

FİZİKA

MÜRƏKKƏB TƏRKİB PAYLANMALI SİLİNDRİK BİNAR BƏRK
MƏHLUL XƏLİTƏLƏRİNİN YENİ ALINMA ÜSULU

V.İ.TAHİROV, V.Q.ƏLİYEV, T.Q.CƏFƏROV, N.F.QƏHRƏMANOV

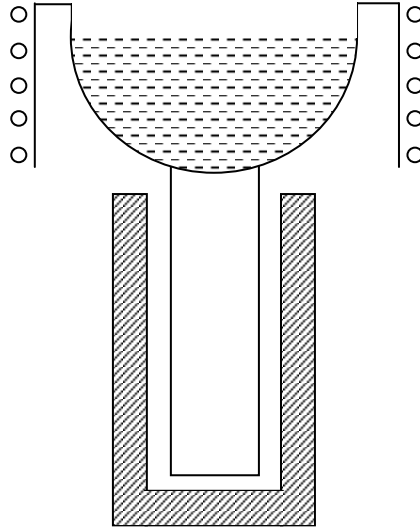
Sumqayıt Dövlət Universiteti

Hazırkı işdə binar bərk məhlulların daxilində mikroçatı olmayan qidalandırıcı xəlitəsini düzəltməyin yeni üsulu işlənib hazırlanmışdır. Bunun üçün əvvəlcə kəskin soyutma yolu ilə bircins xəlitə hazırlanır. Sonra həmin xəlitə zona əritmə yolu ilə yənidən kristallaşmaya uğradılır. Xəlitə boyunca tərkibin paylanması kəsilməzlik tənzimliyinin həlli əsasında müəyyən edilir. Belə qidalandırıcı xəlitənin tətbiqi ilə, müvafiq kristallaşma rejimini seçməklə, binar bərk məhlulların sabit və mürəkkəb tərkib paylanmalı monokristallarını almaq mümkündür.

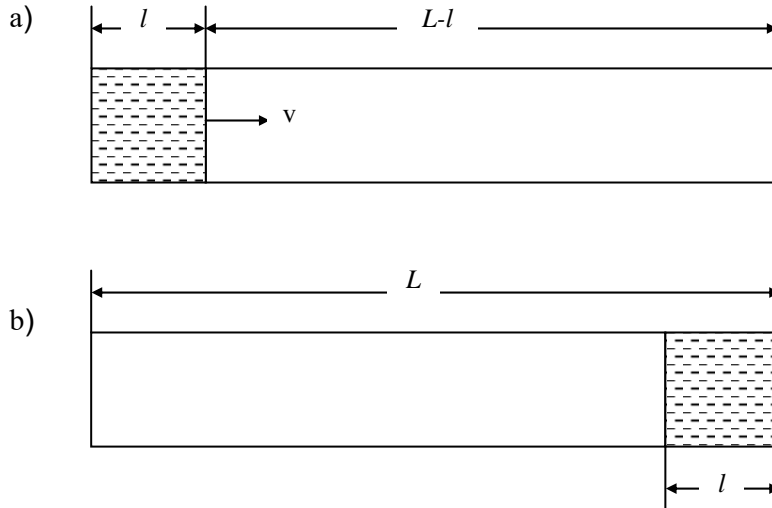
Yeni üsul Ge-Si bərk məhlul sistemi üzərində həyata keçirilmişdir.

Binar bərk məhlulların sabit tərkibli monokristallarını almaq üçün ən sadə yol ərintinin qidalandırılmasından istifadə etməkdir. Burada eyni bir kristallaşma prosesində həm monokristal yetişməsinə, həm də alınan kristalın bircinsliyini təmin etmək tələb olunur. Putadan dartmaq yolu ilə kristal alarkən bu tələbləri təmin etmək üçün qidalandırıcı xəlitənin həndəsi quruluşunun və ondakı tərkib paylanmasının əlverişli şəkildə seçilməsi mühüm rol oynayır. Yetiştirilən monokristalın istifadə üçün yararlı olmasından ötrü onun sabit diametrə malik olması daha əlverişlidir. Buna uyğun olaraq, kristallaşma rejiminin kvazi-dayanıqlı olmasını təmin etməkdən ötrü qidalandırıcı xəlitəni də sabit diametrlili silindr şəklində götürmək lazımdır. Bu cür xəlitəni hazırlamaq üçün *Ge* və *Si* maddələrinin tələb olunan tərkibə müvafiq miqdarları birlikdə əridilmək üçün putaya yerləşdirilir. Putanın dibində ortadan diametri 0,5 – 1 mm olan dairəvi deşik açılmışdır (şəkil 1). Deşiyə daxili diametri nəzərdə tutulan qidalandırıcı xəlitənin diametrinə bərabər olan kvars boru hermetik qaynaq edilmişdir. Burada elə

