

## ВЛИЯНИЕ ГРУППОВОЙ НЕУПОРЯДОЧЕННОСТИ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЛОИСТЫХ КРИСТАЛЛОВ GaSe

А.Г.КЯЗЫМ-ЗАДЕ\*, А.Г.МОХТАРИ\*, В.М.САЛМАНОВ\*,  
Ю.А.АСАДОВ\*\*, А.А.АГАСИЕВ\*, А.А.АГАЕВА\*\*\*, М.З.МАМЕДОВ\**\*Бакинский Государственный Университет**E-mail: vagif\_salmanov@yahoo.com.**\*\* Институт Физики АН,**\*\*\* Азерб. Нефтяная Академия*

Обсуждается влияние групповой неустойчивости на оптические свойства слоистых кристаллов GaSe. Рентгеноструктурным анализом показано, что выращенные нами кристаллы GaSe методом Бриджмена состоят из смеси двух модификаций ( $\beta$ ,  $\delta$ ). В той части образца, которая содержит  $\delta$ -модификации, наблюдается аномальное преломление света под действием одного из источников излучения (He-Ne, YAG: Nd<sup>3+</sup>, Родамин 6G жидкостные лазеры и коллимированный луч). Луч лазера или коллимированный поток света от обычной лампы накаливания, направленный перпендикулярно к слоям кристалла после его прохождения оказывался отклоненным на угол около 13° и 70°. В спектрах пропускания и фотопроводимости  $\beta$ -модификации наблюдаются линии поглощения свободного экситона, тогда как экситонный пик отсутствует в образцах  $\delta$ -модификации. В косонапильных тонких пленках GaSe также наблюдается эффект аномального преломления света. Кроме того, в этих пленках при облучении светом в области собственного поглощения обнаружена высокая фото-э.д.с.~30В. Результаты проведенных исследований показывают, что вышеуказанные особенности кристаллов GaSe могут быть объяснены групповой неупорядоченностью слоев, имеющих в слоистых кристаллах A<sup>3</sup>B<sup>6</sup>.

**1. Введение**

Монокристаллы соединений типа A<sup>3</sup>B<sup>6</sup>, в частности кристаллы GaSe, кристаллизуются в слоистой структуре. Структура этих кристаллов состоит из последовательно упакованных слоев, каждый из которых содержит четыре плотно связанные атомные плоскости Se-Ga-Ga-Se [1]. Связь между слоями является слабая Ван-дер-Ваальсовая, тогда как вдоль слоев доминирует ковалентная связь. В каждой группе имеется 15 слоев, расстояние между которыми составляет ~ 0,8нм[2]. В зависимости от упаковки слоев формируются различные модификации GaSe ( $\delta$ ,  $\beta$ ,  $\epsilon$  и  $\gamma$ ), в которых положение края полосы поглощения определяется межслоевым взаимодействием. Реальные кристаллы обычно состоят из смеси различных модификаций, в которых в зависимости от характера нарушения в расположении слоев, появляются границы разделенных модификаций. Кроме того, слабая связь между слоями практически всегда приводит к смеще-

нию группы слоев относительно друг друга и к самоорганизации дефектов упаковки. Такие самоорганизованные дефекты упаковки приводят к нарушению периодического потенциала вдоль кристаллографической оси-с и образованию дополнительного одномерного флуктуационного потенциала в том же направлении кристалла. Показано, что групповая неупорядоченность, имеющая место в слоистых кристаллах GaSe, сильно влияет на их электронные, фотоэлектрические свойства и на свойства Ванье экситонов [3-8]. Экспериментальные результаты для темновой проводимости в GaSe показывают сильную анизотропию температурной зависимости

$$\sigma_{\parallel} / \sigma_{\perp} = A \exp(-\Delta E/kT),$$

где  $\sigma_{\parallel}$  и  $\sigma_{\perp}$  описывают проводимость, параллельную или перпендикулярную кристаллографической оси-с, соответственно. Параметр А имеет порядок отношения эффективных масс дырок  $m_{\perp}/m_{\parallel} = 4$ , а  $\Delta E$  меняется в интервале 10-100 мэВ в зависимости от образца.

