

ФИЗИКА ИЛИМДЕРИ
ФИЗИЧЕСКИЕ НАУКИ
PHYSICAL SCIENCES

Эгамбердиева А.А.

**КИЧИНЕ ӨЛЧӨМДӨГҮ КРИСТАЛЛАРДЫ ЛАЗЕРДИК ЫСЫТУУ
ЫКМАСЫ (LHPG) МЕНЕН ӨСТҮРҮҮ**

Эгамбердиева А.А.

**ВЫРАЩИВАНИЕ КРИСТАЛЛОВ МАЛЫХ РАЗМЕРОВ МЕТОДОМ
ЛАЗЕРНОГО НАГРЕВА (LHPG)**

A.A. Egamberdieva

**GROWING SMALL CRYSTALS BY THE METHOD
LASER HEATING (LHPG)**

УДК: 535377 (575.2) (04)

Бул макалада кичине өлчөмдөгү кристаллдарды: планардык (эки өлчөмдүү) жана булалык (бир өлчөмдүү) системаларды лазердик ысытуу ыкмасы (LHPG) менен өстүрүү ыкмасы жөнүндө маалыматтар берилет. Каалагандай идеалдуу кристалл өзүн чексиз мезгилдүү түзүлүш катары көргөзөт, ал бир тектүү, бүткүл көлөмү боюнча бирдей физикалык касиетке ээ. Бирок реалдуулукта идеалдуу түзүлүштөр болбойт, реалдуу түзүлүштөр дайыма жетишсиз болушат. Реалдуу кристаллдын эң олуттуу жетишипегендиги анын бети болот. Беттин жанындагы катмарда ичтен аракет этүүчү, жоюшпаган кошууча күчтөр бар болгондуктан, бул катмар калган көлөмдүн касиеттеринен айырмаланган касиеттерге ээ болот. Кристаллдын сызыктуу өлчөмдөрү беттин жанындагы катмардын калыңдыгынан алда канча чоң болгон учурларда, суммардык касиет көлөм менен аныкталат жана идеалдуу кристаллдын касиеттери менен дээрлик дал келет. Качан, кристаллдын сызыктуу өлчөмдөрү беттин жанындагы катмардын калыңдыгы менен салыштыргандай болуп калганда, ал кристаллдын параметрин аныктоодо олуттуу ролду ойной баштайт, натыйжада ири өлчөмдүү жана кичине өлчөмдүү кристаллдардын касиеттеринин ортосунда айырмачылык пайда болот. Ушуга байланыштуу кичине өлчөмдөгү кристаллдарды алуу жана изилдөө маанилүү, актуалдуу маселелерден болуп калат.

Негизги сөздөр: кристаллдар, өстүрүлгөн була, жергиликтүү ысытуу зонасы, лазер нурунун фокусоточу системасы, лазер, даярдама, орточо тыгыздык.

В этой статье представлена информация о том, как выращивать небольшие кристаллы: планарные (двумерные) и волоконные (одномерные) системы с помощью лазерного нагрева (LHPG). Любой идеальный кристалл представляет собой бесконечно периодическую структуру, однородную и имеющую одинаковые физические свойства по всему размеру. Но на самом деле идеальных структур не бывает, а реальных структур всегда недостаточно. Самый серьезный недостаток настоящего кристалла – это его поверхность. Поскольку слой, рядом с поверхностью, содержит дополнительные силы, которые действуют внутри и не устраняются, этот слой приобретает свойства, отличные от свойств остальной части объема. Когда линейные размеры кристалла намного больше, чем толщина слоя рядом с поверхностью, общее свойство определяется объемом и почти совпадает со свойствами идеального кристалла. Когда линейные размеры кристалла сравнимы с толщиной слоя у поверхности, он начинает играть важную роль в определении параметров кристалла, что приводит к различию свойств больших и малых кристаллов. В связи с этим добыча и изучение мелких кристаллов будет важной и актуальной проблемой.

Ключевые слова: кристаллы, выращенное волокно, зона локального нагрева, система фокусировки лазерного луча, лазер, заготовка, средняя плотность.