edilir ki, borunun deşiyin mərkəzindən keçən oxu şaquli istiqamətlə üst-üstə düşsün. Onun aşağı ucu qapanmış və müstəvi şəklinə salınmışdır. Boru istiliyi yaxşı keçirən qalın divarlı stəkan şəkilli silindrik qabın içərisində yerləşdirilir. İşçi həcmində yüksək vakuum ($10^{-3} \div 10^{-5}$ mm Hg) yaradıldıqdan sonra putadakı maddə əridilir və bircins maye halına gətirilir. Deşiyin diametri kiçik olduğu üçün səthigərmə qüvvəsi mayenin putanın dibinə qaynaq edilmiş boruya axıb tökülməsinin qarşısını alır. Bu vəziyyətdə işçi həcmninin vakuum sistemi ilə əlaqəsi kəsilir və ona təzyiqi $0,5 \div 0,8$ atm. olan təmizlənmiş təsirsiz qaz buraxılır. Qazın təzyiqinin təsir qüvvəsi nəticəsində putadakı maye kütləsi deşikdən nazik şırnaq şəklində axaraq silindrik boruya dolur. Maye halın bərkimə temperaturu ilə borunun daxilindəki temperaturun fərqi çox böyük olduğu üçün o, boruya tökülən anda da kristallaşır. Bu zaman qalın divarlı stəkan şəkilli qab ayrılan ərimə istiliyinin mayenin həcmindən uzaqlaşmasını asanlaşdırır. Beləliklə də, kvarts borunun daxilindəki xəlitədə müxtəlif hündürlüklərdə tərkibin orta qiyməti eyni olur. Doğrudur, kəskin soyuma nəticəsində tərkibin fluktuasiyası yaranır, lakin onun orta qiyməti hər yerdə eynidir və o, istifadə olunarkən konsentrasiyanın fluktuasiyası hamarlanır.



Şəkil 1. Qidalandırıcı üçün ilkin xəlitənin düzəldilmə sxemi.



Şəkil 2. Qidalandırıcı xəlitənin zona əritmə üsulu ilə alınmasının sxemi.

Xəlitə hazır olduqdan sonra kvars boru kəsilərək putanın dibindən ayrılır. Sonra bu xəlitə, onun həcmindəki mikroçatların yox edilməsi üçün zona əritmə üsulu ilə yenidən kristallaşmaya uğradılır. Bu zaman xəlitə boyunca ikinci komponentin konsentrasiyasının paylanması dəyişir. Elə bu da qidalandırıcı xəlitəni silindr şəklində (artıq onun ucunu konus şəklinə salmağa ehtiyac yoxdur) götürməyə imkan verir.

Xəlitənin zona əritmə kristallaşmasına uğradılma sxemi şəkil 2a və b-də göstərilmişdir. Xəlitənin uzunluğunu L , en kəsiyinin sahəsini S , əridilmiş zonanın enini l , zonanın yerdəyişmə sürətini v , ikinci komponentin ilkin xəlitədəki konsentrasiyasını C_1 , ərimiş zonada C_3 , xəlitənin yenidən kristallaşan hissəsində isə C_2 ilə işarə edək. t müddətində ərimiş zonada ikinci komponentin maddə miqdarının dəyişməsini belə taparıq:

$$SC_1l - C_3(t) \cdot Sl = \int_0^t C_2(t)Svdt - \int_0^t C_1Svdt \quad (1)$$

Burada sağ tərəfdəki birinci hədd t müddətində xəlitənin yenidən kristallaşmış həcmində, ikinci hədd isə ilkin xəlitədən əriyib mayeyə qarışmış həcmdə ikinci komponentin maddə miqdarıdır.