В работе [5] показано, что влияние групповой неупорядоченности на экситоны связано с ограниченным числом слоев. Спектр поглощения GaSe сильно зависит от образцов. Разнообразие, наблюдаемое в спектрах поглощения GaSe, объясняется различными порядками групповой неупорядоченности, встречающейся в этом материале.

В данной работе экспериментально исследуется влияние групповой неупорядоченности на оптические свойства кристаллов GaSe. С этой целью нами были выращены кристаллы GaSe методом Бриджмена, проведен рентгеноструктурный анализ исследованных кристаллов, измерены спектры пропускания и фотопроводимости, а также изучены влияния групповой неупорядоченности на вышеуказанные явления.

## 2. Методика изготовления образцов и техника эксперимента

Исследованные кристаллы GaSe были выращены методом Бриджмена. Зернышки Ga и Se (с чистотой 4 порядка) с точностью до 1 миллиграмма были взяты в стехиометрическом соотношении. Зернышки Se и Ga были раздроблены и заполнены в кварцевую ампулу. Ампула была откачана, впаяна и помещена в электрическую печь. Вначале при температуре  $\sim 50^{\circ}\text{C}$  ампула с исходными веществами выдерживалась около 1 часа. Затем температуру поднимали до  $\sim 255^{\circ}\text{C}$  и выдерживали при этой температуре  $\sim 30$  минут, в течение этого времени вещество автоматически перемешивалось. Далее в течение двух часов температуру в печи поднимали до  $\sim 1000^{\circ}\text{C}$  и при этой температуре выдерживали расплав в течение 3,5 часа с включенным электрическим мотором для перемешивания. Затем перемешивающее устройство выключали и расплав выдерживали в течение  $\sim 0,5$  часов.

Кристаллизационный цикл синтеза проводили с очень медленной скоростью охлаждения. Несмотря на то, что после синтеза на стенках ампулы не наблюдалось следов нереагирующих компонентов, на следующий день процесс синтеза того же слитка был повторен в той же ампуле, однако с той разницей, что до достижения температуры  $\sim 1000^{\circ}\text{C}$  не производили процесс выдержки при

определенных температурах. Но при  $1000^{\circ}\text{C}$  опять расплав в течение 3,5 часа выдерживался с включенным электромотором для перемешивания. Полученный по такой технологии поликристаллический GaSe был слоистым и совершенно чистым. Затем этот поликристалл измельчали и наполняли в кварцевую ампулу с коническим концом с целью выращивания из него монокристаллов. Температура верхней (горячей) зоны была  $1050^{\circ}\text{C}$ , а нижней (холодной)  $800^{\circ}\text{C}$ . В области горячей зоны ампула с веществом выдерживалась около 3-х часов. Затем включали электромотор для движения ампулы и скорость роста кристаллов была 4 мм/час. С такой скоростью ампула прошла расстояние около 21 см в течение 48 часов, переходя из горячей зоны в холодную - кристаллизационную. После выключения обоих нагревателей движение ампулы с веществом продолжалось еще около 5-ти часов. Таким образом, был выращен кристалл GaSe с весом 15 г, диаметром 10 мм и длиной 20 см. Простым скалыванием можно было изготовить образцы с площадью  $\sim 1\text{ см}^2$  и толщиной в несколько микрон. Для проверки воспроизводимости наблюдаемых эффектов, синтез и выращивание кристаллов повторяли многократно в одних и тех же экспериментальных условиях. Таким образом, была показана возможность получения идентичных результатов во многих образцах.

