəti ilə hərəkətə gətirilir.

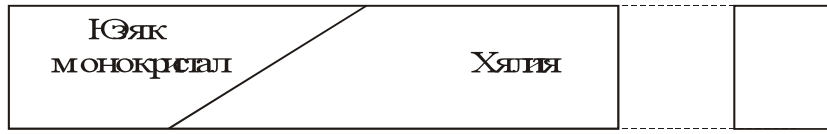


a)

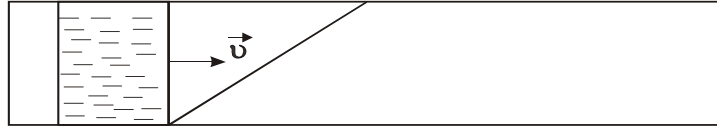


b)

Şəkil 3. Silindrik xəlitə və silindrik özək monokristal halında zona əritmə üsulunun sxemi.

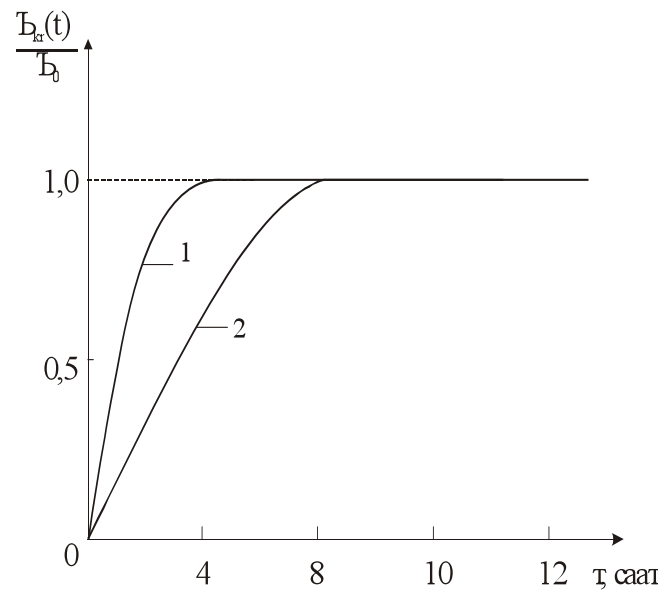


a)

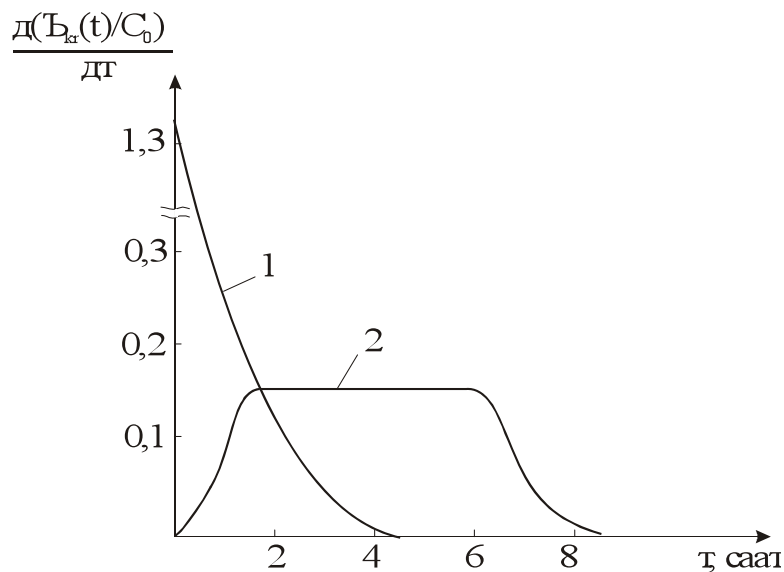


б)

Şəkil 4. Özəк монокрстал və хəлитə бир уцу паз шəклинə салınмıш дөрdbucaқlı дүз призма olduқда зона əритмə üsulунун sxemi.



Şəkil 5. Zona əritmə üsulу ilə alınмıш кристал boyunca тəркибин пайланması.



Şəkil 6. Zona əritmə üsulu ilə alınmış kristal boyunca tərkibin dəyişmə sürəti.

