

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
Институт полупроводников

На правах рукописи

РЫБАК АЛЕКСАНДР МИХАИЛОВИЧ

УДК 621.315.592

НЕРАВНОВЕСНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ В УСЛОВИЯХ
ЭКСКЛЮЗИИ СВОБОДНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА.

Специальность 01.04.10 - Физика полупроводников
и диэлектриков.

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук.



КИЕВ - 1992.

Работа выполнена в Институте полупроводников АН Украины (г. Киев).

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
профессор Малютенко В.К.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук
Остапенко С.С.

кандидат физико-математических наук
доцент Медвидь А.П.

Ведущая организация - Институт физики
АН Украины (г. Киев).

Защита состоится 20 ноября 1992 г. в 14 часов 15 минут на заседании специализированного совета К 016.25.01. при Институте полупроводников АН Украины по адресу: 252650, Киев-28, Проспект Науки 45.

с диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института полупроводников.

Автореферат разослан 17 октября 1992 года.

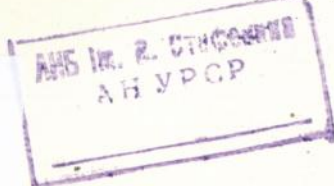
Ученый секретарь
специализированного совета

Беляев А.Е.

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00816230 (К)



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Широкое применение полупроводников в оптоэлектронике и ИК-технике выдвигает на первый план задачу исследования их излучательных свойств. Одним из объектов исследования является неравновесное излучение, обусловленное изменением концентрации свободных носителей в объеме полупроводника под внешним воздействием. Традиционно такие исследования проводились в условиях, обеспечивающих накачку полупроводника избыточными носителями заряда: фотовозбуждения и барьерной инжекции. Они послужили основой для создания целого ряда неохлаждаемых полупроводниковых лазеров и светодиодов, применимых в диапазоне 0-4 мкм.

Чрезвычайно плодотворными оказались выполненные в последнее время исследования неравновесного излучения полупроводников в условиях МКЭ. Они позволили впервые наблюдать в полупроводниках отрицательную люминесценцию - явление представляющее значительный научный и практический интерес и требующее дальнейшего детального изучения. Одной из основных задач в этом направлении является поиск новых способов возбуждения ОЛ в полупроводниках и исследования ее свойств в этих условиях. С этой целью необходимо выполнить широкомасштабные исследования других концентрационных эффектов, позволяющих наряду с МКЭ реализовать истощение полупроводника электронно-дырочной плазмой, таких как анизотропия проводимости, наведенная одноосным сжатием, контактная эксклюзия, в том числе и в полупроводниках с анизотропной проводимостью и др.

Значительный интерес представляют также исследования неравновесного излучения полупроводников за краем собственного поглощения в условиях истощения его объема свободными носителями заряда. Модуляция мощности этого излучения, возникающая при изменении концентрации свободных носителей несет информацию о пространственном распределении неравновесной электронно-дырочной плазмы и, поэтому, является инструментом бесконтактного исследования концентрационных эффектов в полупроводниках. Измерения неравновесного излучения полупроводников за краем собственного поглощения могут также быть использованы при разработке новых методик определения важнейших параметров

полупроводниковых материалов, например времени жизни свободных носителей.

Возникновение отрицательной люминесценции в полупроводниках в условиях магнитоконцентрационного эффекта (МКЭ) уже дало возможность реализовать в полупроводниковых ИК светодиодах новый физический принцип - безбарьерной магнитной инжекции, позволило расширить спектральный диапазон их применимости на актуальные интервалы оптической прозрачности атмосферы 3+5,8+14 мкм. и привело к созданию принципиально нового неохлаждаемого ИК источника отрицательного контраста. Полупроводниковые ИК излучатели, основанные на явлении отрицательной люминесценции, по своей сущности уникальны - физические принципы, заложенные в их основу обеспечивают их эталонными характеристиками и позволяют им успешно вытеснять существующие приборы, используемые при калибровке фотоприемников и тепловизионной техники. Разработка новых ИК излучателей такого типа и их широкое внедрение также требует поиска новых способов возбуждения отрицательной люминесценции в полупроводниках и исследования ее свойств в этих условиях.

Цель работы.