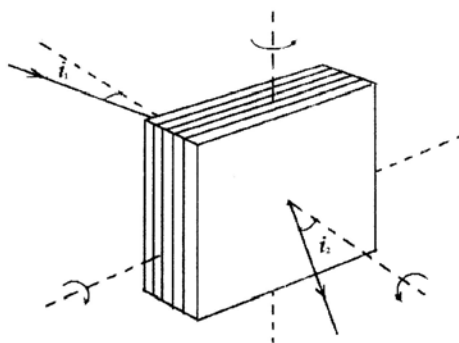
Пленки GaSe получали термическим испарением в вакууме  $\sim 6 \times 10^{-5}$  мм.рт.ст.. Напыление производили под углом  $\sim 80^{\circ}$  к подложке. Пленки наносились на полированные стеклянные подложки нагретые до  $150^{\circ}\text{C}$ . Толщина пленок изменялась в пределах (0,5÷4,6) мкм. Для исследования на пленки наносились In, Ga контакты.

В качестве источника излучения были использованы непрерывные газовые He-Ne ( $\lambda=632,8\text{ нм}$ ,  $W=1\text{ мВт}$ ), импульсные твердотельные YAG: Nd<sup>3+</sup> ( $\lambda=1060\text{ нм}$ ,  $W=1\text{ МВт/см}^2$ ,  $\Delta t=10\text{ нс}$ ) и импульсные жидкостные ( $\lambda=594\div 643\text{ нм}$ ,  $W=120\text{ кВт}$ ,  $\Delta t=1\div 3\text{ нс}$ ) лазеры, а также коллимированный свет из естественного источника. Интенсивность лазерного излучения уменьшалась калиброванными нейтральными фильтрами. Падающий на образец свет всегда направлялся вдоль оптической оси-с кристалла.

Оптические и фотоэлектрические измерения проводились с использованием нестационарной цифровой системы (transient digitizer system), которая включала силиконовый фотодиод, пригодный для использования такого типа лазерных измерений, запоминающий осциллограф (Le Groy 9400) и компьютерную систему (board Master 800 ABI 8).

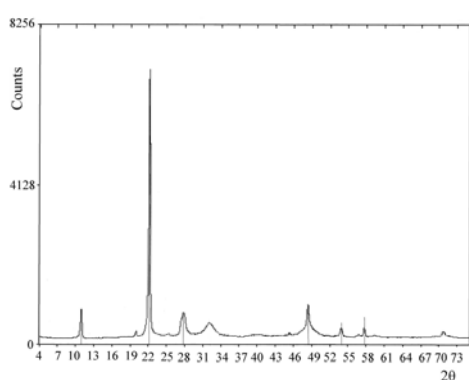
### 3. Экспериментальные результаты и их обсуждение

Проведенные нами исследования показали, что после скалывания слитка в нем была обнаружена область с довольно большой площадью около  $1\text{ см}^2$ , где наблюдалось аномальное преломление оптического излучения с особенностями не имеющими, насколько нам известно, аналогов. Предварительно были сколоты из слитка образцы толщиной около 200 мкм. Луч лазера или коллимированный поток света от обычной лампы накаливания, направленный перпендикулярно к слоям кристалла после его прохождения, оказывался отклоненным на угол около  $13^{\circ}$  и слабо зависел от величины угла падения. Вращение кристалла вокруг луча и других направлений показало, что он ведет себя подобно призме (рис.1).

