

АННОТАЦИИ ДЕПОНИРОВАННЫХ СТАТЕЙ¹

P-4891/88

ФТП, том 23, вып. 3, 1989

**О СМЕНЕ МЕХАНИЗМОВ
РЕКОМБИНАЦИИ НЕРАВНОВЕСНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА
В СИЛЬНО ВОЗБУЖДЕННЫХ ПРЯМОЗОННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ**

Лукашевич П. Г., Павловский В. Н., Самойлюкович В. А.

При концентрациях неравновесных электронно-дырочных (ЭД) пар $n < n_{\text{хол}}$ в спектрах рекомбинационного излучения (РИ) полупроводников должны проявляться одночастичные свойства неравновесных электронов, дырок, экситонов, биэкситонов. Если $n > n_{\text{хол}}$ и затухание плазмонов несущественно, то в зависимости от соотношения $n_{\text{хол}}$ и n_{ex}^M (n_{ex}^M удовлетворяет условию перехода Мотта) в спектрах краевого излучения прямозонных полупроводников следует ожидать последовательного разгорания новых полос РИ экситонов и ЭД пар в плазме или ЭД пар в плазме с рождением плазмонов.

Рассмотрено влияние взаимодействия плазменной и фоновых мод на спектры РИ. Учено, что до определенной концентрации ЭД пар n_{\pm} плазменная ветвь спектра будет представлена L^- -модой, при $n > n_{\pm}$ — L^+ -модой. Показано, что последовательность проявления различных каналов рекомбинации ЭД пар для конкретных полупроводников с увеличением интенсивности возбуждения определяется соотношением значений $n_{\text{хол}}$, n_{ex}^M и n_{\pm} .

В рамках предлагаемой последовательности смены механизмов рекомбинации для теллурида цинка проведены расчеты спектров, а также положений максимумов, «красных» и «фиолетовых» границ новых полос в зависимости от концентрации ЭД пар при $T=4.2$ К. Получено хорошее совпадение расчетных и известных экспериментальных данных.

Получена 11.09.1986

P-4819/88

ФТП, том 23, вып. 3, 1989

**ОСОБЕННОСТИ УСИЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИГНАЛОВ
В КВАНТОВЫХ СВЕРХРЕШЕТКАХ
С ВЫСОКИМ УРОВНЕМ МЕЖМИНИЗОННОГО ТУННЕЛЬНОГО ТОКА**

Орлов Л. К., Романов Ю. А.

В двухподзонном приближении методом матрицы плотности исследуются спектральные особенности высокочастотных характеристик квантовых сверхрешеток в присутствии сильного постоянного электрического поля. Проведен сравнительный анализ спектров от структур с низкой и высокой вероятностью межподзонного туннелирования. Показано, что дисперсионные кривые в постоянном электрическом поле трансформируются в серию резонансных пиков, поведение которых определяется как величиной поля, так и туннельной прозрачностью барьеров.

¹ Копии депонированных статей можно заказать в институте «Электроника» по адресу: 117415, Москва, В-415, пр. Вернадского, д. 39, отдел фондов.

ров системы. Указано на дополнительное расщепление резонансных линий вследствие снятия вырождения при резонансном туннелировании электронов. Для разных уровней туннельного тока в системе найдены области усиления высокочастотного сигнала. Показано, что электромагнитное излучение может усиливаться при выборе рабочей точки на участках ВАХ СР с положительной дифференциальной проводимостью. Проанализирована возможность использования эффекта резонансного туннелирования для расширения области усиливаемых сигналов в сторону высоких частот. Изучено поведение низкочастотных и высокочастотных характеристик СР в зависимости от параметров энергетического спектра структур. Рассмотрен случай квантовых СР с пересекающимися в k -пространстве двумерными подзонами.

