МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ УССР

КИЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ ИМ. А.М.ГОРЬКОГО

На правах рукописи

Федотовский Аркадий Васильевич

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОННОЙ СТРУКТУРЫ ДИФОСФИДА ЦИНКА

/01.04.10 - физика полупроводников и диэлектриков/
/диссертация написана на русском языке/

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук

К и е в - 1974

НБ НПУ
імені М.П. Драгоманова
100314000

Работа выполнена в Киевском государственном педагогическом институте им. А.М.Горького.

Научные руководители:

доктор физико-математических наук, доцент И.В.Потыкевич,
кандидат физико-математических наук, доцент И.И.Тычина.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник П.М.Томчук,
кандидат физико-математических наук, доцент Г.П.Пека.

Внешний отзыв - кафедры физики полупроводников Воронежского государственного университета им. Ленинского Комсомола.

Автореферат разослан "____" _____ 1974 г.

Защита диссертации состоится "___" _____ 1974 г. в _____ часов на заседании Ученого Совета физико-математического факультета Киевского государственного педагогического института им. А.М.Горького / 252030, Киев - 30, ул. Пирогова, 9, аудитория 431 /.

С диссертацией можно ознакомиться в читальном зале института.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА /И.И.ТЫЧИНА/

Развитие современной полупроводниковой техники требует наряду с исследованиями, уже ставших классическими, полупроводников Ge, Si, $A^{III}B^{V}$ и $A^{II}B^{VI}$ непрерывного поиска новых материалов, обладающих рядом специфических свойств, т.к. не существует материала, который мог бы удовлетворить всем требованиям и всем областям технических применений полупроводниковых приборов. Одним из направлений, в котором развиваются эти поиски – усложнение структуры полупроводников. В настоящее время в Советском Союзе и за рубежом уделяется достаточно большое внимание исследованию новых классов полупроводников, в том числе и типа $A^{II}B^{V}_2$.

Уже первоначальные исследования физических свойств соединений типа $A^{II}B^{V}_2$ показали перспективность исследования данного класса соединений, а исследованные свойства позволяют утверждать, что в ближайшее время эти соединения могут найти применение при создании диодов, переключающих устройств, МДП структур и других полупроводниковых приборов.

Интересной особенностью многих соединений данного класса полупроводниковых материалов является существование их в виде двух и более модификаций с различными структурами, а также способность некоторых из них существовать как в кристаллическом так и в стеклообразном состоянии. В меньшей мере изучены фосфиды этого класса полупроводников. Основная причина – отсутствие хорошо разработанной технологии их получения, что объясняется спецификой физико-химических свойств этих соединений, которые усложняют технологический процесс. Хотя к настоящему времени имеется большое количество работ, посвященных исследованию свойств дифосфидов цинка и кадмия / ZnP_2, CdP_2 /, однако многие вопросы остаются еще не выясненными. Недостаточно исследован энергетический спектр, а имеющиеся литературные данные противоречивы и требуют дополнительных исследований.

Реферируемая диссертационная работа посвящена разработке сравнительно простого и воспроизводимого метода получения, исследованию физических свойств и некоторых особенностей зонной зонной структуры одного из менее изученых полупроводников этого класса – соединению ZnP_2 . На основании проведенных физических исследований определены некоторые возможности практического применения кристаллов ZnP_2 .

Диссертация состоит из пяти глав, выводов, заключения и списка литературы.

Первая глава представляет собой литературный обзор по дифосфидам класса $A^{II}B^{V}_2$ / ZnP_2 , CdP_2 /. В ней излагаются сведения о физических свойствах этих соединений, а также о методах их получения в различных структурных модификациях и в стеклообразном состоянии. Из приведенного литературного обзора следует, что физические свойства CdP_2 , и особенно ZnP_2 , изучены еще недостаточно, а результаты физических исследований во многом противоречивы. Это касается в первую очередь электрических, фотоэлектрических и оптических свойств.

Анализ литературных данных приводит к постановке задач исследования. В качестве объекта исследования выбрано соединение ZnP_2 .

I. Разработать сравнительно простой метод получения монокристаллов ZnP_2 с воспроизводимыми свойствами.

2. Исследовать оптические свойства этого соединения с целью выяснения характера междузонных переходов и элементов зонной структуры этого соединения.

3. Показать принципиальную возможность управления физическими свойствами кристаллов ZnP_2 путем изменения концентрации примесей в них.