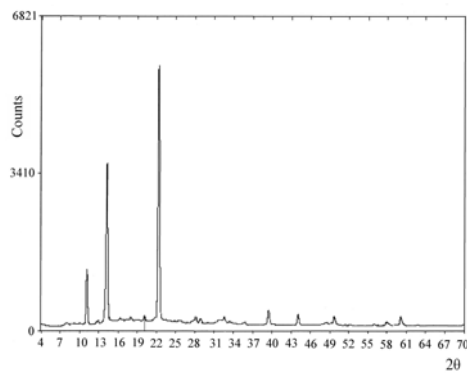


**Рис.1.** Вращение кристалла вокруг луча и других направлений.

Далее скалыванием толщина образцов была уменьшена до 100мкм. Однако угол отклонения по-прежнему оставался около  $13^\circ$ . И наконец, удалось выколоть образец толщиной не более 3-5мкм. Однако и у этого тонкого образца угол отклонения оставался около  $13^\circ$ . Это указывало на то, что наблюдающаяся аномалия по-видимому локализована в нескольких монослоях кристалла GaSe. Нами был подготовлен также и такой образец, в котором «нормальная» часть довольно резко переходила в «аномальную», что позволяло проводить сравнительное исследование в одном и том же образце. Рентгеноструктурный анализ «нормальной» и «аномальной» части кристаллов GaSe показан на рис.2. В таблицах 1 и 2 приведены вычисленные значения решеточных параметров, полученных из обеих частей кристалла рентгеноструктурным анализом. Полученные нами результаты показали, что «нормальная» часть кристалла относится к  $\beta$ -модификации GaSe с гексагональной структурой, с постоянными решетки  $a = 3,7751\text{\AA}$ ,  $c = 15,9602\text{\AA}$ , а «аномальная» часть относится к  $\delta$ -модификации GaSe с гексагональной структурой с постоянными решетки  $a = 3,7493\text{\AA}$ ,  $c = 31,5798\text{\AA}$  (см.Таб. 3). Следует отметить, что вычисленные нами значения решеточных констант для кристаллов GaSe находятся в хорошем согласии с данными работы [9, 10].



**Рис.2 (а).**



**Рис.2(б).**

Диффрактограммы «нормальной» (а) и «аномальной» (б) части кристаллов GaSe.

Таблица 1

**Вычисление параметров для «нормальной» части  
GaSe рентгеноструктурным анализом**

№	$\theta$	$I/I_0$	$d_{\text{экс.}} (\text{Å}^\circ)$	$d_{\text{выч.}} (\text{Å}^\circ)$	hkl
1	$5^\circ 33'$	60	7.9721	7.9801	002
2	$10^\circ$	1	-	-	-
3	$11^\circ 08'$	100	3.9922	3.9901	004
4	$13^\circ 58'$	10	3.1948	3.1920	005
5	$16^\circ 00'$	6	2.7972	2.7847	103
6	$24^\circ 16'$	15	1.8757	1.8875	110
7	$27^\circ 06'$	5	1.6924	1.7062	114
8	$28^\circ 50'$	4	1.5984	1.5960	0010
9	$35^\circ 30'$	4	1.3275	1.3300	0012

Таблица 2

**Вычисление параметров для «аномальной»  
части GaSe рентгеноструктурным анализом**

№	$\theta$	$I/I_0$	$d_{\text{экс.}} (\text{Å}^\circ)$	$d_{\text{выч.}} (\text{Å}^\circ)$	hkl
1	$5^\circ 32'$	20	7.9969	7.9975	004
2	$7^\circ 00'$	80	6.3240	6.3980	005
3	$8^\circ 30'$	6	5.2158	5.3317	006
4	$10^\circ 00'$	8	4.4407	4.5700	007
5	$11^\circ 11'$	100	3.9758	3.9988	008
6	$14^\circ 05'$	3	3.1685	3.1990	102
7	$14^\circ 28'$	2	3.0861	3.1099	103
8	$16^\circ 43'$	2	2.6795	2.6658	0012
9	$19^\circ 45'$	20	2.2694	2.2804	1010
10	$22^\circ 03'$	20	2.0535	2.0615	1012
11	$24^\circ 53'$	10	1.8324	1.8279	114
12	$28^\circ 59'$	5	1.5911	1.5933	204
13	$30^\circ 04'$	10	1.5387	1.5350	1112