(1) – in hər iki tərəfindən zamana görə birinci tərtib törəmə alaq, həm də nəzərə alaq ki, $C_1 = const$ - dir:

$$- \dot{C}_3(t)Sl = C_2(t)Sv - C_1v \cdot S \quad (2)$$

Paylanma əmsalının:

$$k = \frac{C_2}{C_3} \quad (3)$$

tərifindən istifadə edib (2) – ni bir qədər dəyişdirək:

$$\dot{C}_3 + \frac{k\nu}{l} C_3 = \frac{\nu}{l} C_1 \quad (4)$$

Belə əvəzləmə apararaq:

$$\frac{k\nu}{l} = P, \quad \frac{\nu}{l} C_1 = Q \quad (5)$$

Onda (4) – ü bu şəkllə salmış olarıq:

$$\dot{C}_3(t) + P \cdot C_3(t) = Q \quad (6)$$

(6) xətti diferensial tənliyinin həllini yazaq [1,2]:

$$\begin{aligned} C_3(t) &= \exp\left(-\int P dt\right) \left\{ \int Q \exp\left(\int P dt\right) dt + A \right\} = \exp\left(-\int \frac{k\nu}{l} dt\right) \left\{ \int \frac{\nu}{l} C_1 \exp\left(\int \frac{k\nu}{l} dt\right) dt + A \right\} = \\ &= \exp\left(-\frac{k\nu}{l} t\right) \left\{ \int \frac{\nu}{l} C_1 \exp\left(\frac{k\nu}{l} t\right) dt + A \right\} = \exp\left(-\frac{k\nu}{l} t\right) \left\{ \frac{C_1}{k} \exp\left(\frac{k\nu}{l} t\right) + A \right\} \end{aligned} \quad (7)$$

A - inteqrallama sabitini başlanğıc şərtədən tapaq. $t = 0$ anında ərimiş zonada ikinci komponentin konsentrasiyası ilkin xəlitədəki C_1 konsentrasiyasına bərabərdir. Onda (7) – dən alarıq:

$$C_1 = \frac{C_1}{k} + A; \quad A = C_1 \left(1 - \frac{1}{k}\right) = \frac{C_1}{k} (k - 1) \quad (8)$$

(8) – i (7) – də yerinə yazaq:

$$C_3(t) = \exp\left(-\frac{k\nu}{l} t\right) \left\{ \frac{C_1}{k} \exp\left(\frac{k\nu}{l} t\right) + \frac{C_1}{k} (k - 1) \right\} = \frac{C_1}{k} \left\{ 1 + (k - 1) \exp\left(-\frac{k\nu}{l} t\right) \right\} \quad (9)$$

Bu asılılıq zonanın ön cəbhəsi xəlitənin sonuna çatana qədər, yəni $t_1 = \frac{L-l}{\nu}$ müddətində doğru olacaq. Bundan sonra isə kristallaşmanın rejimi dəyişir, istiqamətlənmiş kristallizasiya şəraiti yaranır. Onu biz bir qəddərdən sonra araşdıracağıq. Ancaq hələlik ikinci komponentin konsentrasiyasının yenidən alınmış xəlitənin başlanğıcdan $L-l$ məsafəsində paylanması tapmaq:

$$C_2(t) = kC_3 = C_1 \left[1 - (1 - k) \exp\left(-\frac{k\nu}{l} t\right) \right], \quad 0 \leq t \leq t_1 \quad (10)$$

Burada biz kristallaşmanı dayandıra da bilərik. Bunun üçün zonanın hərəkət mexanizmini söndürüb, ampulanı onun sonuna doğru azacıq meyl etdirdikdən sonra əlimizin yüngül zərbələri ilə sonuncu ərimiş zonanı əsas xəlitədən uzaqlaşdırma bilərik. Bu cür alınmış xəlitə qidalandırıcı kimi istifadə edilməyə yararlıdır. Ancaq biz prosesi dayandırmadan sonadək davam etdirəcəyik.

Xəlitənin son l uzunluğunda tərkib paylanması tapmaq üçün yenidən kəsilməzlik tənliyinə müraciət edək. Bu halda ikinci komponentin maddə miqdarının maye və bərk faza arasındakı balansını belə yazarıq:

$$V_3(t)C_3(t) = V_3(t_1)C_3(t_1) - \int_{t_1}^t \dot{V}_2(t)C_2(t)dt, \quad t_1 \leq t \leq \frac{L}{\nu} \quad (11)$$

Sağ tərəfdə birinci hədd ikinci komponent maddəsinin t_1 anında ərintidə olan miqdarı, ikinci hədd isə t müddətində onun kristallaşma nəticəsində bərk fazaya keçən miqdarıdır. Onların fərqi t anında maye fazada ikinci komponentin maddə miqdarına (bərabərliyin sol tərəfi) bərabərdir.