4. На основании проведенных исследований определить возможности практического применения соединения ZnP_2 .

Вторая глава посвящена разработке метода получения кристаллов ZnP_2 и исследованию некоторых физико-химических свойств. Впервые соединение ZnP_2 тетрагональной модификации было получено Стаскельбергом и Паулюсом в 1935 г. в открытой системе путем насыщения расплавленного ZnP_2 фосфором. Методом сублимации кристаллы были получены Хеги и др. в эвакуированных кварцевых ампулах. Метод, разработанный Хеги и др., позволял получать кристаллы моноклинной и тетрагональной модификаций в одной ампуле и часто сросшиеся. Соотношение получаемых кристаллов той или другой модификации зависит от давления паров фосфора. С увеличением давления паров фосфора процент выхода кристаллов моноклинной модификации увеличивается. Недостатком этого метода является то, что кристаллы зарождаются в широком температурном интервале и поэтому не могут быть однородными.

Выращивание кристаллов ZnP_2 нами проводилось в двухзонной печи в эвакуированных кварцевых ампулах методом сублимации. На первой технологической стадии проводился синтез соединения ZnP_2 однотемпературным методом. После синтеза исходных компонент давление фосфора в ампуле резко падало. Вторая технологическая стадия предполагает сублимацию синтезированного продукта, для чего применялся двухзонный метод. Разность температур зон после синтеза устанавливается равной 10 градусам. В процессе выращивания это значение поднималось до 20 - 30 градусов. Температура зоны испарителя, а значит и зоны кристаллизации, устанавливалась равной 800°С, что позволяло получать кристаллы только тетрагональной модификации, а повышение температуры до 850°С позволяло получать кристаллы только моноклинной модификации. Таким образом, был разработан способ получения кристаллов ZnP_2, позволяющий получать раздельно кристаллы моноклинной и тетрагональной модификаций. Разработанный нами метод защищен авторским свидетельством.

Для выяснения влияния примесей на физические свойства кристаллов ZnP_2 проводилось легирование в процессе выращивания. Легирующий элемент загружался в ампулу вместе с исходными веществами. В качестве легирующих элементов были использованы Cd, Hg, Al, In, Sb, S, Se, Te, Ni, Fe. Легирование последними двумя элементами проводилось с использованием транспортера - хлора.

Применение геттеров /титан, цирконий/ позволило значительно снизить концентрацию азота и кислорода в выращенных кристаллах.

Проведенные рентгеноструктурный и микрорентгеновский анализы показали, что состав полученных кристаллов отвечает химической формуле соединения. Как показали микроструктурные исследования и исследование физических свойств, разработанный нами метод, позволяет получать кристаллы с воспроизводимыми свойствами.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований электропроводности и эффекта Холла кристаллов моноклинной и тетрагональной модификаций ZnP_2. Описана методика исследования и обработки результатов.

Кристаллы обеих модификаций с неконтролируемым содержанием примесей имели дырочную проводимость. Во всем исследуемом интервале температур /90 - 750°К/ наблюдалась только примесная проводимость. На графике температурной зависимости электропроводности кристаллов моноклинной модификации наблюдается два наклона соответствующие глубине залегания уровней 0,2 эв и 0,52 эв. В области температур 380 - 480°К наблюдается слабая зависимость электропроводности от температуры, что, очевидно, связано с истощением примесного уровня соответствующего энергии 0,2 эв. Кристаллы этого типа имели темновое удельное сопротивление 90 - 100 ом.см. На графике температурной зависимости электропроводности кристаллов, полученных с применением геттеров, первого наклона, соответствующего энергии 0,2 эв, не наблюда-

лось. Этот факт, на наш взгляд, связан с тем, что ответственными за создание уровня с энергией 0,2 эв являются атомы азота или кислорода.

Легирование кристаллов моноклинной модификации, полученных без геттеров, мало изменяет электропроводность кристаллов. При увеличении количества индия, вводимого в кристаллы /0,2 ат. % и более/, был изменен тип проводимости на электронный. На графике температурной зависимости электропроводности этого типа кристаллов наблюдается один наклон соответствующий энергии 0,08 эв. При температурах выше 400°К зависимость электропроводности от температуры более слабая, что, очевидно, связано с истощением примесного уровня соответствующего энергии 0,08 эв.