Горьковский исследовательский
физико-технический институт
ГГУ им. Н. И. Лобачевского

Получена 4.11.1986

P-4464/87

ФТП, том 23, вып. 3, 1989

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФФУЗИОННОГО ПРОЦЕССА В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНКАХ СУЛЬФИДА КАДМИЯ

Залюбинская Л. Н., Кронберг А. В., Пастернак В. А.

В работе предложена модель зернограничной диффузии в поликристаллических полупроводниковых пленках, учитывающая зарядовое состояние диффундирующей примеси и наличие потенциальных барьеров на границах кристаллитов.

Численный расчет диффузионных параметров проведен для диффузии меди в пленки сульфида кадмия. Получена активационная зависимость коэффициента зернограничной диффузии меди в пленках CdS [$D_{гз} = 3.45 \cdot 10^{-4} \exp(-0.32 \text{ эВ}/kT)$], согласующаяся с экспериментом.

Машинное моделирование диффузионного процесса позволило установить границы применимости активационных зависимостей растворимости меди в CdS, полученных различными авторами, влияние размеров кристаллитов на скорость диффузионного потока, а также определить профили концентрации примеси и высоты межкристаллитных барьеров по толщине пленки.

Одесский государственный университет
им. И. И. Мечникова

Получена 20.11.1986

P-4764/88

ФТП, том 23, вып. 3, 1989

ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА СВОБОДНЫМИ НОСИТЕЛЯМИ В УЗКОЗОННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ В ОБЛАСТИ СОБСТВЕННОЙ ПРОВОДИМОСТИ

Баранский П. И., Городничий О. П., Шевченко Н. В., Боднарук О. А.

На монокристаллах $\text{Cd}_{0.28}\text{Hg}_{0.74}\text{Te}$ и $\text{Mn}_{0.12}\text{Hg}_{0.88}\text{Te}$ с низким содержанием примесей измерялось пропускание $T(\lambda)$ и отражение $R(\lambda)$ света в интервале длин волн $2.5 \leq \lambda \leq 4 \mu\text{м}$ при температуре 300 К. Из экспериментальных $T(\lambda)$ и $R(\lambda)$ определялась спектральная зависимость коэффициента поглощения света свободными носителями (ПССН) $\alpha(\lambda)$, обусловленного внутрizonными переходами (ВЗ) электронов и дырок, а также межzонными переходами тяжелых дырок из зоны V_1 в зону легких дырок V_2 : $\alpha(\lambda) = \alpha_{\text{ВЗ}}(\lambda) + \alpha_{\text{МЗ}}(\lambda)$.

Из квантово-механической теории следует, что ВЗ ПССН непосредственно связано с механизмами рассеяния носителей заряда. Проведенный в рамках этой теории расчет $\alpha_{\text{ВЗ}}(\lambda)$

показал, что наиболее существенным в данных кристаллах при комнатных температурах является рассеяние на полярных оптических фононах. Однако в случае менее совершенного $Mn_xHg_{1-x}Te$ с $x=0.12$ необходим также учет рассеяния на короткодействующих потенциалах дефектов.

Институт полупроводников
АН УССР
Киев

Получена 1.04.1987

P-4564/88

ФТП, том 23, вып. 3, 1989

АНИЗОТРОПНЫЕ ПЛАНАРНЫЕ АКУСТОМАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ НА МЕЗОУЛЬТРАЗВУКЕ В ПРОИЗВОЛЬНЫХ (КЛАССИЧЕСКИХ) МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Липник А. А.

Рассчитаны планарные АМЭ эффекты в полупроводниках с анизотропным рассеянием в произвольно сильных магнитных полях. Если направить q (волновой вектор УЗВ) под углом θ к оси C_6 (кристаллы CdS, CdSe, ZnS, ZnO и др.), ось Y выбрать перпендикулярно q и C_6 , а магнитную индукцию B — в плоскости (q, Y) под углом φ к вектору q , то в разомкнутом образце возникает Y -составляющая АМЭ поля (E_y), содержащая как четную (E_y^+), так и нечетную (E_y^-) по B части. Получены аналитические выражения для E_y^+ и E_y^- в области «промежуточных» частот (мезоультразвука), а также их асимптотика при $\mu B \gg 1$.