Tərkibin kristal boyunca paylanması kəsilməzlik təliyinə həllindən müəyyənləşdirilir. Bu asılılıq şəkil 5-də 2 əyrisi ilə verilmişdir. Kristal boyunca ikinci komponentin konsentrasiyası sıfırdan başlayaraq müəyyən əyri üzrə tədricən artır. Az müddətdən sonra o, praktiki olaraq düz xətt boyunca artır, paz hissəsinin sonunda doyma qiymətinə çatır və sabitləşir. Şəkildən aydın olduğu kimi, konsentrasiyanın başlanğıcda xətti dəyişən hissəsinin bucaq əmsalı xəlitənin pazşəkilli hissəsinin hündürlüyündən asılıdır. Bərk məhlulun qatılığı artdıqca xəlitənin pazşəkilli hissəsinin ölçüsünü (pazın hündürlüyünü) artırmaq lazımdır.

Kristal boyunca ikinci komponentin dəyişmə sürəti şəkil 6-da 2 əyrisi ilə verilmişdir. Konsentrasiyanın dəyişmə sürəti sıfırdan başlayaraq tədricən artır. Bu artım doyma qiymətinə çatır, paz hissəsinin sonuna yaxın yenidən tədricən azalır və tədricən sıfıra yaxınlaşır, sıfıra çatdıqdan sonra axıradək dəyişməz qalır. Bu cür asılılıq binar bərk məhlulların sabit tərkibli monokristallarının alınması üçün son dərəcə əlverişli şərait yaradır.

ƏDƏBİYYAT

1. Тагиров В.И. Полупроводниковые твердые растворы Ge-Si. Изд-во «Элм», Баку, 1983, с.208
2. Тагиров В.И., Таиров С.И., Кулиев А.А., Шахтагинский М.Г. Получение монокристаллов сплавов Ge-Si. «Кристаллография», 10, 751, 1965
3. Таиров С.И. Выращивание монокристаллов твердых растворов Ge-Si и исследование их электрических свойств. Дисс. на соис. уч. степ. канд. физ.-мат.наук. Баку, 1967

4. Аждаров Г.Х. Исследование глубоколежащих примесных уровней в монокристаллах твердых растворов Ge-Si. Дисс. на соис. уч. степ. канд. физ.-мат. наук. Баку, 1970.
5. Джафаров К.А. Исследование условий получения монокристаллов сплавов Ge-Si и влияние термической обработки на их электрические свойства. Дисс. на соис. уч. степ. канд. физ.-мат. наук. Баку, 1975.

ОБЗОР РАБОТ, ПОСВЯЩЕННЫХ ПОЛУЧЕНИЮ МОНОКРИСТАЛЛОВ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ Ge-Si ИЗ ТИГЛЯ

**В.И.ТАГИРОВ, С.Р.САДЬГОВА, А.Ф.ГУЛИЕВ, З.А.АГАМАЛЫЕВ,
С.С.ЛАТИФОВА, Н.Ф.ГАХРАМАНОВ**

РЕЗЮМЕ

В статье систематизированы результаты работ, посвященных получению монокристаллов твердых растворов Ge-Si использованием различной формы тиглей. Эти работы делятся на две группы. В первой группе монокристаллы выращиваются вытягиванием из расплава с применением подпитывающего слитка различной геометрической формы. Во второй группе используется зонная плавка с применением различной формы монокристаллической затравки.

Во всех работах процесс начинается с кристаллизации чистого германия, а кремний в расплав добавляется постепенно. Причем, когда концентрация Si доходит до требуемого уровня, величина ее в дальнейшем поддерживается постоянной. Такой подход позволяет получать совершенные монокристаллы твердых растворов, обладающих сильной сегрегацией при кристаллизации.

REVIEW OF WORKS DEVOTED TO SINGLE CRYSTAL GROWTH OF Ge-Si SOLID SOLUTIONS FROM A CRUCIBLE

**V.I.TAHIROV, S.R.SADIQOVA, A.F.QULIEV, Z.A.AQAMALIEV,
S.S.LATIFOVA. N.F.QAKHRAMANOV**

SUMMARY

This article gives a brief review of works devoted to single crystal growth of Ge-Si solid solutions from a crucible. They are divided in two groups. One of them uses feeding alloys in crystal pulling from a melt, the other uses seed single crystal in zone melting. To grow binary solid solution single crystal one have to begin single crystal growth of one of the pure components and them to add the other component to the melt gradually. Second component concentration is increased up to the wanted value and then is kept constant.