На графиках температурных зависимостей электропроводности кристаллов тетрагональной модификации во всем исследуемом интервале температур наблюдается один наклон соответствующий уровню с энергией 0,3 эв. При значительном количестве селена, вводимого в кристалл /0,5 ат. % и выше/ были получены кристаллы п - типа с удельным сопротивлением 4 - 8 ом.см. Энергия активации уровня, найденная из температурной зависимости электропроводности, оказалась равной 0,12 эв.

Выявлено, что в области температур 90 - 250°К в кристаллах моноклинной модификации р - типа $\mu \sim T^{I}$. В кристаллах п -типа, как моноклинной, так и тетрагональной модификации зависимость подвижности носителей заряда от температуры близка к $T^{I,5}$, что, очевидно, связано с большим содержанием примесей, которые и определяют, в основном, рассеяние носителей заряда. В области температур 400 - 750°К как в легированных, так и нелегированных кристаллах, подвижность носителей заряда подчиняется зависимости близкой к $\mu \sim T^{-I,5}$ т.е. рассеяние, в основном, происходит на акустических

колебаниях решетки вследствие сильного электрон-фононного взаимодействия.

В четвертой главе приводится методика эксперимента и рассматриваются результаты исследований спектрального распределения оптического поглощения в области температур 4,2 - 300°К, электроотражения, барьерного фототока, ИК - поглощения в области 10 - 65 мкм, комбинационного рассеяния света, двухфотонного поглощения и удлинение лазерных импульсов.

Анализ спектральной зависимости коэффициента поглощения кристаллов тетрагональной модификации позволил определить минимальные энергии прямых и непрямых оптических переходов, которые при Т = 300°К равны 2,19 эв и 2,087 эв соответственно. В кристаллах, легированных селеном, наблюдается полоса поглощения с максимумом 2,05 эв при Т = 4,2°К. Оценка глубины залегания уровня в запрещенной зоне, создаваемого селеном, хорошо согласуется с данными полученными из исследований температурной зависимости электропроводности.

Изучена зависимость оптического поглощения от температуры и определены температурные коэффициенты изменения энергий прямых и непрямых переходов.

Исследование двухфотонного поглощения света в кристаллах тетрагональной модификации позволило сделать вывод о разрешенно-запрещенных переходах, т.к. экспериментальная зависимость $\beta = K(2\omega)/I$ от ширины запрещенной зоны на частоте рубинового лазера хорошо апроксимируется прямой $\lg\beta \sim \lg(2\hbar\omega - \Delta_{cv})$ с наклоном 3/2. Величина коэффициента двухфотонного поглощения на частоте неодимового лазера ($\hbar\omega$ = 1,17 эв) при Т = 80°К указывает на то, что энергия прямых переходов не превышает значения 2,34 эв, а тот факт, что его величина не изменяется с изменением поляризации света говорит о том, что прямые переходы не поляризованы.

Помещение плоско-паралельной пластинки ZnP_2 в резонатор рубинового и неодимового лазеров с пассивным модулятором добротности приводит к увеличению длительности импульсов генерации. Импульс рубинового лазера удлиняется от 20 до 290 нсек с сохранением формы импульса. Для неодимового лазера наблюдается удлинение импульса от 25 до 150 нсек, но с некоторым изменением формы импульса. Эксперименты показали, что длительность импульса практически не зависит от энергии накачки, изменения толщины плоско-паралельной пластинки в пределах 0,5 - 1,5 мм, расположенных вблизи глухого зеркала или же между пассивным модулятором и активным элементом.

В спектрах поглощения кристаллов моноклинной модификации при $T = 4{,}2^{0}K$ вблизи края фундаментального поглощения обнаружена линейчатая структура, которую можно собрать в группы линий, обозначенные нами, типа A, A′ и B, B′ – спектров при поляризациях $\vec{E} \parallel \vec{C}$ и $\vec{E} \perp \vec{C}$. В спектрах типа A и A′ имеется около 20 узких линий поглощения сходящиеся в коротковолновую область спектра к граничным линиям 1,5471 эв /A-спектр/ и 1,4972 эв /A′-спектр/. Энергетический сдвиг между группами линий и между отдельными линиями остается постоянным и равен 0,0497 эв. Существует корреляция между интенсивностями соответствующих линий. Это позволяет предположить, что обе группы линий имеют одну и ту же природу. Вероятно, они обусловлены экситонно-примесными комплексами локализованными на изоэлектронных парных центрах. Применение геттеров при выращивании кристаллов позволило выяснить природу центра, которым оказался азот. Интенсивность линий A-спектра в кристаллах этого типа резко падала вследствие значительного уменьшения содержания азота в кристаллах. Энергетическое расстояние 0,0497 эв между соответствующими линиями A и A′ – спектров при $\vec{E} \parallel \vec{C}$, по всей видимости, равно величине кристаллического расщепления. По краю поглощения оценена ширина запрещенной зоны, которая при T =

300°К равна I,5 эв, а при Т = 80°К равна I,6 эв.

