

Кривые, представленные на рис. 2, свидетельствуют о том, что вольтамперные характеристики существенно различаются для случаев конечной и бесконечно большой скоростей рекомбинации на гетерогранице. Оба эти случая реализуются для различных реальных гетеропереходов. Уменьшение туннельно-рекомбинационного тока за счет конечной скорости рекомбинации на гетерогранице ведет к снижению потерь и, следовательно, к улучшению электрофизических параметров приборов.

Рассмотренный туннельно-рекомбинационный механизм токопереноса позволяет рассчитывать вольтамперные характеристики неидеальных гетеропереходов с большой концентрацией локализованных состояний в ОПЗ, используя микропараметры гетероперехода (σ_r , N_r , $N(E)$ и т. д.) и не прибегая к введению феноменологических констант.

Отметим, что в некоторых случаях с резким затуханием функции $N(E)$ задача упрощается и имеет аналитическое решение. Однако в реальных условиях реализуются и более сложные ситуации, когда плотность локализованных состояний зависит не только от энергии, но и от расстояния до гетерограницы. При некоторых параметрах ГП локальная неомичность в области сильных полей может оказаться существенной. Последовательный учет этих особенностей в рамках предлагаемого в настоящей работе метода расчета ВАХ позволяет решить задачу о токопереносе в неидеальной гетероструктуре.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Василевский Д. Л. // Фотоэлектроника. Киев, 1988. В. 2. С. 3—15.
- [2] Стриха В. И., Ильченко В. В. // ДАН УССР. Сер. А. Физ.-мат. и физ. науки. 1986. № 10. С. 50—53.
- [3] Мотт Н., Дэвис Э. Электронные процессы в некристаллических веществах. М., 1982. 386 с.
- [4] Шкловский Б. И., Эфрос А. Л. Электронные свойства легированных полупроводников. М., 1979. 192 с.
- [5] Верлань А. Ф., Сизиков В. С. Интегральные уравнения. Методы, алгоритмы, программы. Киев, 1986. 548 с.
- [6] Шкловский Б. И. // ФТП. 1976. Т. 10. В. 8. С. 1440—1448.

Одесский государственный университет
чл. И. И. Мечникова

Получено 1.02.1989
Принято к печати 29.06.1989

ФТП том 23, вып. 11, 1989

ОБРАЗОВАНИЕ УПОРЯДОЧЕННЫХ СТРУКТУР НА ПОВЕРХНОСТИ GaAs ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЛАЗЕРНОМ ОБЛУЧЕНИИ

Кашкаров П. К., Петров В. И., Птицын Д. В., Тимошенко В. Ю.

1. Известно, что импульсное лазерное облучение (ИЛО) может существенно изменять свойства полупроводников [1]. При этом происходят процессы рождения и уничтожения как точечных, так и протяженных дефектов. В данной работе сообщается об исследовании методами растровой электронной микроскопии (РЭМ) поверхности GaAs, подвергнутого ИЛО.

2. Исследовались образцы p -GaAs : Si ($p \sim 10^{19} \text{ см}^{-3}$) с ориентацией поверхности (100) и p -GaAs : Zn ($p \sim 10^{19} \text{ см}^{-3}$) с ориентацией поверхности (111). ИЛО выполнялось моноимпульсами рубинового лазера ($h\nu = 1.8 \text{ эВ}$, $\tau \sim 20 \text{ пс}$). Для гомогенизации излучения использовался кварцевый диффузор. Падающий на образец световой поток диафрагмировался стальной маской, что позволяло получать резкую границу между облученной и необлученной областями. Облучение проводилось на воздухе при комнатной температуре. Начало плавления поверхности образцов в процессе ИЛО контролировалось по появлению фазы

повышенного отражения [2]. В согласии с литературными данными [3] пороговая плотность энергии составила $W = W_n = 0.20 \pm 0.02$ Дж/см².