Диссертационная работа преследует следующие цели:

- исследование неравновесного теплового излучения электронно-дырочной плазмы полупроводника пространственная неоднородность которой обусловлена эффектами контактной эксклюзии и анизотропией проводимости.
- расширение класса концентрационных эффектов, возбуждающих в полупроводниках отрицательную люминесценцию, исследование свойств отрицательной люминесценции в новых условиях возбуждения;
- разработка методик определения параметров полупроводниковых материалов по измерениям их неравновесного излучения и полупроводниковых ИК излучателей отрицательного контраста, основанных на явлении отрицательной люминесценции.

Научная новизна.

1. Впервые показана возможность возбуждения отрицательной люминесценции в полупроводниках в условиях контактной эксклюзии;
2. Впервые исследовано спектральное распределение

интенсивности отрицательной люминесценции G_e в условиях контактной эксклюзии и показана возможность управления максимумом и формой спектрального распределения интенсивности отрицательной люминесценции непрямозонных полупроводников;

3. Впервые показаны возможности возбуждения отрицательной люминесценции G_e , а также его неравновесного теплового излучения отрицательного контраста в спектральной области поглощения на свободных носителях, основанные на возникновении анизотропии проводимости при направленной упругой деформации монокристалла G_e ;

4. Впервые показано, что приложение магнитного поля H позволяет управлять интенсивностью отрицательной люминесценции, возбужденной в G_e эффектом контактной эксклюзии, а также, при определенном направлении вектора H получить в условиях эксклюзии положительную люминесценцию;

5. Впервые изучена температурная зависимость кинетики теплового излучения отрицательного контраста, вызванного в G_e эффектом контактной эксклюзии.

Практическая ценность.

- Исследования отрицательной люминесценции, впервые обнаруженной в условиях анизотропии проводимости, наведенной одноосным сжатием полупроводника, использованы при разработке источника ИК излучения отрицательного контраста;

- На основе исследований неравновесного теплового излучения полупроводников за краем собственного поглощения в условиях контактной эксклюзии и наведенной одноосным сжатием анизотропии проводимости предложены и реализованы новые методы определения параметров полупроводниковых материалов при высоких ($T > T_{ком}$) температурах: концентрации некомпенсированной примеси и времени жизни.

Защищаемые положения.

1. Сигнал интенсивности отрицательной люминесценции полупроводника в условиях контактной эксклюзии сильно зависит от величины скорости поверхностной рекомбинации на поверхности кристалла, может наблюдаться в любом направлении, поперечном току, а пространственное распределение его амплитуды неоднородно и зависит от расстояния до антизапорного контакта;

2. Изменение скорости поверхностной рекомбинации на излучающей и противоположной гранях кристалла приводит к изменению формы спектрального распределения интенсивности отрицательной люминесценции непрямозонных полупроводников в условиях контактной эксклюзии и к сдвигу максимума этого распределения по длинам волн;

3. Амплитуда сигнала отрицательной люминесценции полупроводника и его неравновесного теплового излучения отрицательного контраста в области поглощения на свободных носителях, возникающих при одноосном сжатии, зависят от кристаллографической ориентации излучающей плоскости кристалла, соотношения скоростей поверхностной генерации на излучающей и противоположной гранях, а также от направления и величины вектора напряженности электрического поля;

4. Показано, что в условиях контактной эксклюзии вынос неравновесной электронно-дырочной плазмы в поперечном электрическому полю направлении, обусловленный наведенной анизотропией проводимости, позволяет управлять интенсивностью отрицательной люминесценции, а при определенной величине и знаке параметра анизотропии вызывает появление немонотонной полевой зависимости сигнала отрицательной люминесценции, ее гашение и возникновение положительной люминесценции;

5. Установлено, что пространственное распределение неравновесной электронно-дырочной плазмы полупроводника, возникающее при эксклюзии в условиях наведенной анизотропии проводимости, сохраняет сильно неоднородный характер, свойственный эксклюзии в изотропном материале;

6. Установлено, что температурная зависимость кинетики неравновесного теплового излучения отрицательного контраста, возникающего в G_0 в условиях контактной эксклюзии в спектральной области поглощения на свободных носителях, обусловлена изменением времени жизни носителей и хорошо описывается теорией Шокли-Рида;

Апробация работы.

