

ИНСТИТУТ РАДИОФИЗИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ  
АН АРМЯНСКОЙ ССР

На правах рукописи

ГРИГОРЯН НОРИК ЕНОКОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ШИРОКОЗОННЫХ  
СОЕДИНЕНИЙ  $A^{III}B^V$ , ОБЛУЧЕННЫХ БЫСТРЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ

(01.04.07 - Физика твердого тела)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

АШТАРАК - 1982

Работа выполнена в лаборатории радиационной физики  
твёрдого тела Ереванского Физического института

Научные руководители: кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник

Г.Н. ЕФИДИН

кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник

Е.Ю. БРАЙЛОВСКИЙ

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук

В.Л. БИМЕЦКИЙ

кандидат физико-математических наук

Г.С. КАРАЯН

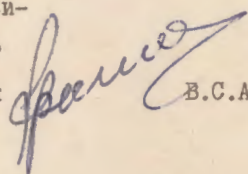
Ведущая организация - НИИ "Сапфир" (г. Москва)

Защита диссертации состоится "17" сентября 1982 года  
в 14 часов на заседании Специализированного Совета  
К.005.13.01 в ИРФЭ АН Арм.ССР (378410, Аштарак - 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИРФЭ АН Арм.ССР

Автореферат разослан "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1982 года

Ученый секретарь Специализи-  
рованного Совета, кандидат  
физико-математических наук



В.С. АРАКЕЛЯН

- 3 -

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Соединения  $A^{III}B^V$  являются основными ма-  
териалами бурно развивающегося в последние годы направления  
полупроводниковой электроники - оптоэлектроники. Широкое при-  
менение кристаллов фосфида галлия и фосфида индия для изготов-  
ления источников спонтанного и когерентного излучения стимули-  
рует необходимость более детального исследования оптических  
свойств этих материалов.

Физические свойства твердых тел в существенной мере опре-  
деляются наличием дефектов в кристаллической решетке. Облуче-  
ние позволяет контролируемо вводить радиационные дефекты (РД)  
в кристаллическую решетку твердых тел и в широком диапазоне  
варьировать их физические свойства.

С другой стороны, облучение является удобным способом мо-  
делирования аморфных и разупорядоченных твердых тел, так как  
в результате облучения наблюдается компенсация проводимости и  
образование "хвостов" плотности состояний в запрещенной зоне.  
Оптические методы исследования позволяют получить детальную  
информацию о свойствах разупорядоченных систем, что актуально  
как для дальнейшего развития теории радиационных нарушений в  
полупроводниковых кристаллах, так и для изучения их свойств и  
природы.

Актуальность данных исследований вызвана также необходи-  
мостью изучения радиационной стойкости приборов, изготавливаемых  
на основе полупроводниковых соединений  $A^{III}B^V$ .

Если оптические свойства кристаллов  $GaAs$ , облученных  
различными типами частиц, можно считать достаточно подробно

изученными, то оптические свойства кристаллов  $GaP$  и  $InP$ , содержащих РД, рассматривались только в отдельных работах: для сильно облученных кристаллов  $GaP$ , когда само понятие "край фундаментального поглощения" теряло смысл, а для  $InP$  влияние облучения выявлялось в узком интервале длин волн вследствие малого оптического пропускания исходного кристалла в области примесного поглощения.

Отсутствуют также работы, рассматривающие особенности оптических свойств облученных кристаллов  $GaP$  и  $InP$  в области поглощения свободными носителями и влияние РД на механизм рассеяния в квантовой области частот ( $\hbar\omega \gg k_0T$ ).

Применение соединений  $A^{III}B^V$  в оптоэлектронике во многом обусловлено способностью некоторых примесей образовывать донорно-акцепторные пары или экситонные комплексы, обеспечивая излучательную рекомбинацию. Состояние этих комплексов также может изменяться в результате облучения.

Выяснение этих вопросов, несомненно, представляет большой научный и практический интерес.