В этой области E_y^+ не зависит от B , а $E_y^- \propto B^{-1}$. Показано, что E_y^+ и E_y^- могут быть сравнимы и даже существенно превосходить величину «стандартного» АМЭ эффекта Гуляева—Эшштейна (на мезоультразвуке). Для E_y^- это возможно при значительной анизотропии подвижности (например, в кристаллах ZnS и т. п. в области, где превалирует анизотропное пьезоэлектрическое рассеяние, а также в n -Ge, сильно деформированном вдоль [111], в области смешанного рассеяния). Заметим, что E_y^- существует даже при $B \parallel q$.

Киевский торгово-экономический
институт
Черновицкое отделение

Получена 8.04.1987

P-4684/88

ФТП, том 23, вып. 3, 1989

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ НЕОСНОВНЫХ НОСИТЕЛЕЙ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Городецкий С. М., Литовский М. А.

Существующие способы определения времени жизни неосновных неравновесных носителей заряда разработаны для случая, когда время жизни не зависит от уровня инжекции. В работе предлагается способ определения времени жизни неосновных носителей в полупроводниковых диодах при различных уровнях инжекции, отличающийся от существующих способов тем, что обработке подвергается экспериментальный график зависимости длительности переходных процессов целиком, а не в отдельных точках, снятых при различных уровнях инжекции. В основу предлагаемого способа положено решение общепринятой математической модели полупроводникового диода без каких-либо упрощений в широком диапазоне уровней инжекции.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Получена 11.11.1987

ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В ВЫСОКООМНОМ КРЕМНИИ

Лугаков П. Ф., Лукашевич Т. А.

Изучено изменение концентрации и времени жизни носителей заряда в высокоомном зонном n - и p -кремнии с равновесной концентрацией электронов $n_0 = (2 \div 30) \cdot 10^{12}$ и дырок $p_0 = (5 \div 30) \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$ при облучении ($T \leq 330 \text{ K}$) гамма-квантами ^{60}Co . Установлено, что при облучении кремния n -типа из-за накопления E -центров происходит уменьшение концентрации электронов и имеет место резкое (до 50 раз) увеличение начальной скорости (δn) их удаления и коэффициента K_c радиационного повреждения их времени жизни с ростом n_0 в интервале от $2 \cdot 10^{12}$ до $1 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$. В отличие от этого при облучении p -кремния концентрация дырок возрастает из-за раскомпенсации материала при образовании E -центров, причем скорость (δp) введения дырок оказывается практически постоянной в исследуемых материалах и примерно в 2 раза меньше, чем δn в n -кремнии с $n_0 = 1 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$. Полученные результаты интерпретируются с учетом зависимости скорости введения E -центров от положения уровня Ферми (E_F), которым определяются зарядовые состояния первичных радиационных дефектов (вакансий V и междоузельных атомов кремния I) и вероятность их аннигиляции. Корректное объяснение зависимостей δn , δp от n_0 , p_0 может быть дано, если предположить, что при изменении E_F в интервале от $E_c - 0.35$ до $E_v + 0.39$ эВ происходит перезарядка обеих компонент пары Френкеля. Это позволяет оценить энергетическое положение уровней, разделяющих состояния I^0/I^{++} и V^-/V^0 , которые в таком случае должны находиться у $E_c - (0.43 - 0.45)$ и $E_c - (0.47 - 0.54)$ эВ соответственно.

Научно-исследовательский институт
прикладных физических проблем
им. А. Н. Севченко БГУ им. В. И. Ленина
Минск

Получена 11.12.1987

ИЗМЕНЕНИЕ СПЕКТРА ГЛУБОКИХ УРОВНЕЙ В КРЕМНИЕВЫХ p - n -ПЕРЕХОДАХ ПОД ВЛИЯНИЕМ СОБСТВЕННЫХ ТОЧЕЧНЫХ ДЕФЕКТОВ

Выжигин Ю. В., Елисеев В. В., Костылев В. А.,
Ликунова В. М., Максимова С. А., Соболев Н. А.