Тщательный анализ направления и величины угла отклонения  $i_2$  от величины и направления угла падения  $i_1$  был проведен с помощью прецизионного гониометра (рис.3). Угол падения  $i_1$  меняется от  $+45^\circ$  до  $-45^\circ$  относительно оси нормального падения (вставка на рис.3). Кривая 1 получена при такой ориентации кристалла, когда падающий и отклоненный лучи лежат в плоскости перпендикулярно плоскости наблюдения. Кривая 2 получена после поворота кристалла вокруг падающего луча на  $180^\circ$ . Из рис.3 видно, что при изменении угла падения от  $+25^\circ$  до  $-25^\circ$  угол отклонения практически остается постоянным, около  $12^\circ 50'$ . Лишь при углах падения свыше  $-40^\circ$  (кривая 1) и свыше  $+40^\circ$  (кривая 2) угол отклонения начинает заметно расти. Обращает внимание то, что  $i_2$ - это именно

угол отклонения, а не угол преломления. Это также особенность наблюдаемого явления.

Таблица 3

Полиптипы кристаллов GaSe [11]

Модификации	Пространственные группы симметрии	a, Å	c, Å
$\beta$ - GaSe	$D^4_{6h}$	3.75	15.94
$\epsilon$ - GaSe	$D^1_{3h}$	3.73	15.88
$\gamma$ - GaSe	$D^5_{3v}$	3.73	23.86
$\delta$ - GaSe	$D^4_{6v}$	3.75	31.99

При обзоре поля зрения был обнаружен и второй отклоненный луч со значительно большим углом отклонения порядка  $70^\circ$  и интенсивностью существенно слабее по сравнению с первым (кривые 3 и 4 на рис.3). Как видно из рисунка, угол отклонения второго луча также слабо зависит от угла падения.

Отсутствие заметной поляризации у обоих отклоненных лучей указывает на то, что мы не имеем дело с двулучепреломлением или дихроизмом. Деформационное сжатие слоев при извлечении кристаллов из ампулы маловероятно, так как нами проводились механические воздействия на конечные части специально отобранных образцов.

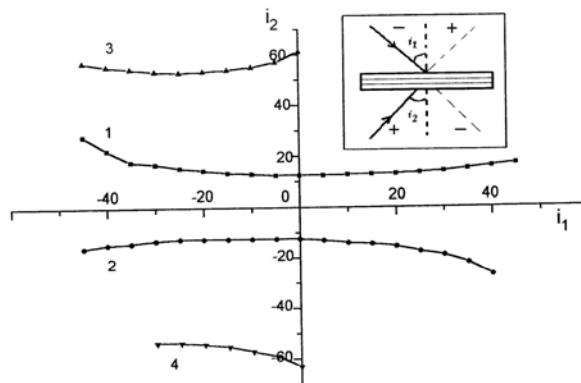


Рис.3. Зависимость величины угла отклонения  $i_2$  от величины угла падения  $i_1$ .

На рис.4 приведены спектры пропускания одного из исследованных образцов, изготовленных из «нормальной» и «аномальной» частей кристалла. Видно, что в «нормальной» части кристалла наблюдается экситонный пик с максимумом на длине волны  $\lambda=620\text{нм}$ , а в «аномальной» части спектра этот пик отсутствует. Отметим, что GaSe является одним из редких полупроводников, где благодаря сравнительно большой энергии связи экситона ( $\sim 20$  мэВ), при комнатной температуре наблюдается экситонное поглощение [12]. Экситонный пик также наблюдается и в спектре фотопроводимости GaSe, полученных из «нормальной» части образцов. В «аномальных» образцах, вместо экситонного пика в

спектре наблюдается низкоэнергетический пик с максимумом 1,96эВ, скорее всего обусловленный примесным центром [13](рис.5).

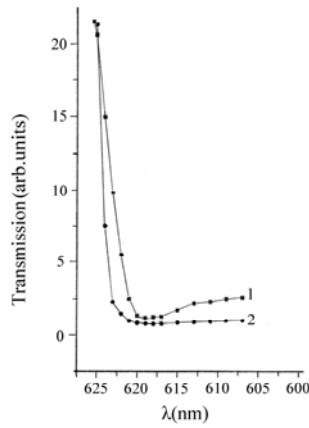


Рис.4. Спектры пропускания GaSe для β(1) и δ(2) модификации.