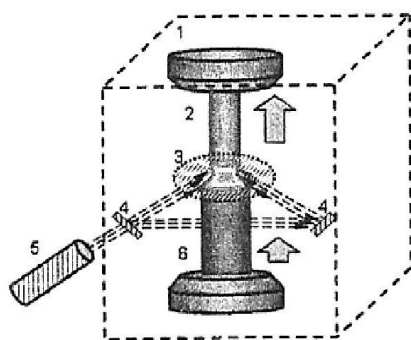
This article provides information on how to grow small crystals: planar (two-dimensional) and fiber (one-dimensional) systems using laser heating (LHPG). Any ideal crystal is an infinitely periodic structure that is homogeneous and has the same physical properties throughout its size. But in reality, there are no ideal structures, and real structures are always insufficient. The most serious

ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ КЫРГЫЗСТАНА, № 1, 2021

drawback of a real crystal is its surface. Since the layer near the surface contains additional forces that act inside and are not eliminated, this layer acquires properties that are different from the properties of the rest of the volume. When the linear dimensions of the crystal are much larger than the thickness of the layer near the surface, the general property is determined by the volume and almost coincides with the properties of an ideal crystal. When the linear dimensions of the crystal are comparable to the thickness of the layer at the surface, it begins to play an important role in determining the parameters of the crystal, which leads to a difference in the properties of large and small crystals. In this regard, the extraction and study of small crystals will be an important and urgent problem.

Key words: crystals, grown fiber, local heating zone, laser beam focusing system, laser, workpiece, average density.

Лазердик ысытуу ыкмасында алдын ала даярдалган таякча түрүндөгү монокристал (же ныкталган поли кристалл) бир эле маалда лазердик нур менен жергиликтүү ысытууга жана созуучу аракетке дуушар болот (1-сүрөт). Бул буланын пайда болушуна алып келет.



1-сүрөт. Лазердик ысытуу ыкмасынын схемасы: 1-өстүрүүчү камера; 2-өстүрүлгөн була; 3-жергиликтүү ысытуу зонасы; 4-лазер нурунун фокусуючу системасы; 5-лазер; 6-даярдама.

(LHPG) - ыкмасынын өзгөчөлүгү болуп, даярдаманын материалынын өсүү процессинде агрегаттык абалынын эки жолу өзгөртүшү (катуудан суюкка жана тескерисинче) эсептелет. Биринчи фазалык өтүү, энергиясы даярдаманын анча чон эмес бөлүгүндө анын материалын толук эритүүгө жеткидей лазердик нурга туш келгенде жүрөт. Экинчи фазалык өтүү (буланын калыптанышы) даярдаманын бөлүгү лазердик нурдун аракет этүү зонасынан чыкканда өзүнөн-өзү ишке ашат. Бул учурда даярдаманын жергиликтүү ысытуу зонасынан чыккан бөлүгүнүн ордуна андан кийинки жаңы бөлүгү келет [1-12]. Суюк абалдагы материалдын көлөмү өзгөрбөйт, б.а. убакыт бирдиги ичинде эриген жана кристаллдашкан заттын көлөмдөрүн $V_{эп}$ жана $V_{кр}$ барабар деп, эсептөөгө болот:

$$\frac{dV_{эп}}{dt} = \frac{dV_{кр}}{dt}. \quad (1)$$

Эгерде даярдаманы ысытуу зонасына берүүнүн ылдамдыгы ϑ_1 , ал эми буланын ысытуу зонасынан чыгуу ылдамдыгын ϑ_2 деп белгилеп, даярдама жана цилиндр формасына ээ деп эсептесек, анда

$$r_2 = r_1 \sqrt{\frac{\vartheta_1}{\vartheta_2}} \quad (2)$$

катышы орун алат, мында r_1 жана r_2 тийешелүү түрдө даярдаманын жана буланын радиусу (2) туюнтмасынан эгерде $\vartheta_1 < \vartheta_2$ болсо, анда $r_1 > r_2$ болору көрүнүп турат. Созулган буланын формасы цилиндрге жакын болот. Бул суюктуктун бетинин потенциалдык энергиясын эң кичине кылууга умтулуп, ага эң кичине эркин аянтка ээ, форманы берген эритмедеги беттик керилүү күчтөрүнүн бардыгы менен байланышта болот.