(11) – in hər iki tərəfindən t yə görə birinci tərtib törəmə alaıq:

$$\dot{V}_3(t)C_3(t) + V_3(t)\dot{C}_3(t) = -\dot{V}_2(t)C_2(t)$$

Buradan:

$$\dot{C}_3(t) = -\frac{C_3(t) \cdot \dot{V}_3(t) + \dot{V}_2(t)C_2(t)}{V_3(t)} = -\frac{\dot{V}_3(t)C_3(t) + k\dot{V}_2(t)C_3(t)}{V_3(t)} \quad (12)$$

Burada paylanma əmsalının $k = \frac{C_2}{C_3}$ tərifindən istifadə edib $C_2(t)$ -

ni $C_3(t)$ ilə ifadə etdik.

(12) – dən yazarıq:

$$\frac{dC_3(t)}{C_3(t)} = -\frac{\dot{V}_3(t) + k\dot{V}_2(t)}{V_3(t)}dt \quad (13)$$

Həcmələri ifadələrini aşkar şəkildə yazaraq:

$$\left. \begin{aligned} V_2(t) &= (L-l)S + \nu(t-t_1)S \\ V_3(t) &= lS - \nu(t-t_1)S \end{aligned} \right| \quad (14)$$

Burada $t_1 = \frac{L-l}{\nu}$ - dir:

\dot{V}_2 və \dot{V}_3 - ü tapaıq:

$$\dot{V}_2 = \nu S, \quad \dot{V}_3 = -\nu S \quad (15)$$

(14) və (15) – i (13) – də nəzərə alaıq,

$$\frac{dC_3(t)}{C_3(t)} = -\frac{-\nu S + k\nu S}{lS - \nu(t-t_1)S}dt = -\frac{-1+k}{\frac{l}{\nu} - (t-t_1)}dt \quad (16)$$

Buradan alarıq:

$$\ln C_3(t) = (k-1)\ln\left[\frac{l}{\nu} - (t-t_1)\right] + \ln A'',$$

yaxud:

$$C_3(t) = A'' \left[\frac{l}{\nu} - (t-t_1)\right]^{k-1}, \quad t_1 \leq t \leq t_2 \quad (17)$$

$t_2 = \frac{L}{v}$ - dir. A'' - inteqrallama sabitini $t = t_1$ anında (17) və (9) həllərinin üst-üstə düşməsi şərtindən istifadə edib tapaq. $t = t_1$ olduqda (17) – dən:

$$C_3(t_1) = A'' \left(\frac{l}{v} \right)^{k-1}$$

(10) – dan isə:

$$C_3(t_1) = \frac{C_1}{k} \left[1 - (1-k) \exp\left(-\frac{kv}{l} t_1\right) \right]$$

alarıq. Son iki ifadənin sağ tərəflərini bir-birinə bərabərləşdirib A'' sabitini tapaq:

$$\begin{aligned} A'' \cdot \left(\frac{l}{v} \right)^{k-1} &= \frac{C_1}{k} \left[1 - (1-k) \exp\left(-\frac{kv}{l} t_1\right) \right] \\ A'' &= \frac{C_1}{k} \cdot \frac{\left[1 - (1-k) \exp\left(-\frac{kv}{l} t_1\right) \right]}{\left(\frac{l}{v} \right)^{k-1}} \end{aligned} \quad (18)$$

A'' - in qiymətini (17) – də yerinə yazaraq:

$$\begin{aligned} C_3(t) &= \frac{C_1}{k} \cdot \frac{\left[1 - (1-k) \exp\left(-\frac{kv}{l} t_1\right) \right]}{\left(\frac{l}{v} \right)^{k-1}} \cdot \left[\frac{l}{v} - (t - t_1) \right]^{k-1} = \\ &= \frac{C_1}{k} \cdot \left[1 - (1-k) \exp\left(-\frac{kv}{l} t_1\right) \right] \left(\frac{\frac{l}{v} - (t - t_1)}{\frac{l}{v}} \right)^{k-1}, t_1 \leq t \leq t_2 \end{aligned} \quad (19)$$

Alınan xəlitənin son l uzunluğunda ikinci komponentin konsentrasiyasının paylanması belə alarıq:

$$C_2(t) = kC_3(t) = C_1 \left[1 - (1-k) \exp\left(-\frac{kv}{l} t_1\right) \right] \cdot \left(\frac{\frac{l}{v} - (t - t_1)}{\frac{l}{v}} \right)^{k-1}, t_1 \leq t \leq t_2 \quad (20)$$

(10) və (20) – ni birləşdirsək, bütün xəlitə boyunca ikinci komponentin paylanması alarıq:

