

НЕРАВНОВЕСНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПРИ ЭКСКЛЮЗИИ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ С НАВЕДЕННОЙ АНИЗОТРОПИЕЙ ПРОВОДИМОСТИ

К. Ю. Гуга, В. К. Малютенко, А. М. Рыбак

Институт полупроводников Академии наук Украины, 252650, Киев, Украина
(Получено 31.03.1992. Принято к печати 26.06.1992)

Необходимым условием возникновения отрицательной люминесценции (ОЛ) в полупроводниках является неравновесное уменьшение исходной концентрации электронно-дырочной (ЭД) плазмы в условиях внешних воздействий. Таким воздействием может быть анизотропия проводимости, наведенная скрещенными электрическим и магнитным полями (магнитоконцентрационный эффект) или одноосным сжатием (тензоконцентрационный эффект), вызывающая возникновение потоков носителей заряда, перпендикулярных приложенному электрическому полю [1, 2]. При этом выбор граничных условий на боковых поверхностях кристалла позволяет реализовать поперечно-неоднородное истощение объема полупроводника ЭД плазмой и приводит к появлению отрицательной люминесценции. ОЛ возникает также в условиях контактной эксклюзии [3], создающей в полупроводниках с антизапорным контактом и изотропной проводимостью истощение, неоднородное в направлении приложенного электрического поля. Распределение неравновесной ЭД плазмы при эксклюзии в полупроводниках с анизотропной проводимостью к настоящему времени не изучено и представляет интерес. Так как истощение, возникающее в этих условиях, развивается одновременно в продольном и поперечном (по отношению к электрическому полю) направлениях, такое воздействие может оказаться более эффективным средством возбуждения ОЛ. Обоснованность такого предположения подтверждается результатами исследования особенностей эксклюзии в Ge с наведенной магнитным полем анизотропией проводимости [4], где из анализа вольт-амперных характеристик (ВАХ) следует возможность существенного управления интегральной концентрацией носителей заряда посредством изменения магнитного поля H , указаны условия более глубокого по сравнению с эксклюзией при $H = 0$ истощения объема кристалла.

В настоящей работе приведены первые результаты экспериментальных исследований ОЛ, возбужденной эффектом контактной эксклюзии в полупроводнике с наведенной анизотропией проводимости. Эксперимент выполнен при $T = 340$ К на образцах p -Ge с собственной проводимостью ($N_A - N_D = 10^{12}$ см⁻³). Образцы изготавливались в виде пластин $5 \times 3 \times 1$ мм, противоположные широкие грани которых характеризовались сильно различающимися значениями скорости поверхностной рекомбинации $S_+ \ll S_-$ (см. вставку на рис. 1). На торцах пластин путем сплавления In формировались антизапорные (p^+) контакты. Для создания анизотропии проводимости (поперечный дрейф) образцы помещались в скрещенные импульсное электрическое E (длительность 500 мкс) и постоянное магнитное H поля, вызывающие перенос ЭД плазмы в направлении граней S_{\pm} (магнитоконцентрационный эффект), наличие же p^+ -контакта обеспечивало эксклюзию носителей заряда в приложенном электрическом поле (продольный дрейф). Неравновесное излучение, возникающее в области межзонных переходов ($\lambda < 2$ мкм), с частотой следования электрических импульсов фиксировалось фотоприемником PbS со стороны грани S_+ . Для устранения влияния противоположного p^+ -контакта приконтактная область была экранирована зачерненной металлической пластиной. Сигнал излучения обрабатывался по схеме синхронного детектирования и записывался на графопостроителе. ВАХ $p^+ - p$ -структур, как

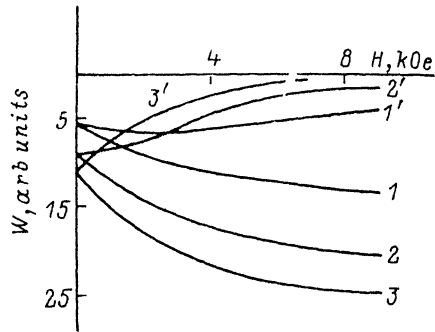
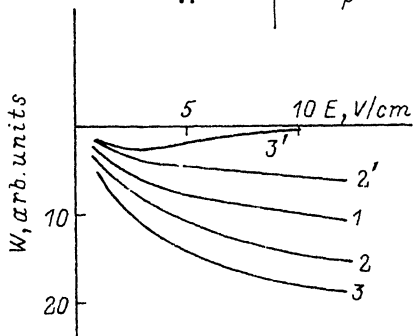
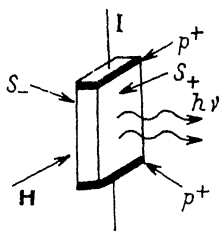


Рис. 1. Зависимость интенсивности ОЛ W от напряженности электрического поля. H , кЭ: 1 — 0; 2, 2' — 2; 3, 3' — 8. На вставке — схема эксперимента.

Рис. 2. Зависимость интенсивности ОЛ W от величины магнитного поля. E , В/см: 1, 1' — 2; 2, 2' — 6; 3, 3' — 12.

и в [4], были существенно асимметричны. При выносе носителей заряда к грани S_+ степень сублинейности ВАХ уменьшалась и в пределе больших H ВАХ становилась омической. При выносе к грани S_- сублинейность ВАХ увеличивалась, и зависимость $I \sim U^{1/2}$, характерная для эксклюзии, сменялась более сильной вплоть до насыщения тока.