Цель работы. На современном этапе исследований теоретическое рассмотрение околокраевого поглощения в облученных полупроводниковых кристаллах может быть сделано весьма приближенно. Теории, рассматривающие влияние РД на поглощение света свободными носителями, вообще отсутствуют. Поэтому для изучения РД и их влияния на оптические свойства полупроводников первостепенную важность приобретают экспериментальные методы исследования. Целью настоящей работы являлось:

1. Экспериментальное исследование оптического поглощения облученных соединений  $GaP$  и  $InP$  в широком интервале длин

волн, захватывающем околокраевую область, область примесного поглощения и область поглощения на свободных носителях.

2. Установление закономерности и причины изменения оптических свойств кристаллов  $GaP$  и  $InP$  при облучении электронами различных энергий и изучение влияния РД на механизмы рассеяния свободных носителей в квантовой области частот.

3. Исследование влияния электронного облучения на экситонные комплексы в кристаллах  $GaP$ .

Научная новизна заключается в следующем:

1. Впервые изучены закономерности изменения оптического поглощения кристаллов  $GaP$  и  $InP$  при введении как точечных РД, так и области разупорядочения (ОР) и показана определяющая роль деформационных эффектов в формировании "хвостов" плотности состояний.

2. Впервые экспериментально установлено влияние точечных РД на механизм рассеяния носителей в области поглощения свободными носителями и предложен новый механизм рассеяния на "замороженных" фононах (деформации, локализованные вблизи РД), объясняющий уменьшение показателя  $\gamma$  в частотной зависимости  $\alpha \sim \omega^{-\gamma}$  при облучении. Показано, что ОР оказывает малое влияние на рассеяние, в том числе и в актуальной квантовой области частот ( $\hbar\omega \gg k_0T$ ).

3. Экспериментально определено положение уровня Ферми в ОР для кристаллов  $GaP$   $E_f = E_c - 1,0$  эВ, что объясняет компенсацию проводимости при облучении высокоэнергетичными частицами.

4. Показано, что примеси кислорода в процессе облучения могут изменять свое положение в кристаллической решетке  $GaP$ , переходя из состояния внедрения в состояние замещения.

5. Обнаружены и изучены центры, ответственные за временную нестабильность электрических и оптических свойств кристаллов  $InP$ , облученных при комнатной температуре.

Практическая значимость. Результаты исследований измерения оптических свойств фосфида галлия и фосфида индия после облучения частицами высоких энергий и последующего термического отжига могут быть использованы для прогнозирования радиационных изменений параметров приборов оптоэлектроники.

Рост концентрации центров красного свечения  $Zn-O$  в кристаллах  $GaP$  в результате облучения может быть использовано для увеличения эффективности излучения светодиодов на основе  $GaP$ .

Полученный в работе вывод об определяющей роли деформационных эффектов в образовании "хвостов" плотности состояний и частотной зависимости коэффициента поглощения в области поглощения свободными носителями может явиться физической основой для развития методов контроля внутренних механических напряжений в полупроводниковых слитках.

Основные защищаемые положения:

1. В результате облучения в широкозонных соединениях  $A^{III}B^V$  образуются "хвосты" плотности состояний, обусловленные деформационными эффектами.

2. Изменение механизма рассеяния свободных носителей в  $GaP$  при облучении является следствием возникновения локальных деформационных полей, связанных с РД.

3. Увеличение концентрации  $Zn-O$  комплексов в  $GaP$  при облучении обусловлено переходом примеси кислорода из междоузельного состояния на вакансию фосфора.

4. Нестабильность свойств кристаллов  $InP$ , облученных при комнатной температуре, объясняется введением РД с уровнем  $E_c - 0,98$  эВ.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и были представлены на сессии научных советов по проблемам РФИТ АН СССР и ФИТ АН УССР (Севастополь, сент. 1976г.), на Международной конференции "Радиационные эффекты в полупроводниках" (Дубровник - Югославия, сент. 1976г.), на Всесоюзной конференции "Радиационные эффекты в твердых телах" (Ашхабад, окт. 1977г.), на Международной конференции "Дефекты и радиационные эффекты в полупроводниках" (Ницца - Франция, сент. 1978г.), на Всесоюзной конференции "Физика соединений  $A^{III}B^V$ " (Ленинград, окт. 1978г.).