Для анализа лазерно-индуцированных изменений приповерхностных свойств исследуемых образцов использовалась установка на основе растрового электронного микроскопа JSM-50a, позволяющая получать изображения поверхности образцов в режимах вторичной электронной эмиссии (ВЭЭ) и катодolumинесценции (КЛ) [4].

3. Было установлено, что ИЛО вызывает изменения топографии поверхности образцов и интенсивности КЛ. Первые изменения в картине КЛ наблюдались при энергии лазерного облучения $W \cong W_n$. Они были идентичными для образцов с ориентациями (100) и (111) и выражались в равномерном потемнении облученной области. При этом существенных различий в картине ВЭЭ для облученной и необлученной областей зарегистрировано не было. Подобный характер воздействия ИЛО на поверхность образцов указывает на достаточно высокую пространственную однородность лазерного пучка. Кроме того, отсутствие изме-

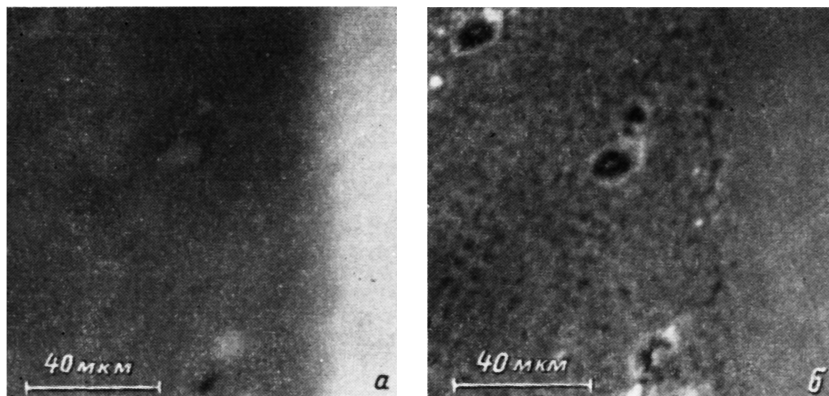


Рис. 1. Изображение границы необлученной и облученной с $W = 0.5$ Дж/см² поверхности образца p -GaAs : Si (100).

Режимы: а — КЛ, б — ВЭЭ.

нений в топографии поверхности и равномерность гашения КЛ на облученной области позволяют сделать вывод о преимущественно точечном характере возникающих при ИЛО с $W \cong W_n$ дефектов. Следует отметить, что справедливость сделанных выводов ограничивается пространственным разрешением используемой установки. Данный параметр в наших экспериментах составил около 1 мкм в режиме КЛ.

С ростом энергии ИЛО в характере лазерно-индуцированных изменений поверхности образцов указанных выше ориентаций начинают проявляться различия. Для образцов с ориентацией поверхности (100) при ИЛО с $W = 0.51$ Дж/см² лазерные повреждения как в режиме ВЭЭ, так и в режиме КЛ имеют вид хаотично распределенных «воронков» (рис. 1), подобных наблюдавшимся в [3]. Определенное отличие от последних заключается в том, что появление «воронков» связывалось в работе [3] с началом процесса плавления, в то время как «воронкообразование» в нашем случае регистрировалось при $W > 2W_n$. Данное различие, возможно, связано с отсутствием прямого контроля процесса плавления и, как следствие, неточностью определения W_n в работе [3].