На рис. 1 приведены зависимости интенсивности ОЛ от напряженности электрического поля в отсутствие (кривая 1) и при наличии магнитного поля различной величины и направлений (кривые 2, 2', 3, 3'). Кривая 1 демонстрирует характерную полевую зависимость мощности ОЛ в условиях эксклюзии: сигнал ОЛ возникает при напряженности поля около 1 В/см, а при $E > 4$ В/см проявляет тенденцию к насыщению, обусловленному максимальным в этих условиях истощением приповерхностного слоя образца. Оно, однако, не является полным. Включение магнитного поля приводит к дальнейшему уменьшению концентрации в этой области вследствие выноса ЭД плазмы к грани S_- . Полевая зависимость мощности ОЛ при этом становится более крутой (кривые 2, 3). Сравнение кривых 1 и 3 показывает, что анизотропия проводимости, создаваемая магнитным полем, позволяет существенно увеличить мощность ОЛ при фиксированных значениях E . С другой стороны, одна и та же мощность ОЛ при наличии магнитного поля достигается в значительно меньших E . В противоположно направленном магнитном поле (поперечный вынос носителей к излучающей грани) мощность ОЛ (кривые 2', 3') оказывается меньшей, чем при $H = 0$, и, что особенно интересно, уменьшается с ростом E (кривая 3'). Такую немонотонную зависимость мощности ОЛ от E можно объяснить, по нашему мнению, конкуренцией двух потоков неравновесных пар. Так, в слабом H продольный вынос только уменьшает концентрацию носителей во всем объеме кристалла, в том числе и вблизи излучающей грани. При больших H поперечный их вынос к излучающей грани, обеспечивая глубокое истощение объема, тем не менее препятствует истощению грани S_+ . В результате даже в условиях сильного продольного выноса вдоль грани S_+ анизотропия, наведенная H , может привести к некоторому поверхностному обогащению по сравнению с объемом, что приводит к уменьшению сигнала ОЛ (кривая 3'). Можно надеяться, что в пределе больших

H поперечный дрейф пар к грани S_+ (магнитоконцентрационный эффект) полностью компенсирует влияние их продольного выноса (контактная эксклюзия), и сигнал ОЛ исчезнет.

На рис. 2 приведены зависимости интенсивности ОЛ от H при фиксированных значениях E различной полярности. Здесь в отсутствие магнитного поля исходная мощность ОЛ определяется дефицитом концентрации неравновесной ЭД плазмы в условиях эксклюзии при фиксированных значениях E . Изменение баланса процессов продольного и поперечного переноса ЭД плазмы при выносе ее на грань S_+ (магнитоконцентрационный эффект) наблюдается и в этом случае. Это приводит к уменьшению мощности ОЛ с увеличением H (кривые 1'—3'). При выносе носителей заряда к грани S_- (кривые 1—3) мощность ОЛ увеличивается с ростом H , поскольку в данном случае оба процесса способствуют истощению ЭД плазмой объема образца. Насыщение кривых 3 на рис. 1, 2 свидетельствует о том, что мощность ОЛ в этом случае приближается к мощности равновесного рекомбинационного излучения полупроводника в области межзонных переходов [5]. Это позволило оценить реальные значения максимальной мощности ОЛ, достигаемые в эксперименте. Расчет в соответствии с [5] дает для наблюдаемых в нашем эксперименте потоков ОЛ величины порядка $2 \cdot 10^{-6}$ Вт/см².

Таким образом, анизотропия проводимости, возникающая в скрещенных электрическом и магнитном полях, позволяет управлять мощностью отрицательной люминесценции, вызванной контактной эксклюзией. Управление в зависимости от величины и знака E и H приводит к увеличению или уменьшению мощности ОЛ, а в отдельных случаях — к ее немонотонному изменению. Немонотонный характер полевых зависимостей мощности ОЛ является следствием сложного профиля распределения концентрации неравновесной ЭД плазмы, исследования которого будут продолжены в дальнейшем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] С. С. Болгов, В. К. Малютенко, В. И. Пипа. Письма ЖТФ, 5, 1444 (1979).
- [2] В. К. Малютенко, К. Ю. Гуга, А. М. Рыбак. ФТП, 24, 1467 (1990).
- [3] В. К. Малютенко, А. М. Рыбак, А. Г. Коллюх. ЖПС, 47, 299 (1987).
- [4] А. А. Акопян, С. А. Витусевич, К. Ю. Гуга, В. К. Малютенко, А. М. Рыбак. ФТП, 26, 389 (1992).
- [5] С. С. Болгов, В. К. Малютенко, В. И. Пипа. ФТП, 17, 208 (1983).

Редактор Л. В. Шаронова

ФТП, том 26, вып. 12, 1992

ДИФФУЗИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ПРИМЕСЕЙ В ВАРИЗОННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Л. С. Монастырский, Б. С. Соколовский

Львовский государственный университет им. Ив. Франко, 290054, Львов, Украина
(Получено 10.04.1992. Принято к печати 26.06.1992)

Важная роль, которую занимают диффузионные процессы в технологии изготовления приборов микроэлектроники, обуславливает значительный интерес к разработке адекватных физических моделей диффузии примесей в полупроводниках. При описании диффузии ионизированных примесей в гомозонных