Публикации. Основные результаты работы опубликованы в отечественных и международных журналах, тезисах докладов и материалах всесоюзных и международных конференций (7 публикаций). Список публикаций прилагается.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы; изложена на 130 страницах машинописного текста, содержит 4 таблицы и 33 рисунка; библиография включает 86 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность изучения РД в кристаллах фосфида галлия и фосфида индия, приводится краткое содержание диссертационной работы, а также отмечается новизна полученных результатов и приводятся основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава является обзорной. В ней рассмотрены особенности образования РД в бинарных полупроводниковых соединениях при облучении ускоренными электронами, проанализирована связь стабильности РД с параметрами кристаллической решетки в ряде соединений  $A^{III}B^V$ . Кратко описаны изменения физических свойств широкозонных соединений  $A^{III}B^V$  при воздействии облучения.

Во второй главе приводится методика и техника эксперимента, использованная в данной работе. Исследование спектров поглощения в области от 0,5 до 15 мкм проводилось на промышленных спектрофотометрах СФ-8 и UR-20, в двухлучевом режиме. Изменение спектральной зависимости фотопроводимости производилось при постоянном и модулированном освещении, используя монохроматор спектрофотометра СФ-8. Частота прерывания света составляла 13,2 Гц. Источником света служила лампа накаливания.

Низкотемпературные оптические измерения проводились в криостатах.

Облучение образцов проводилось на линейном ускорителе Ереванского синхротрона и на микротроне с энергиями электронов 50 МэВ и 7,5 МэВ, соответственно. Облучение электронами с энергией 2,5 МэВ проводилось на линейном ускорителе электронов ЗЛУ-4 Института Физики АН УССР. В процессе облучения образцы охлаждались продувом паров жидкого азота, поддерживающем постоянную температуру образца 20°C.

Отжиг РД проводился в вакуумной печи в интервале температур 50-600°C, период изохронного отжига составлял 15 мин.

В третьей главе приведены результаты исследования влияния облучения электронами с энергией 7,5 МэВ и 50 МэВ на оптическое поглощение и фотоэлектрические свойства образцов GaP.

легированных цинком или теллуrom. В результате облучения наблюдается дополнительное поглощение в околоразовой области и уменьшение поглощения в области поглощения свободными носителями. При малых дозах облучения в кристаллах форма края фундаментального поглощения трансформируется из степенной в экспоненциальную  $\alpha = \alpha_0 \exp \frac{\hbar\omega - E_g}{E_0}$ , что указывает на возникновение "хвостов" плотности состояний.  $E_0$  - некоторая характеристическая энергия, зависящая от температуры и параметров материала. При дальнейшем облучении  $E_0$  возрастает линейно с дозой в случае введения точечных РД. В прилегающей к краю области примесного поглощения дополнительное поглощение выражается зависимостью  $\alpha \sim \exp(\gamma \hbar\omega)$ , где  $\gamma$  не зависит от дозы облучения.

Исследования фоточувствительности облученных кристаллов показали, что фотопроводимость наблюдается в области дополнительного поглощения. Появление остаточной проводимости и ее гашение указывают на возникновение потенциального рельефа зон при облучении. По спектральным зависимостям гашения остаточной проводимости определена глубина залегания уровня Ферми в ОР кристаллов GaP  $E_f = E_c - 1,0$  эВ.

Экспериментальные результаты показывают, что точечные РД намного эффективней изменяют край основного поглощения в кристаллах GaP, чем легирующие примеси. Это указывает на преобладающую роль деформационных эффектов над кулоновским взаимодействием в формировании "хвостов" плотности состояний.

Коэффициент поглощения в области поглощения свободными носителями обычно описывается зависимостью вида  $\alpha \sim \omega^{-r}$ , где  $r$  зависит от механизма рассеяния (на ионизованных примесях, акустических и оптических фононах). Для различных исходных

кристаллов  $n$ -GaP значение  $r$  находится в интервале 1,8+1,35. Проведенные нами эксперименты для одних и тех же образцов  $n$ -GaP, легированных теллуром ( $n_0 = 1,5 + 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ), показали, что при увеличении концентрации РД показатель степени  $r$  уменьшается от 1,8 до 1,1 при концентрации дефектов  $\sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . Значения  $r < 1,5$  не объясняются ни одним из вышеуказанных механизмов.