Основные результаты представленной работы докладывались на международной школе-конференции по физике полупроводников "NOTRNAS-91" в Алуште в 1991 г., третьей Республиканской школе-конференции молодых ученых "Актуальные проблемы физики полупроводников" в Алуште в 1989 г., четвертой Всесоюзной

конференции по электронным датчикам "Сенсор -91" в Ленинграде в 1991 г., Европейском конгрессе молодых физиков "Physique en Herbe-92" в Марселе в 1992 г., и др.

Публикации.

Материалы диссертации изложены в 12 печатных работах, из них 3-авторские свидетельства.

Объем и структура диссертации.

Диссертация состоит из введения, обзора литературы, методической главы, четырех оригинальных глав (3-6), заключения и списка цитируемой литературы. Общий объем диссертации - 140 страниц, из них - 108 страниц текста, 32 - рисунков; библиография включает 115 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель работы, показана научная новизна и практическая ценность полученных результатов, приведено краткое изложение содержания диссертации по главам.

В первой главе приводится обзор научной литературы, посвященной исследованиям неравновесного излучения, вызванного уменьшением концентрации свободных носителей в полупроводнике. Основное внимание уделено ОЛ полупроводников. Рассмотрены условия возникновения ОЛ в невырожденных полупроводниках с биполярной проводимостью, изложены результаты работ, касающихся исследований свойств ОЛ в условиях МКЭ. Обсуждаются качественные отличия ОЛ от положительной люминесценции, позволяющие использовать явление ОЛ для разработки быстродействующих ($\approx 10^{-6}$ с) моделей абсолютно черного тела и эталонных источников ИК излучения, радиационного охлаждения а также определения характеристик полупроводниковых материалов. Рассмотрены другие концентрационные эффекты, реализующие в полупроводниках дефицит свободных носителей - эффект контактной эксклюзии и электрический пинч-эффект (ЭПЭ), возникающий при одноосном сжатии полупроводникового пьезокристалла. Обращено внимание на то, что возможность

возникновения ОЛ в условиях этих эффектов не изучалась, и к началу работы единственным способом возбуждения ОЛ в полупроводниках являлся МКЭ.

Изложены также результаты работ, посвященных неравновесному тепловому излучению (НТИ) полупроводников в спектральной области поглощения свободными носителями заряда. Указано на необходимость различия температур полупроводника и фона для экспериментального наблюдения НТИ. Рассмотрены методики определения параметров полупроводников по измерению мощности их НТИ в условиях МКЭ и инжекции. Обнаружено, что неравновесное излучение полупроводников в условиях контактной эксклюзии и одноосного сжатия практически не исследовано. Сам эффект эксклюзии также не исследован в полупроводниках с анизотропной проводимостью. В конце главы сформулированы основные задачи диссертационной работы.

Во второй главе изложены критерии выбора материала для комплексных исследований неравновесного излучения полупроводников в условиях различных концентрационных эффектов. Обосновано использование монокристаллического p-Ge с концентрацией нескомпенсированной примеси $N_A - N_D = 10^{14} + 10^{12} \text{ см}^{-3}$, обладающего собственной проводимостью при комнатной ($T=300\text{K}$) температуре. Описана технология изготовления образцов с омическими и антизапорными контактами и способы обработки поверхности Ge, дающие различные значения скорости поверхностной рекомбинации. Здесь же описаны методики и блок-схемы установок для электрических (ВАХ) и оптических исследований полупроводниковых кристаллов под внешними воздействиями,

В третьей главе представлены результаты исследования ОЛ в условиях контактной эксклюзии в полупроводниках с изотропной проводимостью. Вначале изложены необходимые условия возбуждения и экспериментального наблюдения $Q_{L,p-Ge}$ в условиях эксклюзии. Измерены полевые зависимости мощности ОЛ $P(E)$ и ВАХ образца Ge, толщина которого сравнима с диффузионной длиной L_D . Как и ВАХ, $P(E)$ является сублинейной функцией, быстро изменяющейся в области малых значений E и проявляющей тенденцию к насыщению в условиях полной эксклюзии при $E \geq L/\mu\tau_{эфф}$ (L — расстояние между контактами) на уровне P_0 , соответствующем мощности равновесного рекомбинационного