С помощью емкостной спектроскопии в $p^+ - n - n^+$ -структурах обнаружены глубокие уровни (ГУ) в верхней половине запрещенной зоны с энергиями ионизации $E_1 = 0.185$, $E_2 = 0.192$, $E_3 = 0.266$, $E_4 = 0.277$, $E_5 = 0.535$ эВ и сечениями захвата электронов $\sigma_1 = 4.0 \cdot 10^{-14}$, $\sigma_2 = 1.1 \cdot 10^{-15}$, $\sigma_3 = 4.0 \cdot 10^{-16}$, $\sigma_4 = 1.9 \cdot 10^{-17}$, $\sigma_5 = 1.6 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$. С использованием технологических методов, позволяющих снизить концентрацию неконтролируемых примесных атомов и уменьшить степень пересыщения кремния собственными точечными дефектами (СТД) изготовлены три группы структур с концентрациями ГУ: (А) $M_1 = (0.34 \div 3.7) \cdot 10^{10}$, $M_4 = (5.8 \div 49) \cdot 10^{10}$, $M_5 = (3.6 \div 36) \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$; (В) $M_3 = (10 \div 22) \cdot 10^{10}$, $M_4 = (0.9 \div 2.3) \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$; (С) $M_2 = (0.9 \div 8.6) \cdot 10^9$, $M_4 = (3.1 \div 10) \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$. Анализ экспериментальных зависимостей скоростей эмиссии электронов с ГУ от температуры с учетом современных представлений о влиянии технологических условий на изменение степени пересыщения кремния СТД позволил предположить, что обнаруженные ГУ $E_1 \div E_3$ принадлежат дефектам вакансионного типа, а E_4 и E_5 — дефектам междоузельного типа.

Показано, что концентрация ГУ в p - n -переходах может быть снижена на 2—3 порядка и не будет превышать $3.1 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$. При этом удалось предотвратить введение обычно образующегося уровня E_5 . Снижение концентраций ГУ позволило получить диодные структуры

площадью $12 \div 24 \text{ см}^2$ с напряжением лавинного пробоя $3.2 \div 5.7 \text{ кВ}$ и временем жизни дырок в n -базе $100 \div 400 \text{ нс}$. Сделан вывод о том, что генерируемые при формировании $p-n$ -структур СТД играют существенную роль в процессе образования дефектов с ГУ.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Получена 21.04.1988

P-4818/88

ФТП, том 23, вып. 3, 1989

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В p -КРЕМНИИ С ПРИМЕСЬЮ ЛИТИЯ

Барина Э. Ю., Берман Л. С., Грехов И. В., Григорьева Г. М.,
Каган М. Б., Кушавица К. Ш.

Методом DLTS исследованы радиационные дефекты (РД) в p -кремнии с примесью лития, облученном γ -квантами ^{60}Co , электронами с энергией 1 МэВ и протонами с энергией 20.6 МэВ . В p -базе диодов из бестигельного кремния, облученных γ -квантами, наблюдается РД с уровнем $E_c - 0.23 \text{ эВ}$ (комплекс дивакансии с примесью — $V_2\text{Li}$). Наличие лития с концентрацией порядка 10^{15} см^{-3} уменьшает скорость введения этого РД в 3 раза. В p -базе диодов из кремния, по Чохральскому, с концентрацией лития порядка 10^{15} см^{-3} , облученных электронами и протонами, наблюдались РД с уровнями $E_c - 0.23 \text{ эВ}$ ($V_2\text{Li}$) и $E_v + 0.35 \text{ эВ}$ (K -центр). В образцах с литием и без лития коэффициенты повреждения приблизительно одинаковы.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Получена 21.09.1988