РД являются статическими несовершенствами. Вокруг таких дефектов решетки могут возникать поля статической деформации, которым будут соответствовать "замороженные" фононы. Связанный с ними дополнительный потенциал деформации в принципе ничем не отличается от потенциала деформации, обусловленного, например, акустическими фононами. Было проведено теоретическое рассмотрение рассеяния свободных носителей на "замороженных" фононах в рамках теории деформационного потенциала. Коэффициент поглощения рассчитывался во втором порядке теории возмущений. При этом также учитывались промежуточные состояния в верхней подзоне  $X_{3c}$  в процессах рассеяния для  $n$ -GaP ( $i$  - рассеяние). Получено, что интенсивность рассеяния  $(A_{3am}^2(\omega))^i \sim \omega^2$ , вследствие чего полный коэффициент поглощения свободными носителями приближенно описывается зависимостью  $\alpha \sim \omega^{-r}$ , где  $-1/2 \leq r \leq 7/2$ .

При увеличении концентрации "замороженных" фононов (т.е. концентрации РД) вклад этого механизма в поглощение свободными носителями возрастает. Таким образом, предложенный механизм позволяет объяснить экспериментально наблюдаемое уменьшение показателя  $r$  в частотной зависимости коэффициента поглощения в результате облучения влиянием локальных деформационных полей вблизи точечных РД.

ОР в кристаллах  $n$ -GaP эффективно уменьшают концентрацию свободных носителей ( $-\frac{\Delta n}{\Delta \Phi} = 30 \text{ см}^{-1}$ ), но являясь областями повышенного сопротивления, оказывают малое влияние на рассеяние, в том числе и в актуальной квантовой области частот  $\hbar\omega \gg k_0 T$ .

В четвертой главе исследованы особенности восстановления оптического поглощения при отжиге в кристаллах GaP, облученных различными интегральными потоками электронов с энергией 7,5 и 50 МэВ, а также влияние облучения и последующего отжига на поведение примеси в этих кристаллах. Показано, что в кристаллах  $n$ -GaP, облученных электронами с энергией 7,5 МэВ интегральными потоками до  $8 \cdot 10^{16} \text{ эл/см}^2$ , РД полностью отжигаются при температурах до  $450^\circ\text{C}$ . При облучении кристаллов  $n$ -GaP небольшими потоками электронов с энергией 50 МэВ наряду с отжигом при вышеуказанных температурах наблюдается высокотемпературная стадия отжига в интервале температур  $500+600^\circ\text{C}$ . Так как в последнем случае при облучении образуются как точечные РД, так и ОР, то стадия при  $500+600^\circ\text{C}$  обусловлена отжигом ОР. Проведено сопоставление поведения отжига для различных участков спектра. Получено, что в области края основного поглощения ( $\hbar\omega = 2,0 \text{ эВ}$ ) наблюдается монотонный отжиг в интервале температур  $100+450^\circ\text{C}$ , что не позволяло выделить отдельные стадии. В то же время на кривой отжига для области поглощения свободными носителями ( $\hbar\omega = 0,15 \text{ эВ}$ ) выделяются четкие стадии отжига при температурах  $\sim 200^\circ\text{C}$  и  $300^\circ\text{C}$ . Наблюдаемые здесь температурно независимые участки указывают на то, что наряду с электрически активными центрами, при облучении вводятся РД, не влияющие на концентрацию носителей, но принимающие участие в формировании "хвостов" плотности состояний.

При отжиге в кристаллах  $GaP$ , облученных большими интегральными потоками электронов ( $\sim 5 \cdot 10^{17}$  эл/см<sup>2</sup>) с энергией 7,5 МэВ, наблюдается стадия отжига при 500+600°C, что совпадает с отжигом ОР. По-видимому, при больших концентрациях точечных РД в кристаллах  $GaP$  образуются скопления дефектов подобно ОР.

При исследовании оптического поглощения и отжига кристаллов  $GaP$ , легированных одновременно цинком и кислородом, основное внимание обращалось на поведение полосы поглощения при  $\hbar\omega = 2,1$  эВ, принадлежащей комплексам  $Zn-O$ , ответственных за красное свечение  $GaP$ -светодиодов. Обнаружено, что в результате облучения электронами с энергией 7,5 МэВ концентрация комплексов  $Zn-O$  возрастает линейно с дозой. Увеличение концентрации  $Zn-O$  при облучении происходит вследствие перехода междоузельного кислорода на место, образующейся при облучении, вакансии фосфора. После отжига РД сохраняется значительная часть комплексов  $Zn-O$ , образованных при облучении.