Эритменин зонасы үзүлбөсүн үчүн, даярдама жана була бири-биринен даярдамадагы жана буладагы суюктуктардын эркин беттеринин ийрилик радиустары $R_1 > R_2$ менен аныкталган кандайдыр бир эң чоң маани $z_{э.ч.}$ дон ашпаган z_c аралыгында жайланышуулары керек. Бул аралык 2-сүрөтүнөн көрүнүп тургандай болжол менен төмөндөгүгө барабар:

$$z_{э.ч.} \approx \sum_{i=1}^2 (R_i - R_i \cos \beta_i) = \sum_{i=1}^2 R_i (1 - \cos \beta_i) = \sum_{i=1}^2 r_i \frac{1 - \cos \beta_i}{\sin \beta_i} \quad (3)$$

Эритме зонасы (даярдама менен буланын ортосундагы зона z_c) эки бөлүмдөн: эрүүчү жана кристалдашуу бөлүмдөрүнөн турат. Биринчи бөлүм даярдамага байланып (ϑ_1 ылдамдыгы менен кыймылдайт) лазердик нурдун калыңдыгы δ дан ашпаган узундука ээ болот, себеби эрүү лазердик ысытуу аймагында гана мумкун болот. Экинчи бөлүм була менен байланышып (ϑ_1 ылдамдыгы менен кыймылдайт) $z_{кр}$ узундугуна ээ:

$$z_c \approx \delta + z_{кр} \quad (4)$$

LHPD – буласын кристаллдаштырууда жүргөн негизги процесстер, буланы μ -PD ыкмасы менен өстүрүүдө орун алган процесстер менен окшош болгондуктан, $z_{кр}$ – нын мааниси:

$$z_{кр} = \frac{v_2}{2} \cdot \frac{\xi \rho r_2}{\varepsilon \sigma_{CB} (T_{эп}^4 - T_{чθн}^4) + (T_{эп} - T_{чθн})} \quad (5)$$

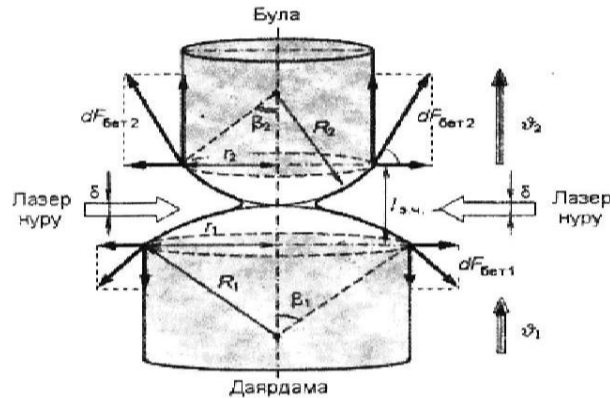
анда

$$z_c = \delta + \frac{v_2}{2} \cdot \frac{\xi \rho r_2}{\varepsilon \sigma_{CB} (T_{эп}^4 - T_{чθн}^4) + (T_{эп} - T_{чθн})} \quad (6)$$

z_c жана $z_{э.ч.}$ функциясынын маанилерин (5) жана (6) дан $z_c < z_{э.ч.}$ барабарсыздыгына коюп, буланы эң чоң ылдамдыгы ϑ_2 ны аныктайбыз.

$$\vartheta_2 < 2 \frac{\varepsilon \sigma_{CB} (T_{эп}^4 - T_{чθн}^4) + \alpha (T_{эп} - T_{чθн})}{\xi \rho r_2} \left[\sum_{i=1}^2 r_i \frac{1 - \cos \beta_i}{\sin \beta_i} - \delta \right] \quad (7)$$

(7)ду талдоо башка шарттар бирдей учурда жакшы фокусталган лазер нурун (б.а. $\delta \rightarrow 0$ болгондо) пайдаланып буланы чоң ылдамдыкта созууга болорун көргөзөт (2-сүрөт).



2-сүрөт. Лазердик ысытылууда созуу процессинин схемасы.