излучения. На основании этого сделана оценка мощности наблюдаемого сигнала ОЛ, составившей величину $P_0 \approx 10^{-6}$ Вт/см². Обращено внимание на отсутствие полного насыщения $P(E)$ в области больших E , что отличает ОЛ в условиях эксклюзии от таковой при МКЭ. Для объяснения этого отличия измерены зависимости $P(E)$ при различных значениях скорости поверхностной рекомбинации S на поверхности образца и проведен их качественный анализ. Установлено, что зависимость $P(E)$ в условиях полной эксклюзии определяется изменением в электрическом поле градиента концентрации неравновесных носителей, возникающего при $S \neq 0$ в направлении перпендикулярном E .

Затем исследованы пространственные распределения мощности- $P(x)$ ОЛ Ge (x -расстояние до антизапорного контакта) при различных значениях E . Экспериментально установлено, что мощность ОЛ максимальна при измерениях у антизапорного контакта и в слабых полях наблюдается только из приконтактной области. Выполнено сравнение экспериментальных кривых $P(x)$ с расчетными, полученными на основе решения уравнения непрерывности в двух предельных случаях "сильной" и "слабой" эксклюзии. По виду ВАХ установлены диапазоны значений E , в которых эти решения корректны в рассматриваемом случае. В результате установлено, что функция $P(x)$ не соответствует известным к началу данной работы теоретическим распределениям концентрации неравновесных носителей в условиях контактной эксклюзии. Указано на необходимость учета этой особенности ОЛ при практическом применении эффекта эксклюзии для создания источников ИК излучения.

Далее исследуется влияние поперечного градиента концентрации неравновесных носителей, возникающего в условиях эксклюзии при $S \neq 0$ на спектральные распределения мощности ОЛ Ge. Получены расчетные и экспериментальные зависимости $P(\lambda)$ пластин Ge с различными значениями S_{\pm} на излучающей (S_+) и противоположной (S_-) широких гранях. Обсуждено различное влияние самопоглощения на мощность излучения прямых и непрямых переходов в Ge. Установлено, что форма спектра и положение его максимума для образца толщиной d_0 существенно зависит как от значения S_+ так и от S_- . В непрямозонных полупроводниках изменение S_{\pm} позволяет управлять положением максимума спектра ОЛ в пределах длин волн, соответствующих разности ширины запрещенной зоны для прямых и

непрямых переходов.

В четвертой главе исследован эффект контактной эксклюзии и неравновесное рекомбинационное излучение в условиях анизотропии проводимости, наведенной одноосным сжатием полупроводника в определенном кристаллографическом направлении. В качестве материала для исследований использован Ge p-типа с собственной проводимостью. Основное внимание уделено возможности возбуждения ОЛ в условиях анизотропии проводимости, вызванной одноосным сжатием Ge (электрический пинч-эффект) и исследованию ее свойств. Представлены известные аналитические выражения для распределения концентрации неравновесных носителей в условиях ЭПЭ, а также выражение для параметра анизотропии одноосно сжатого Ge. Получены расчетные зависимости $P(E)$ при разных значениях давления χ на торцах пластины Ge, излучающая грань которой ориентирована под углом 29° к плоскости $\{111\}$. Экспериментально доказана возможность возникновения ОЛ в этих условиях и измерены реальные зависимости мощности ОЛ в этих условиях. Обнаружено насыщение полевой зависимости ОЛ при $\chi = 2 \cdot 10^9 \text{ кг/см}^2$, указано на возможность использования полученных результатов при разработке эталонных источников ИК-излучения.

Затем исследованы ВАХ $p^+ - p - p^+$ структуры Ge в условиях анизотропной проводимости, наведенной магнитным полем и одноосным сжатием. Измерены ВАХ "толстого" ($\approx 5 \text{ мм}$) и "тонкого" ($\approx 1 \text{ мм}$) образцов. Обнаружено, что в "тонких" образцах анизотропия проводимости позволяет управлять глубиной истощения образца свободными носителями, возникающего в условиях эксклюзии, в пределах от концентрации нескомпенсированной примеси до равновесного значения.