Исследовалось влияние облучения электронами на поведение примеси азота в кристаллах  $GaP$ . Обнаружено уменьшение концентрации экситонов, связанных на атомах азота, в некоторых кристаллах  $GaP(N)$  при облучении электронами с энергией 50 МэВ ( $\Phi \leq 10^{16}$  эл/см<sup>2</sup>). Предположено участие неконтролируемых примесей и исходных дефектов в этом процессе.

Пятая глава посвящена изучению оптического поглощения и фотоэлектрических свойств кристаллов  $InP$ , облученных электронами с энергиями 2,5 и 50 МэВ. Для указанных энергий были проведены расчеты дифференциального сечения образования РД, которые показали, что при энергии электронов 50 МэВ в кристаллах  $InP$  возможны образования ОР.

Во всех случаях в результате облучения появляется дополнительное поглощение за краем основного поглощения, при этом интегральное поглощение возрастает линейно с дозой облучения. В области края основного поглощения, так же, как и в случае  $GaP$ , имеет место экспоненциальная зависимость коэффициента поглощения от энергии фотона, указывающая на возникновение "хвостов" плотности состояний.

В кристаллах, облученных при комнатной температуре электронами с энергией 2,5 МэВ, в течение месяца после облучения происходит изменение оптического поглощения, обусловленное отжигом нестабильных РД. Показано, что за наблюдаемую временную нестабильность оптического поглощения ответственны РД с уровнем  $E_C - 0,98$  эВ, отжигающиеся в интервале температур 30+80°C. Анализ формы данной полосы поглощения показал, что ее широкий длинноволновый край свидетельствует о необходимости учета электрон-фононного взаимодействия при оценке глубины уровня локального центра. Рассчитанное значение константы электрон-фононного взаимодействия составляет  $\sim 3,2$ .

Сравнение вышеприведенных результатов с данными электрических измерений показывает, что центры  $E_C - 0,98$  эВ дают основной вклад в компенсацию проводимости кристаллов  $n-InP$ , облученных электронами 2+3 МэВ, при комнатной температуре и обуславливает также наблюдаемые зависимости электрических свойств от температуры облучения.

После отжига нестабильных дефектов в спектральной зависимости коэффициента поглощения проявляются полосы поглощения резонансного типа при  $\hbar\omega = 0,94$  эВ и  $\hbar\omega = 1,0$  эВ, обусловленные внутрицентровыми переходами на оловянных РД. Отжиг этих де-

фектов протекает при температурах 280+360°C. При исследовании процесса восстановления оптического поглощения при изохронном отжиге получено, что как в *GaP*, так и в *InP* ОР являются более термостабильными, чем точечные РД. Установлено, что в случае больших концентраций точечных РД в кристаллах *InP* образуются более термостабильные скопления дефектов.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе:

1. Показано, что в результате введения как точечных РД так и ОР в широкозонных соединениях  $A^{\text{III}}B^{\text{V}}$  образуются "хвосты" плотности состояний у краев зон, обуславливающих особенности дополнительного оптического поглощения в облученных кристаллах, в области зонно-зонных переходов и в области примесного поглощения. Основной причиной возникновения "хвостов" плотности состояний при облучении являются вызванные радиационными дефектами локальные деформации кристаллической решетки.

2. Введение РД в кристаллическую решетку *n-GaP* гораздо сильнее изменяет механизм рассеяния свободных носителей, чем легирование химическими примесями. Предложен новый механизм рассеяния на "замороженных" фононах, позволяющий объяснить уменьшение (при облучении) показателя степени в частотной зависимости коэффициента поглощения влиянием локальных деформационных полей вблизи точечных РД.

3. Установлено, что ОР в кристаллах *n-GaP* эффективно уменьшают концентрацию свободных носителей, но являясь областями повышенного сопротивления, оказывают малое влияние на их рассеяние, в частности, в актуальной квантовой области частот  $\hbar\omega \gg k_0T$ .