ϑ_2 чоңдугун баалоонун бул жолу лазердин кубаттуулугу Q_A ϑ_1 ылдамдыгы менен кыймылдаган даярдаманы узундугу δ болгон бөлүктө эритүүгө жетишээрлик деген божомолго таянуу менен жүргүзүлдү. Эриген даярдамада менен курчаган чөйрөнүн ортосундагы жылуулук алмашуу процесстерин карап Q_A дин маанисин баалайбыз.

Лазердин кубаттуулугу Q_A даярдаманын материалын ысытууга ($Q_{\text{ыс}}$) жана аны эритүүгө ($Q_{\text{эр}}$), о.э эритменин ачык каптал бети $S_{\text{кап}}$ аркылуу курчаган чөйрөгө жылуулук агымынын Φ жоготуусун түзүү үчүн сарп кылынат:

$$Q_A = Q_{\text{эр}} + Q_{\text{ыс}} + \Phi S_{\text{кап}} \quad (8)$$

Эритүү кубаттуулугу $Q_{\text{эр}}$ материалдарды эритүүгө сарп кылынган энергия $W_{\text{эр}}$ нүн энергияны берүү ишке ашырылган убакытка болгон катышы катары аныкталат:

$$Q_{\text{эр}} = \frac{dW_{\text{эр}}}{dt} = \frac{\xi dm_{\text{эр}}}{dt} = \frac{\xi \rho dV_{\text{эр}}}{dt} = \frac{\xi \rho \pi r_1^2 dz_{\text{эр}}}{dt} = \xi \rho \pi r_1^2 \vartheta_1, \quad (9)$$

Мында ξ – затты эритүүнүн салыштырма жылуулугу; $T_{\text{эр}}$ – эрүү жүргөн бөлүмдүн массасы; $W_{\text{эр}}$ – ушул бөлүмдүн көлөмү; ρ – орточо тыгыздык. Ушуга окшош эле ысытуунун кубаттуулугу $Q_{\text{ыс}}$ материалды ысытууга сарп кылынган (эрүү температурасы $T_{\text{эр}}$ ден эритменин температурасын $T_{\text{эритге}}$ чейин) энергия $W_{\text{ыс}}$ нун энергияны берүү ишке ашырылган убакытка болгон катышы катары аныкталат:

$$Q_{\text{ыс}} = \frac{dV_{\text{ыс}}}{dt} = \frac{c(T_{\text{эритге}} - T_{\text{эр}})}{dt} = c(T_{\text{эритге}} - T_{\text{эр}}) \rho \pi r_1^2 \vartheta_1, \quad (10)$$

мында c – заттын салыштырма жылуулук сыйымдуулугу; $m_{\text{эр}}$ ысытылган бөлүмдүн массасы; $V_{\text{ыс}}$ – ушул бөлүмдүн көлөмү; ρ – орточо тыгыздык.

Φ агымы курчаган чөйрөгө эритменин ачык каптал бети $S_{\text{кап}}$ аркылуу жылуулук берүүнүн натыйжасында энергияны берүүсүнөн пайда болот:

$$\Phi = \varepsilon \sigma_{\text{сб}} (T_{\text{эритге}}^4 - T_{\text{чөй}}^4) + \alpha (T_{\text{эритге}} - T_{\text{чөй}}), \quad (11)$$

ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ КЫРГЫЗСТАНА, № 1, 2021

мында α – жылуулук берүү коэффициенти; $T_{эрит}$ – эритменин температурасы; $T_{чөй}$ – курчаган чөйрөнүн температурасы, $S_{кап}$ чоңдугу $2\pi r$, δ га (цилиндр каптал бетинин аянты) барабар (10) - (11) ди (8) коюп төмөнкүнү алабыз:

$$Q_{\lambda} = \rho \pi r_1^2 v_1 \left[\xi + c(T_{эрит} - T_{эр}) \right] + \varepsilon \sigma_{CB} (T_{эрит}^4 - T_{чөй}^4) + \alpha (T_{эрит} - T_{чөй})$$

Мындан даярдаманын ылдамдыгы v_1 төмөнкүгө барабар болот:

$$v_1 = \frac{Q_{\lambda} - \varepsilon \sigma_{CB} (T_{эрит}^4 - T_{чөй}^4) + \alpha (T_{эрит} - T_{чөй})}{\rho \pi r_1^2 [\xi + c(T_{эрит} - T_{эр})]} \quad (12)$$