Далее рассмотрены полевые $P(E)$ и координатные $P(x)$ зависимости мощности ОЛ при эксклюзии в полупроводниках с анизотропией проводимости, наведенной магнитным полем (МКЭ). Экспериментально установлено, что в зависимости от величины и знака параметра анизотропии мощность ОЛ, возбужденной эффектом эксклюзии может как возрастать так и уменьшаться, причем в последнем случае $P(E)$ является немонотонной функцией и в области больших значений E сменяется положительной люминесценцией. Измерения координатной зависимости мощности ОЛ в этих условиях показали, что $P(x)$ сохраняет вид сильно неоднородного

распределения, характерного при эксклюзии в изотропном материале. Рассмотрена также параметрическая зависимость $P(\kappa)$ от значения S .

В пятой главе представлены результаты исследований неравновесного теплового излучения полупроводников, возникающего за краем собственного поглощения при управлении концентрацией свободных носителей с помощью электрического пинч-эффекта и эффекта контактной эксклюзии в изотермических условиях. Основное внимание уделено излучению отрицательного контраста, возникающему при уменьшении концентрации свободных носителей в объеме полупроводника.

Вначале кратко охарактеризованы особенности неравновесного теплового излучения полупроводников за краем собственного поглощения, приведены известные формулы, отражающие зависимость мощности НТИ от концентрации свободных носителей и температуры полупроводника, а также необходимость различия температур полупроводника и фона для экспериментального наблюдения НТИ.

Далее исследованы полевые зависимости НТИ оптически тонких образцов Ge в условиях ЭПЭ. Получено НТИ положительного и отрицательного контраста. Обнаружено насыщение полевой зависимости мощности НТИ отрицательного контраста с ростом электрического поля. Обсуждена зависимость мощности НТИ от параметра анизотропии. Указано на возможность определения концентрации некомпенсированной примеси полупроводника по измерению мощности НТИ в условиях одноосного сжатия. Проведено сравнение полученных результатов с результатами исследований НТИ в условиях МКЭ. Исследованы также особенности НТИ в условиях эксклюзии. Измерена температурная зависимость мощности НТИ ΔP в условиях полного истощения. Получена параболическая зависимость $\Delta P(T)$, что соответствует закону Стефана-Больцмана и подтверждает тепловой характер наблюдаемого излучения. Обнаружено, что при увеличении температуры образца Ge от 350 до 400 К мощность НТИ возрастает более чем в три раза. По измерениям кинетик импульсов НТИ получена температурная зависимость времени жизни свободных носителей $\tau(T)$. При исследованиях p-Ge с собственной проводимостью ($N_A - N_D \approx 10^{14} \text{ см}^{-3}$) обнаружена экспоненциальная зависимость $\tau(T)$, убывающего от $\approx 400 \text{ мкс}$. при $T=320 \text{ К}$ до $\approx 100 \text{ мкс}$. при $T=370 \text{ К}$. По виду функции $\tau(T)$ определена глубина залегания примеси и ее

концентрация. Измерены также полевые и координатные зависимости мощности НТИ при эксклюзии в полупроводниках с наведенной анизотропной проводимостью. Обсуждено их отличие от полевой и координатной зависимостей ОЛ в тех же условиях. На основании сравнения поведения НТИ и ОЛ смоделировано пространственное распределение концентрации неравновесной электронно-дырочной плазмы при эксклюзии в полупроводнике с наведенной анизотропией проводимости.

В шестой главе рассмотрены возможности практического применения результатов исследований: описан принцип действия и макет устройства полупроводникового ИК-излучателя, действующего в условиях одноосного сжатия полупроводника. Разработана конструкция излучателя с активным элементом из Ge, представлена полевая зависимость мощности его излучения, даны оценки стабильности излучаемой мощности при изменениях напряженности приложенного поля и температуры, составившие 0.5%/В и 2% -град K^{-1} соответственно.

Описаны способы определения концентрации примеси в полупроводнике по измерениям его неравновесного теплового излучения при эксклюзии а также в условиях анизотропной проводимости, наведенной магнитным полем либо одноосным сжатием.