4. Показано, что оптические переходы при энергиях фотонов  $\hbar\omega = 0,94$  эВ и  $\hbar\omega = 1,0$  эВ, в спектре поглощения облученных кристаллов *InP*, осуществляются между основными и возбужденными состояниями сложных радиационных дефектов.

5. Определены температурные интервалы стабильности РД в кристаллах *GaP* и *InP*. Установлено, что ОР являются более термостабильными дефектами, чем точечные РД, однако, в случае больших концентраций точечных РД в этих кристаллах образуются их сложные термостабильные скопления.

6. Обнаружено увеличение фоточувствительности кристаллов *GaP*, содержащих ОР и переход кристалла в состояние с остаточной проводимостью с пороговой энергией гашения  $\hbar\omega = 1,0$  эВ, которое и характеризует положение уровня Ферми в ОР. Полученное значение уровня Ферми в ОР  $E_f = E_c - 1,0$  эВ объясняет компенсацию проводимости *GaP* при облучении высокоэнергетичными электронами.

7. Показано, что при облучении кристаллов *GaP*, легированных одновременно цинком и кислородом, междоузельные атомы кислорода переходят на место выбитых атомов фосфора, тем самым увеличивая концентрацию Zn-O комплексов.

8. Обнаружена временная нестабильность оптического поглощения кристаллов *InP*, облученных при комнатной температуре. Показано, что за наблюдаемую нестабильность ответственны РД с уровнем  $E_c - 0,98$  эВ. Изучены характеристики полосы поглощения, связанные с указанными дефектами; показан участие фононов в оптическом переходе. Рассчитанное значение константы электрон-фононного взаимодействия составляет  $\sim 3,2$ . Термическая энергия ионизации центра составляет 0,77 эВ.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Брайлловский Е.Ю., Григорян Н.Е., Ерицян Г.Н., Марчук Н.Д., Памбухчян Н.Х., Тартачник В.П. Радиационные дефекты в  $GaP$  и твердых растворах  $GaAs_xP_{1-x}$ . - Тезисы докладов Всесоюзной конференции по радиационным эффектам в твердых телах. Ашхабад, Изд-во Туркмен. Гос. Ун-та, 1977, с.109-110.
2. Brailovskii E.Yu., Grigoryan N.E., Eritsyan G.N. Optical Properties of Electron-Irradiated Gallium Phosphide. - Phys. Stat. Solidi (a), 1980, v.62, p.649-655.
3. Брайлловский Е.Ю., Григорян Н.Е., Марчук Н.Д., Памбухчян Н.Х., Тартачник В.П. Влияние радиационных дефектов на свойства  $GaP$  и твердых растворов  $GaAs_xP_{1-x}$ . - Материалы Всесоюзной конференции по физике соединений А<sup>ШВУ</sup>. Ленинград, Изд-во ЛПИ, 1979, с.74-78.
4. Brailovsky E.Yu., Grigoryan N.E., Konozenko I.D., Tartachnik V.P. Investigation of Point Defects and Disordered Regions in GaP Crystals. - Abstracts of Int.Conf. on Rad.Eff. in Semicond. Dubrovnik, 1976, D8.
5. Brailovskii E.Yu., Grigoryan N.E., Marchuk N.D., Pambuhchyan N.H., Tartachnik V.P. Radiation Defects in GaP and Solid Solution of  $GaAs_{1-x}P_x$ . - Def. and Rad.Eff. in Semiconductors. Bristol-London, 1977, p.369-374.
6. Брайлловский Е.Ю., Григорян Н.Е., Ерицян Г.Н., Манжара В.С., Тартачник В.П. Оптическое поглощение в облученных кристаллах фосфида галлия. - В кн.: Радиационные эффекты в полупроводниковых соединениях. Киев, Препринт КИЯИ-76-22, 1976, с.22-23.
7. Брайлловский Е.Ю., Григорян Н.Е., Ерицян Г.Н. Околокраевое поглощение в кристаллах  $InP$ , облученных электронами. - ФТП, 1981, т.15, №3, с.591-593.

Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ 251

ВФ-05280

Тираж 100

Формат издания 60x84/16

Подписано к печати 10.06.82г.

Издано Отделом научно-технической информации  
Ереванского физического института, Ереван-36, пер.Маркаряна 2.