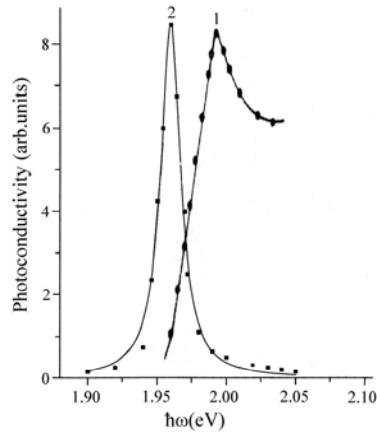
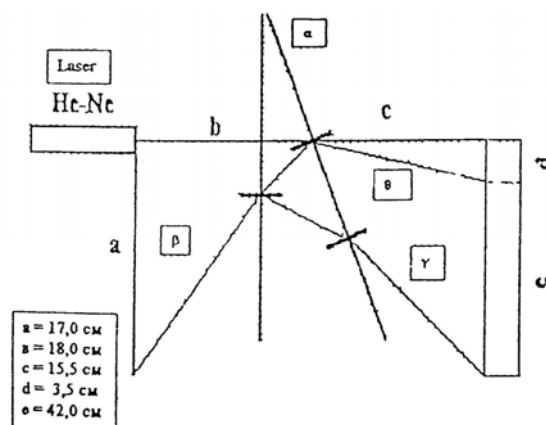


Рис.5. Спектры фотопроводимости GaSe для β(1) и δ(2) модификации.

Если для излучения He-Ne лазера с длиной волны  $\lambda=630 \div 650$  нм угол отклонения составил  $12^{\circ}50'$ , то на длине волны YAG:Nd<sup>3+</sup> лазера с длиной волны  $\lambda=1060$  нм угол отклонения составил  $11^{\circ}45'$ , таким образом, угловая дисперсия составила  $D=2,5$  град/мкм. Если оптическая система будет иметь фокусное расстояние около 50 см, то линейная дисперсия  $D^* = 47$  мм/мкм, что сравнимо с параметрами хороших оптических приборов. Таким образом, становится очевидным перспективность применения кристаллов GaSe в качестве диспергирующих элементов спектральных приборов, особенно в инфракрасной области. Анализируя всю совокупность экспериментальных данных можно предположить, что возможной причиной аномального преломления света в кристаллах GaSe является наличие в них в большом количестве дефектов упаковки, ко-

торые могут привести к сильной деформации потенциала между слоями. В результате этого группа слоев вместо обычного, строго перпендикулярного расположения к оптической оси-с, будет составлять с ней некоторый угол. Причиной этого явления, в частности, может быть наличие градиента температуры в процессе роста кристалла. В пользу данного предположения свидетельствует тот факт, что вращение кристалла вокруг луча и других направлений, кристалл ведет себя как оптическая призма. Оценки показывают, что отклоненные лучи ведут себя подобно лучам, проходящим через изотропную призму с преломляющим углом порядка  $7^\circ$  и показателем преломления  $\sim 2,8$ , равным показателю преломления кристаллов GaSe [14]. На рис.6 приведена оптическая схема прохождения света через такой кристалл. Как видно из рисунка, лучи He-Ne лазера, перпендикулярно падающие на поверхность кристалла вместо распространения вдоль направления падающего излучения, расщепляются (без рассеяния) на два луча, составляющие углы  $13^\circ$  ( $\theta$ ) и  $70^\circ$  ( $\gamma$ ) с направлением падающего луча. Интенсивность второго луча, отраженного под углом  $70^\circ$  намного слабее, чем интенсивность первого луча. Значения углов  $\theta$ ,  $\gamma$  и  $\beta$ , указанные на рисунке, хорошо совпадают с экспериментально найденными значениями.