Подчеркивается, что преимущества рассматриваемых способов заключаются в возможности определения концентрации примеси без глубокого охлаждения контрольных образцов при $T > 300$ и в изотермических условиях.

ВЫВОДЫ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Впервые исследовано неравновесное рекомбинационное излучение полупроводника в условиях контактной эксклюзии. Экспериментально доказана возможность возникновения ОЛ в этих условиях. Установлено, что мощность ОЛ \propto параметрически зависит от значений s_{\pm} , а ее полевая зависимость $P(E)$ имеет вид функции, линейной при малых значениях E и стремящейся к насыщению в области полного истощения $E > 1/\mu\tau_{эфф}$. Отсутствие полного насыщения $P(E)$ в области больших значений E обусловлено конечным значением $s_{\pm} \neq 0$ и спецификой процесса истощения полупроводника свободными носителями в условиях контактной эксклюзии.

- Обнаружена и исследована зависимость мощности ОЛ, возбужденной в \propto эффектом контактной эксклюзии от координаты в направлении приложенного поля. Установлено, что мощность ОЛ сильно зависит от расстояния x до антизапорного контакта и в слабых полях наблюдается только из приконтактной области. Функция $P(x)$ нелинейна и не соответствует известным к началу данной работы теоретическим распределениям концентрации неравновесных носителей в условиях контактной эксклюзии.

- Впервые исследованы спектры ОЛ полупроводника в условиях контактной эксклюзии и их параметрическая зависимость от значений E и s_{\pm} . Установлена зависимость спектрального распределения мощности ОЛ от s_{+} , а в тонких образцах ($\approx L_D$) и от s_{-} . Показано, что в непрямозонных полупроводниках изменение s_{\pm} позволяет управлять положением максимума спектрального распределения мощности ОЛ в пределах длин волн, соответствующих разности ширины запрещенной зоны для прямых и непрямых рекомбинационных переходов.

- Исследовано неравновесное рекомбинационное излучение полупроводников с анизотропной проводимостью, наведенной одноосным сжатием. Обоснована и экспериментально доказана возможность возникновения ОЛ полупроводника в этих условиях, изучена зависимость мощности ОЛ от параметра анизотропии и ее полевая зависимость $P(E)$. Установлено, что мощность ОЛ зависит от кристаллографической ориентации излучающей грани полупроводника и при сильно различающихся значениях $s_{+} \ll s_{-}$ достигает насыщения на уровне P_0 , соответствующем мощности равновесного рекомбинационного излучения в области межзонных переходов.

- Впервые исследован эффект контактной эксклюзии в полупроводниках с наведенной анизотропной проводимостью. Установлено, что анизотропия проводимости, создаваемая одноосным сжатием или внешним магнитным полем, позволяет в условиях стационарной эксклюзии изменять полное число носителей в объеме образца от равновесного значения до уровня некомпенсированной примеси, причем их локальная концентрация может превышать равновесную. ВАХ при изменении параметра анизотропии изменяется от омической характеристики до линейной, соответствующей примесной проводимости. Люминесценция, возникающая в этих условиях может быть как положительной так и отрицательной. Мощность ОЛ зависит от величины и знака параметра анизотропии и с ростом E либо насыщается на уровне P_0 , либо убывает, причем в последнем случае она является немонотонной функцией E и в области больших значений E может сменяться положительной люминесценцией. Исследовано координатное распределение мощности ОЛ полупроводника с анизотропной проводимостью в условиях эксклюзии. Установлено, что оно является сильно неоднородным в направлении приложенного электрического поля и изменяется с изменением параметра анизотропии.

- Впервые исследовано неравновесное тепловое излучение, возникающее в спектральной области за краем собственного поглощения при протекании тока в одноосно сжатом полупроводнике. Установлена зависимость мощности НТИ от значения параметра анизотропии. Обнаружено НТИ отрицательного контраста в условиях истощения образца свободными носителями, полевая зависимость которого с ростом E насыщается на уровне, соответствующем мощности излучения примесных носителей.

- Исследовано НТИ полупроводников в условиях контактной эксклюзии. Экспериментально установлено, что мощность НТИ зависит от эффективного времени жизни носителей $\tau_{эфф}$. Предложена методика определения $\tau_{эфф}$, концентрации примеси, а по виду функции $\tau(t)$ - глубину ее залегания.