В случае ориентации поверхности (111) при наблюдении облученной области в режиме КЛ регистрируются характерные полосы гашения люминесценции (рис. 2). Они представляли собой отрезки прямых линий, ориентированных в трех направлениях под углом около 120° друг к другу. Видимая толщина линий составляла примерно 3—5 мкм, а их концентрация изменялась в зависимости от энергии ИЛО. Так, для $W = 0.4$ Дж/см² данные области повышенной безызлучательной рекомбинации имеют вид отдельных, изредка пересекающихся друг с другом отрезков. С повышением энергии ИЛО до 0.5 Дж/см² описывае-

мые темные линии образуют покрывающую всю облученную область сетку (рис. 2). Здесь следует отметить, что участки поверхности образца, заключенные между темными линиями, являются, по-видимому, областями точечного дефектообразования, подобного возникающему при $W \cong W_n$. Изменение топографии поверхности образцов при ИЛО вплоть до $W = 0.6$ Дж/см² было незначительным. Для энергий $W > 0.6$ Дж/см² описанные выше темные линии образуют практически сплошную область гашения КЛ. На картине ВЭЭ при этом начинают проявляться лазерно-индуцированные изменения поверхности в виде упоминавшихся ранее «воронок».

4. Кратко остановимся на анализе полученной картины упорядочения полос гашения КЛ. Здесь следует отметить значительное сходство представленной

на рис. 2 системы линий и картины, наблюдавшейся при деградации светодиодов на основе GaAs : Zn [5]. Отмеченная в [5] деградация происходила в твердой фазе и объяснялась дислокациями, порожденными напряжениями, возникающими на границе существенно различных по свойствам полупроводниковых областей. Подобное дефектообразование, как было отмечено в [5], реализуется

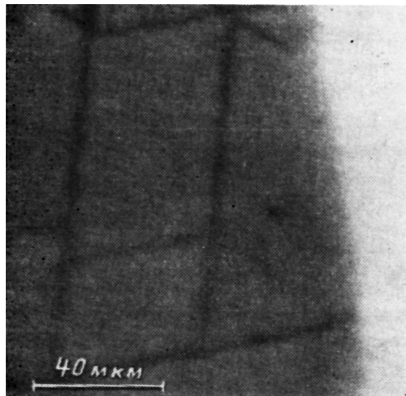


Рис. 2. Изображение границы необлученной и облученной с $W = 0.5$ Дж/см² поверхности образца p -GaAs : Zn (111) (в режиме КЛ).

для произвольной ориентации поверхности, от которой зависит лишь направление упорядочения областей повышенной безызлучательной рекомбинации. Для наших экспериментов явное отсутствие какого-либо упорядочения дефектов для ориентации (100) указывает на существенное различие механизмов лазерно-индуцированного дефектообразования и описанной в [5] деградации светодиодов. В случае ИЛО, по-видимому, определяющим фактором является высокая скорость протекающих процессов плавления, и особенно рекристаллизации. При этом принципиальным может оказаться различие максимальных скоростей последней для различных ориентаций. Так, известно, что максимальная равновесная скорость кристаллизации поверхности (100) больше, чем для (111) [6]. Это может привести к большей неравновесности процесса при ИЛО образцов с ориентацией поверхности (111).

5. Таким образом, в работе установлено, что при ИЛО GaAs с энергиями $W > W_n$ может происходить упорядочение областей повышенной безызлучательной рекомбинации. Данное явление имеет место лишь при ориентации поверхности (111) и связано, по-видимому, с неравновесностью процесса рекристаллизации.

Список литературы

- [1] Bertolotti M. // Cohesive Properties of Semiconductors under Laser Irradiation. 1983. P. 1—33.
- [2] Карлов С. Ю., Ковальчук Ю. В., Погорельский Ю. В. // ФТП. 1986. Т. 20. В. 41. С. 1945—1969.
- [3] Lowndes D. H. // Semiconductors and Semimetals. INC. 1984. V. 23. Ch. 8. P. 471—554.
- [4] Добрынина Е. С., Петров В. И., Джиджоев М. С., Зенков Ю. В., Кашкаров П. К., Платоненко В. Т., Попов В. К. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1986. Т. 50. В. 4. С. 816—819.
- [5] Берг А., Дин П. Светодиоды. М., 1978. 686 с.
- [6] Gullis A. G., Webber H. C., Chew N. G. // Appl. Phys. Lett. 1983. V. 42. N 10. P. 875—877.