Исследования спектров электроотражения /30/ и спектрального распределения барьерного фототока кристаллов моноклинной модификации подтверждают значение ширины запрещенной зоны E_g = I,5 эв при Т = 300°К, найденное по исследованию края фундаментального поглощения, а также позволили провести оценку порога фотоэмиссии, величину электронного сродства и величину спин-орбитального расщепления. Исследованиями 30 было подтверждено наличие р - типа проводимости в нелегированных кристаллах.

Анализ спектров ИК - поглощения в области 20 - 25 мкм и спектров комбинационного рассеяния света позволил отнести полосы поглощения в этой области к колебаниям Р - Р и Zn - Р связей. Сильное поглощение в области 35 - 50 мкм указывает на поглощение кристаллической решеткой.

Большое число атомов в элементарной ячейке и малое число наблюдаемых полос в спектре комбинационного рассеяния света можно связать со спецификой кристаллической решетки тетрагонального ZnP_2. Поскольку в элементарной ячейке находятся атомы четырех цепей, то вполне обоснованно допустить, что при слабом взаимодействии между последними, они могут рассматриваться как независимые образования /аналогично кристаллам с цепочечной структурой/. Несмотря на некоторую упрощенность такого молекулярного подхода к рассматриваемому соединению, он в какой-то мере отражает специфику его кристаллической структуры и химической связи, отличающих эти соединения от соединений типа $A^{III}B^{V}$ и $A^{II}B^{VI}$.

<u>В пятой главе</u> рассматривается излучательная рекомбинация кристаллов тетрагональной модификации при возбуждении электронным пучком с энергией 50 - 70 кэв в интервале температур II - 300°К.

При комнатной температуре спектр излучения состоит из двух по-

лос с максимумами 2,05 эв и 2,I5 эв. Коротковолновая полоса регистрируется во всех кристаллах при высоком уровне возбуждения при регистрации возбуждения под углом 45^{0} к облучаемой поверхности и отсутствует при регистрации излучения под углом 90^{0} к облучаемой поверхности, что свидетельствует о сильном поглощении указанного излучения. С понижением температуры до $T = 220^{0}K$ полоса с максимумом 2,I5 эв не регистрируется и спектр состоит только из длинноволновой полосы. Этот факт связан с тем, что полоса с максимумом 2,I5 эв обусловлена прямыми переходами с участием свободных экситонов. Понижение температуры приводит к тому, что эта полоса не регистрируется в спектре излучения вследствие резкого уменьшения вероятности пребывания электрона в минимуме зоны проводимости при $\vec{K} = 0$ по сравнению с вероятностью пребывания в непрямом минимуме поскольку первый лежит выше второго примерно на 0,I эв. С понижением температуры положение длинноволновой полосы прослеживается во всем интервале $300 - 77^{0}K$, а также при более низких температурах. В спектре излучения при $T = 77^{0}K$ имеют место две дополнительные полосы с максимумами I,92 эв и 2,08 эв. Их появление начинает прослеживаться с $T = I50^{0}K$.

Исследование красной полосы с максимумом I,92 эв позволило сделать предположение, что излучательным является внутренний переход в центре через промежуточное состояние в ассоциате донор-акцептор, где одна из компонент - легирующая примесь, вторая - собственные дефекты решетки ZnP_2. В пользу этого предположения о природе длинноволнового излучения говорит: независимость положения спектрального максимума от температуры, бесструктурность полосы, ассимметричность полосы, большая глубина залегания уровня, сравнительно большое время жизни / τ = 6,5 мксек/.

Тонкая структура спектров излучения при $T = II^{0}K$ связывается с

рекомбинацией непрямых экситонов с участием различных фононов, а также переходами экситон - примесный комплекс. В кристаллах легированных Sb , Hg , появляется дополнительная группа линий, которая обусловлена излучательной рекомбинацией экситонно-примесного комплекса. В качестве такого комплекса может выступать экситон связанный на заряженном доноре или акцепторе, либо на изоэлектронном парном центре.