(12) туюнтмасынан даярдаманын эрүүсү улана берүүчү учурдагы (б.а. $T_{эрит} = T_{эр}$) кыймылынын эн чоң ылдамдыгын баалоого болот:

$$v_1 < \frac{Q_{\lambda} - \varepsilon \sigma_{CB} (T_{эрит}^4 - T_{чөй}^4) + \alpha (T_{эр} - T_{чөй})}{\xi \rho \pi r_1^2} \quad (13)$$

Эгерде даярдаманын кыймылынын ылдамдыгы v_1 (13) туюнтмасында көргөзүлгөндүгүнөн бир топ кичине болсо, анда бул эритмени ашык баш кубаттуулук v_1 дин эсебинен кошумча ысытууга, кристаллдашуу убактысын жана $z_{кр}$ аралыгын чоңойтууга алып келет. Бул учурда $z_c < z_{э.ч.}$ – шарты бузулуп, буланын өсүү процесси токтошу мүмкүн.

Булалуу кристаллдардын өсүүсүн сунуш кылган LHPG – ыкмасынын алкагында кароонун жыйынтыгы болуп, өстүрүү режиминин негизги параметрлерин (буланын өлчөмү, даярдама менен буланын кыймылынын ылдамдыгы, лазердин кубаттуулугу) баалоо үчүн колдонуучу (2), (7) формулаларын алууга болот. Жүргүзүлгөн талдоо жана анын жыйынтыктары багытталган кристалдаштыруу режимин башкарууга (белгилүү чектерде), LHPG – буласынын жоондугунун жана узундугунун жөндөөгө мүмкүнчүлүк берет.

Адабияттар:

1. Реннер Т. // Новые полупроводниковые материалы. М.: Металлургиздат, 1964. С. 261-270.
2. Preferred orientation of AlN plates prepared by chemical vapour deposition of AlCl₃+NH₃ system / Takashi Goto, Jun Tsuneyoshi, Kiyoshi Kaya, Toshio Hirai // Journal of Materials Science. V. 27. P. 245-247.
3. Япониянын патенти №01052069 А, МПК С23 С 16/34, С 23 С 16/46, 28.02.89. жарыяланган.
4. Черепанова Т.А. Кинетика кристаллизации многокомпонентных сплавов / Т.А. Черепанова // Докл. АН СССР. 1978. Т.238, III. С.277-331.
5. Патент 2006114216 РФ 25.04.2006. Способ получения нитевидного нитрида алюминия / Ю.Д. Афонин, А.Р. Бекетов, А.В. Анипко, В.Б. Малков, А.Н. Черепанов, Б.В. Шульгин.
6. Лодиз Р. Рост монокристаллов / Р. Лодиз, Р. Паркер. М.: Мир, 1974.
7. Малин Дж. Кристаллизация / Дж.Малин. М.: Металлургия, 1965.
8. Королева Т.С. Диссипативные процессы в оптических средах на основе легированных кристаллов (Li, Na)F различной размерности. Джексон. К Проблемы роста кристаллов / К. Джексон. М., 1968. С.13-26.
9. Современная кристаллография. Т.3. Образование кристаллов / А.А. Чернов, Е.И. Гиваргизов, Х.С. Багдасаров, В.А. Кузнецов, Л.Н. Демянцев, А.Н. Лобачев. М.: Наука, 1980.408с.
10. Бакли Г. Рост кристаллов / Г. Бакли. М.: Изд-во иностр.лит., 1954. С. 26.
11. Кидибаев М.М., Денисов Г.С., Касымалиев М.Е. Влияние примеси tl на оптические свойства кристаллов NAF. Известия ВУЗов Кыргызстана. 2013. №. 4. С. 32-34. <http://www.science-journal.kg/ru/journal/2/archive/3495>
12. Кидибаев М.М., Эгамбердиева А.А., Денисов Г.С. Радиационно-оптические процессы в кристаллах фторида натрия. Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2016. №.12. С.8-10. <http://www.science-journal.kg/ru/journal/1/archive/9669>