**Рис.6.** Оптическая схема для «аномального» преломления света в слоистом кристалле GaSe

Еще одним доказательством образования естественной призмы в слоистых кристаллах GaSe в процессе выращивания, являются эксперименты, проводимые нами с тонкими косонапыленными пленками этих кристаллов. При падении лазерного луча с длиной волны  $\lambda=632,8$  нм нормально к поверхности пленок GaSe, проходящий луч отклоняется на  $\sim 40^\circ$ , относительно направления луча. В тонких косонапыленных пленках GaSe наряду с аномальным преломлением света также обнаружено высоковольтное фото э.д.с.  $\sim 30$ В. Это не случайно, так как, известно, что напыление пленок под углом делает фото э.д.с. больше, по видимому, благодаря усилению неоднородности и увеличению пористости, а также чувствительности таких пленок к влиянию адсорбции. Известно, что возникновение фото э.д.с. большей величины может быть объяснено моделью, со-

гласно которой это фото э.д.с. формируется на многих последовательно соединенных переходах или других фотоэлементах, образующихся вследствие изгиба зон на стыках между ориентированными кристаллитами. Во многих пленках фотоэлементы образуются повторными последовательностями дефектов упаковки. Исходя из данных по кинетике нарастания и релаксации фото э.д.с. в пленках GaSe можно предположить, что высокое фото э.д.с. создается пространственным зарядом, который возникает из-за неравномерного распределения неосновных носителей, захваченных на структурных дефектах.

#### 4. Заключение

Показано, что групповая неустойчивость влияет на оптические свойства кристаллов GaSe. На основании проведенных исследований можно заключить, что в GaSe, из-за слабой связи между слоями наряду со смещением, переориентацией группы слоев, также возможны их отклонения от параллельности, появление некоторого угла между ними, который может привести к образованию естественной призмы. Кристаллы GaSe являются удобным объектом для изготовления на их основе спектральных приборов микронной толщины с хорошими диспергирующими параметрами. Косонапыленные пленки GaSe обладают высокой фото э.д.с., что показывает их перспективность в фотовольтаических преобразованиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] M. Schluter, Nuovo Cimento B 13, 313 (1973).
- [2] I.M. Catalano, A. Cingolani, M. Ferrara, A. Minafra, Phys. Stat. Sol. (b) 68,341 (1975).
- [3] K. Maschke, Ph. Schmid, Phys. Rev. B12, 4312 (1975).
- [4] K. Maschke, H. Overhof, Phys. Rev. B15, 2058 (1977).
- [5] J.J. Forney, K. Maschke, E. Mooser, J. Phys. C: Sol. Stat. Phys. 10, 1887 (1977).
- [6] Z. T. Kuznicki, K. Maschke, Ph. Schmid, J. Phys. C: Sol. Stat. Phys. 12, 3749 (1979).
- [7] A.G. Kyazym-zade, A.Z. Abasova, V.M. Salmanov, L.G. Gasanova, A.G. Mamedova, Mater. Science and Engineer. B88, 282 (2002)
- [8] A.G. Kyazym-zade, V.M. Salmanov, I. Hympanova, A.A. Agayeva, Acta Phys. Univer. Comen. XLIII,61 (2002).
- [9] A.Kuhn, Acta Crystallogr. B 31, 2841(1975).
- [10] M.Anis, J.Nazar, J.Mater.Sci. Lett.2,471(1983).
- [11] G.A. Belenkiy, V.B. Stopachinskiy, Uspekhi Fiz. Nauk 140, 233(1983).
- [12] J.M. Besson, K.P. Jain, Phys. Rev. Lett. 32, 936 (1974).
- [13] G.B.Abdullaev, G.L. Belenkiy, S.M. Rivkin, Y.P. Sharonov, V.M. Salmanov, I.D. Yarosheskiy, Fiz. Tekh. Poluprovodn. 5, 374 (1971).
- [14] Le Toullec, Nuovo Cimento 38B, 159 (1977).