Данные, полученные из исследований спектров излучения, хорошо коррелируют с исследованиями края оптического поглощения.

Основные результаты работы можно сформулировать в виде следующих выводов:

I. Разработана технология получения монокристаллов ZnP_2 , позволяющая получать раздельно кристаллы моноклинной и тетрагональной модификации. Впервые проведено легирование кристаллов ZnP_2 в процессе выращивания. Легированием кристаллов был изменен тип проводимости.

2. Физико-химическими исследованиями подтверждено, что полученные кристаллы были однородны и по химическому составу соответствовали химической формуле соединения в пределах точности проводимого эксперимента. Физические исследования подтвердили однородность полученных кристаллов как нелегированных, так и легированных различными элементами.

3. Гальваномагнитные исследования проведенные в широком интервале температур /80 - 750^{0}К/, позволили определить энергии активации донорных и акцепторных примесей и установить преобладающие механизмы рассеяния носителей заряда. В области температур 90 - 250^{0}К преобладает рассеяние на ионизированных примесях, а в области температур 400 - 750^{0}К рассеяние носителей происходит, в, основном, на акустических колебаниях решетки.

4. Впервые проведено исследование оптического поглощения вблизи края фундаментального поглощения кристаллов моноклинной модификации

Определена ширина запрещенной зоны при T = 300°K и 80°K равная I,5 эв и I,6 эв соответственно. Обнаружена тонкая структура в спектре поглощения моноклинного ZnP_2 . Наличие сходимости последовательностей узких линий А - Спектра к коротковолновой границе дает возможность сделать вывод о том, что она обусловлена экситонно-примесным комплексом локализованном на изоэлектронном парном центре.

5. Наличие в спектрах поглощения и электроотражения кристаллов, полученных обычной методикой, дополнительной полосы и исчезновение ее в спектрах кристаллов, из которых в значительной степени был удален азот с помощью геттеров /титан, цирконий/ показало, что изоэлектронной примесью был азот, т.к. линейчатая структура А - спектра и дополнительная полоса в спектре Э0 исчезала.

6. Исследование спектров электроотражения и барьерного фототока показало, что ширина запрещенной зоны кристаллов моноклинной модификации при T = 300°K равна I,5 эв, что согласуется с результатами исследований длинноволнового края поглощения. Исходя из слабополевого эффекта Франца-Келдыша, уточнено значение E_g = I,502 эв и определена величина спин-орбитального расщепления, которая равна 0,064 эв. Это значение хорошо согласуется со спин-орбитальным расщеплением атомов цинка и фосфора.

7. Исследование спектров ИК - поглощения и комбинационного рассеяния света показало, что частоты лежащие в области 400 - 500 $см^{-I}$ относятся к колебаниям P - P и Zn - P связям. Спектральному интервалу 700 - I000 $см^{-I}$ могут отвечать колебаниям P - O связей, т.к. наличие кислорода в кристаллах возможно вследствие остаточной атмосферы в ампулах.

8. Исследования края поглощения и спектров излучательной ре-

комбинации кристаллов ZnP_2 тетрагональной модификации свидетельствуют о непрямых междузонных переходах с энергией 2,225 ± 0,005 эв при T = 80°K, что подтверждает данные авторов (I) и в значительной степени расходится с данными (2). Энергии прямых переходов равны 2,I9 эв и 2,30 эв при T = 300°K и 80°K соответственно, что совпадает с теоретическими расчетами (3). Исследованиями двухфотонного поглощения показано, что энергии прямых переходов при T = 80°K близки к значению 2,30 эв.

9. Исследованы спектры рекомбинационного излучения кристаллов тетрагональной модификации в области температур II - 300°K при разных уровнях возбуждения электронным пучком. Излучательная рекомбинация в области, близкой к краю поглощения, связана с рекомбинацией непрямых экситонов с испусканием фононов. При комнатной температуре в спектре излучения при высоких уровнях возбуждения принимают участие прямые переходы с участием свободных экситонов.

I0. Излучательная рекомбинация полосы с максимумом I,92 эв обусловлена внутренним переходом в центре через промежуточное состояние в ассоциате донор-акцептор, где одна из компонент легирующая примесь, вторая - собственные дефекты решетки ZnP_2 . Исследование кристаллов, полученных обычной методикой, пересублимацией готового ZnP_2 и отожженных кристаллов показало, что ответственными за излучение в полосе с максимумом I,92 эв являются дефекты, образованные вакансиями фосфора.