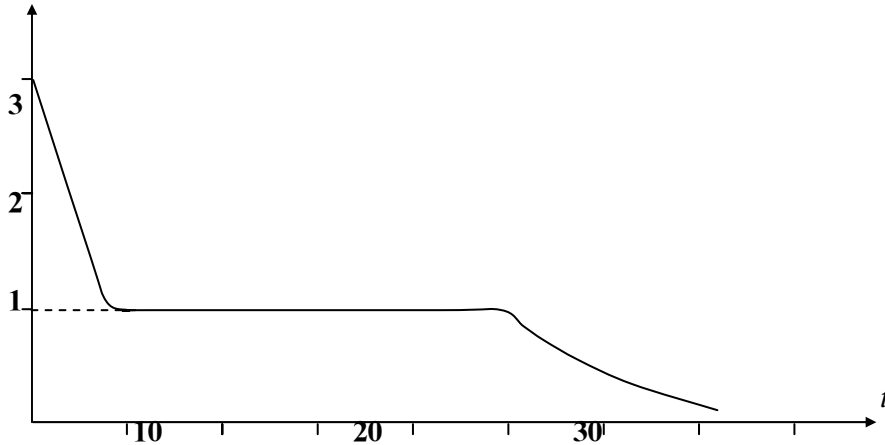
$$C_2(t) = \begin{cases} C_1 \left[1 - (1-k) \exp\left(-\frac{k\nu}{l}t\right) \right], & 0 \leq t \leq t_1 \\ C_1 \left[1 - (1-k) \exp\left(-\frac{k\nu}{l}t_1\right) \right] \cdot \left(\frac{l - (t-t_1)}{\nu} \right)^{k-1}, & t_1 \leq t \leq t_2 \end{cases} \quad \text{olduqda (21)}$$

Bu cür hazırlanmış xəlitə boyunca ikinci komponentin konsentrasiyasının dəyişmə qanunu paylanma əmsalının qiymətindən asılıdır. Şəkil 3 və 4 – də uyğun olaraq $k = 3$ və $k = 0,5$ qiymətləri üçün xəlitə boyunca $\frac{C_2(t)}{C_1}$ nisbi

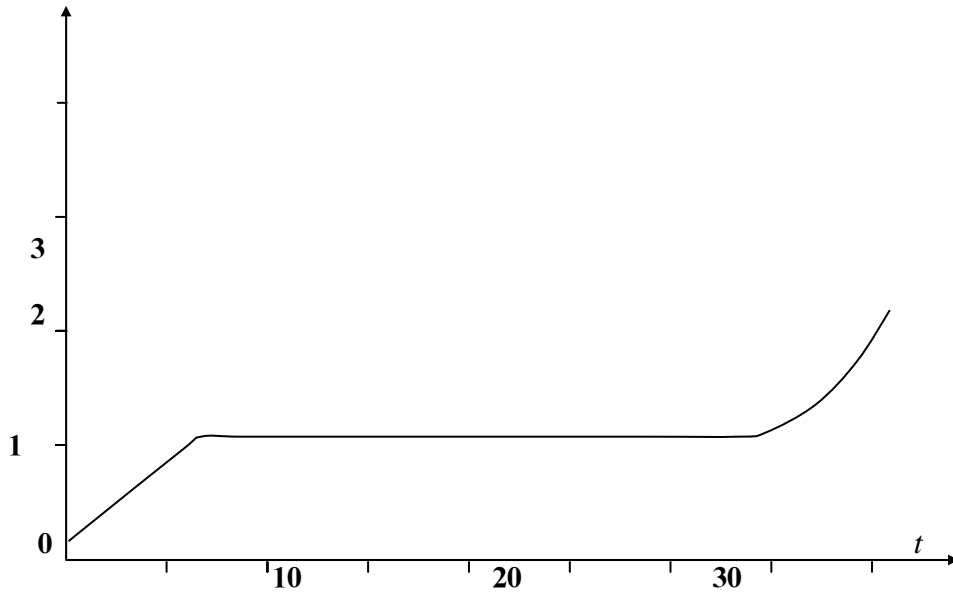
konsentrasiyanın dəyişmə qanunu verilmişdir. Bu asılılıqlar, demək olar ki, bir-birinin güzgü əksidir. $k > 1$ olduqda xəlitənin başlanğıcında ikinci komponentin konsentrasiyası başlanğıc $k \cdot C_1$ qiymətindən başlayaraq kəskin azalır və müəyyən məsafədən sonra ilkin xəlitədəki C_1 qiymətinə çatır. Bu qiymət ərimiş zonanın ön cəbhəsindən xəlitənin sonuna çatdığı anadək davam edir. Bundan sonra $\frac{C_2}{C_1}$ ərimiş zonanın eninə bərabər olan məsafədə tədricən azalaraq sıfıra yaxınlaşır.