**QRUP NİZAMSIZLIĞININ  
GaSe KRİSTALLARININ OPTİK XASSƏLƏRİNƏ TƏSİRİ**

**A.H.KAZIM-ZADƏ, Ə.H.MUXTARİ, V.M.SALMANOV,  
Y.A.ƏSƏDOV, A.A.AĞASIYEV, A.A.AĞAYEVA, M.Z.MƏMMƏDOV**

**XÜLASƏ**

Йкгз тшыфьыэдэхэтэт дфнмфкш GaSe лкшыеддфкэтэт щзешл чфыыццкштц ецшыкш ецскыш шдфкфй ецвйшй увшдышжвшк. Кутегут фтфдшы ыыгдг мфышецшы шдц ыцннцг шдгтыгжвгк лш, Икшсыцт ьуещвг шдц фдэтэж Пфьу лкшыеддфкэ шлш ыцвшашлфышнфтэт йфкэжэхэтвфт шифкцевшк ( $\beta, \delta$ ). Тьыгтцшт  $\delta$ - ыцвшашлфышнфнф фшв шдфт ршыыцшыштвц ычецдша шжэй ыцпццкштвцт фдэтэж рцк рфтыэ ишк шжэй жьфыэтэт ецшыкш шдц шжэхэт фтццфд ыэтф рфшыышы ыжфршвц шдгтыгжвгк (Ру-Ту, НФП:Тв<sup>+3</sup>, Кщвфшт бП ьфну дфяукцкш, ецшш шжэй жьфыэ). Дфяук мц нф фвш шжэй жьфдфкэ дфндфкф зукзутвшлгднфк шыешйфыцевц тьыгтцшт ыцештц ыжвълвц, лкшыеддффт луюцт жьф ыжцт жьфнф тццкцт 13° мц 70°. ьунд уешжвшк.  $\beta$ - ыцвшашлфышнфдэ тьыгтццквц игкфчф мц ащешлюшкшсшдшл ызулекцкштвц ыцкыцые улышешт гвдфьыэ ьбмсгвгк, рфдиглш,  $\delta$ - ыцвшашлфышнфдэ тьыгтццквц улышешт эшлш ыжфршвц шдгтыгк. Дфндфкэ юццлш нбццдшыж Пфьу тфяшл еццццкштвц вц шжэхэт фтццфд ыштф рфшыышы ыжфршвц шдгтгк. Рцьюштшт, иг тфяшл еццццкштвц ибнъл ащеш-у.р.й.-шт шдфьыэ фжлфк увшдышжвшк (~30М). Фдэтэж тцешсццк пьыецкшк лш, Пфьу лкшыеддфкэтэт иг чьыгышннцедцкш щтдфквфлэ дфндфкэт йкгз тшыфьыэдэхэ шдц шяфр шдгтф ишдцк.

**INFLUENCE OF STACKING DISORDER ON THE OPTICAL PROPERTIES  
OF LAYERED CRYSTALS GaSe**

**A.G. KYAZYM-ZADE, A.MOKHTARI, V.M. SALMANOV,  
Yu.A.ASADOV, A.A. AGASIYEV, A.A. AGAEVA, M.Z. MAMEDOV**

**SUMMARY**

The influence of stacking disorder on the optical properties of layered GaSe crystals is discussed. X-ray analyses show, that our grown GaSe crystals with Bridgman method is consist of a mixture of two modifications ( $\beta, \delta$ ). In sample of  $\delta$ -modification part is observed anomalous refraction by one of various lights (He-Ne, Dye, YAG: Nd<sup>+3</sup> lasers and collimated beam). The incident light is perpendicular to the surface of the sample, contrary to passing always along the incoming direction, it splits to two parts making angles of 13° and 70°. In transmission and photoconductivity spectra of the  $\beta$ -modification is exist free exciton absorption, whereas this peak is absent in these spectra in  $\delta$ - modification part samples. In thin film GaSe, which is obtained from thermal evaporation method and is sprayed under a corner, laser beam also is refracted anomalous. Besides in these films are observed the high photovoltage (~30V). Result of the measurements on GaSe indicates that the mentioned properties are explained by stacking disorder of layers.