II. Изменение степени откачки ампул при выращивании кристаллов приводит к изменению интенсивности полосы излучения с макси-

---

I. M.Rubenstein, P.J.Dean, Appl. Phys. , 4I, 4, I970.

2. V.V.Sobolev, N.N.Syrbu, Phys. Stat. Sol. , 43(B), K87, I97I.

3. V.V.Sobolev, N.N.Syrbu, T.N.Suschkevich, Phys. Stat. Sol. , 43(B), 73, I97I.

мумом 2,08 эв и почти полностью отсутствует в спектрах кристаллов, полученных в присутствии геттеров. На основании этого можно сделать вывод, что центрами излучения в этой области являются атомы азота или кислорода.

I2. Изменение знака проводимости открывает возможности практического применения кристаллов ZnP_2 в качестве р-п переходов и светодиодов в видимой области спектра /для кристаллов тетрагональной модификации/. Удлинение лазерного импульса в кристаллах тетрагональной модификации от 20 до 290 нсек рубинового и от 25 до I50 нсек – неодимового представляет практический интерес при работе с квантовыми генераторами, а также в оптоэлектронике.

Материалы диссертации докладывались на III Всесоюзном совещании по фосфидам и фосфатам /Рига, I97I/, на IX научно-технической конференции Кишиневского политехнического института им. С.Лазо /Кишинев, I973/, на республиканском семинаре по нелинейной оптике /Харьков, I973/, на научных семинарах кафедры физики полупроводников Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова /Москва, I97I, I972/, на отчетно-научных конференциях кафедр КГПИ им. А.М.Горького /Киев, I97I – I973/, на научных семинарах отраслевой лаборатории полупроводников и диэлектриков КГПИ им. А.М.Горького /Киев, I97I – I973/, а также опубликованы в работах:

I. Получение и свойства монокристаллов ZnP_2 моноклинной и тетрагональной модификаций, Материалы III Всесоюзного совещания по фосфидам и фосфатам, Рига, I97I / совместно И.В.Потыкевич, И.И.Тычина/.

2. *Radiative Recombination Diphosphide Zinc, Phys. Stat. Sol.*, 49, K103, I972 /совм. В.С.Вавилов, В.Д.Негрий, И.В.Потыкевич, С.В.Полынкевич, М.В.Чукичев/.

3. Линейчатые спектры поглощения кристаллов ZnP_2 , Письма ЖЭТФ, I7, №4, I972, /совм. И.С.Горбань, В.В.Луговский, И.И.Тычина/.

4. Электрические свойства дифосфида цинка, в сб. "Физика твердого тела", Киев, КГПИ, I972, /совм. И.В.Потыкевич, И.И.Тычина/.

5. Электрические свойства легированных кристаллов ZnP_2 моноклинной и тетрагональной модификаций, в сб. "Физика твердого тела", Киев, КГПИ, I973 /совм. А.П.Маковецкая, И.В.Потыкевич, И.И.Тычина/.

6. Комбинационное рассеяние света в кристаллах ZnP_2 и CdP_2 , ФТТ, I5, №7, I973 /совм. М.Я.Валах, И.И.Тычина/.

7. Инфракрасное поглощение кристаллов ZnP_2 , Материалы докладов IX научно-технической конференции Кишиневского политехнического института им. С.Лазо, Кишинев, "Штиинца", I973 /совм. А.П.Маковецкая, И.И.Тычина/.

8. О природе линейчатого спектра поглощения дифосфида цинка, ФТП, 8, №2, I974 /совм. И.С.Горбань, В.В.Луговский, А.П.Маковецкая, И.И.Тычина/.

9. Двухфотонное поглощение света в кристаллах ZnP_2 и удлинение лазерных импульсов, в кн. "Квантовая электроника", "Наукова думка", №8, I974 /совм. М.П.Лисица, П.Е.Мозоль, И.И.Тычина, И.В.Чекешгазл/.

По диссертационной работе защищено авторское свидетельство "Способ получения дифосфида цинка моноклинной и тетрагональной модификаций", Решение Комитета по делам изобретений и открытий при Совете Министров СССР от 27 апреля I973 г. по заявке №I635710/23-26 за №ВО I7/28 /совм. И.В.Потыкевич, И.И.Тычина/.

БФ I7703 27.II.74 г. тир.200 объем I печ.лист ф-т 60 x 84I/I6
Зак. 4-2431.

Киевская типография научной книги Репина, 4.