- Установлено, что полевая зависимость мощности НТИ при эксклюзии в полупроводниках с наведенной анизотропией проводимости является функцией параметра анизотропии и либо насыщается на уровне P_0 , либо убывает с ростом E . В последнем случае мощность НТИ может превышать P_0 . Распределение мощности НТИ в направлении приложенного электрического поля также зависит от параметра

анизотропии, сохраняя тем не менее вид характерный для эксклюзии в изотропном материале.

- На основе исследований ОЛ полупроводников в условиях одноосного сжатия разработан эталонный источник ИК излучения с активным элементом из Ge, обладающий калиброванной мощностью излучения в спектральном диапазоне $\lambda \leq 2 \text{ мкм}$.

Содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Малютенко В.К., Коллюх А.Г., Рыбак А.М. Отрицательная люминесценция полупроводников при эксклюзии носителей тока. //ЖПС.-1987.-т.47, Вып.2-С.299-301.
2. Малютенко В.К., Рыбак А.М., Коллюх А.Г. Модуляция теплового излучения полупроводников в условиях эксклюзии. //ЖПС.-1989.-т.50, Вып.5-С.800-803.
3. Малютенко В.К., Гуга К.Ю., Рыбак А.М. Люминесценция $i\text{-Ge}$ в условиях одноосного сжатия. //ФТП.-1990.-т.24, Вып.8-С.1467-1471.
4. Малютенко В.К., Коллюх А.Г., Рыбак А.М. Спектры отрицательной люминесценции полупроводников в условиях эксклюзии носителей заряда. //ЖПС.-1990.-т.53, Вып.2-С.256-259.
5. Акопян А.А., Малютенко В.К., Гуга К.Ю., Витусевич С.А., Рыбак А.М. Контактная эксклюзия в полупроводниках с анизотропной биполярной проводимостью. //ФТП.-1992.-т.26, Вып.2-С.389-393.
6. Малютенко В.К., Гуга К.Ю., Рыбак А.М. Неравновесное излучение при эксклюзии в полупроводниках с наведенной анизотропией проводимости. //ФТП.-1992.-т.26, Вып.12-С.2141-2145.
7. Rybak A.M. Negative luminescence in semiconductors with induced nonisotropic conductivity under conditions of contact exclusion. // Proc.European Conference "Physique en Herbe-92".-Marseille 1992.
8. Рыбак А.М. Спектральное распределение интенсивности отрицательной люминесценции полупроводников в условиях контактной эксклюзии. //Тезисы докладов 3-й Республиканской Школы-Конференции "Актуальные проблемы физики полупроводников".-Киев 1989.-С.17.
9. Малютенко В.К., Гуга К.Ю., Илющенко И.Ю., Рыбак А.М. Оптоэлектронный тензочувствительный элемент. //Тезисы 4-й Всесоюзной Конференции "Сенсор-91".-Ленинград 1991.-С.50-51.

10. Малютенко В.К., Омеляновский Э.М., Коллюх А.Г., Рыбак А.М., Подкопаев О.И. Способ определения концентрации примеси в полупроводниках.//Авторское свидетельство СССР №1410779.-1988.
11. Малютенко В.К., Ботте В.А., Рыбак А.М. Способ определения концентрации примеси в полупроводниках.//Авторское свидетельство СССР №1563520.-1990.
12. Малютенко В.К., Гуга К.Ю., Рыбак А.М. Способ возбуждения ИК излучения.//Авторское свидетельство СССР №1762712.-1992.

Зақ.№1626. Тир.1000...МП*Тираж*

10. Малютенко В.А., Сидяковская В.А., Желник А.Г., Рыбан А.М.,
Павловский В.И. Способ определения концентрации примесей в
полупроводниках. // Авторское свидетельство СССР №1549779.-1990.
11. Малютенко В.А., Бутык В.А., Рыбан А.М. Способ определения
концентрации примесей в полупроводниках. // Авторское свидетельство
СССР №1564520.-1990.
12. Малютенко В.А., Гурт В.В., Рыбан А.М. Способ измерения ИК
излучения. // Авторское свидетельство СССР №1762714.-1992.

467565

AB 25.797