Buradan aydın olur ki, $k > 1$ qiymətlərində bu cür xəlitənin sonunu başlanğıc götürüb, onu qidalandırıcı kimi istifadə etsək, onda başlanğıcı konus və ya fırlanma paraboloidi olan sabit tərkibli silindrik qidalandırıcının tətbiqindən əldə edilən paylanmanı almış olarıq.

$k < 1$ qiymətlərində həmin effekti almaq üçün bu cür alınmış xəlitənin başlanğıcını qidalandırıcının başlanğıcı kimi götürmək lazımdır.



Şəkil 3. $k = 3$ qiyməti üçün binar bərk məhlul xəlitəsi boyunca ikinci komponentin konsentrasiyasının (21) – də hesablanmış dəyişmə qanunu.



Şəkil 4. $k = 0,1$ qiyməti üçün bərk məhlul xəlitəsi boyunca ikinci komponentin konsentrasiyasının (21)-dən hesablanmış dəyişmə qanunu.

Beləliklə də, bu cür hazırlanmış silindrik qidalandırıcının istifadə olunması başlanğıcı konus və ya fırlanma paraboloidi olan sabit tərkibli silindrik qidalandırıcının istifadə olunması ilə eyni nəticə verir. Yəni də başlanğıcda ərintidə ikinci komponentin konsentrasiyası təqribən sıfırdan başlayaraq, tədricən artır və sabit qiymətə çatdıqdan sonra dəyişməz qalır. Bu cür qidalandırıcının sonundakı kəskin tərkib dəyişməsi kristallaşma prosesində kristaldakı tərkib paylanmasına təsir göstərə bilmir. Çünki xəlitənin bu hissəsindən onu ştoka bərkitmək üçün istifadə edilir və o, qidalandırıcının sərf edilən hissəsinə daxil olmur. Onun qalıq (istifadə olunmamış) hissəsindən proses qurtardıqdan sonra yalnız yeni qidalandırıcı xəlitə düzəltmək üçün istifadə etmək olar.

Bu deyilənləri biz kəsilməzlik tənliyinin həlli əsasında sübut edə bilərik. Bu isə başqa məqalənin mövzusudur.

ƏDƏBİYYAT

1. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. М., «Наука», 1966.
2. Тагиров В.И. Полупроводниковые твердые растворы $Ge - Si$. Баку, «Элм», 1983.

**НОВЫЙ МЕТОД ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ
ПОДПИТЫВАЮЩИХ СЛИТКОВ СО СЛОЖНЫМ
РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ СОСТАВА**

В.И.ТАГИРОВ, В.Г.АЛИЕВ, Т.Г.ДЖАФАРОВ, Н.Ф.ГАХРАМАНОВ

АННОТАЦИЯ

Изготовление слитков бинарных твердых растворов резким охлаждением сопровождается появлением в объеме слитка многочисленных микротрещин, которые создают неудобства при выращивании монокристаллов. В настоящей работе предложен новый метод, позволяющий изготавливать слитки, свободные от микротрещин. Для этого сперва резким охлаждением изготавливается слиток с равномерным распределением среднего состава, который затем подвергается однократной зонной перекристаллизации. Распределение состава вдоль слитка устанавливается решением уравнения непрерывности потока вещества второго компонента при кристаллизации. Применением такого слитка можно получать монокристаллы бинарных твердых растворов с однородным и сложным распределением состава вдоль кристалла подбором технологического режима.

**A NEW METHOD OF PREPARING CYLINDRICAL FEEDING ALLOYS
WITH COMPLICATED CONTENT DISTRIBUTION**

V.I.TAHIROV, V.Q. ALIYEV, T.Q.DJAFAROV, N.F.QAKHRAMANOV

ABSTRACT

A new method of preparing feeding binary alloys without microtracks has been offered. To prepare an alloy by the new method one has to make a cylindrical binary alloy rod by sharp cooling method and to expose it to zone melting recrystallization. The content distribution along the feeding rod has been found by solving the continuity equation. Using such an alloy one can grow binary solid solution single crystals with constant and other complicated content distributions. The method has been applied to $Ge - Si$ solid solutions.