

## Влияние когерентного электромагнитного излучения на эпитаксиальные диодные структуры фосфида галлия

© В.В. Иняков, Е.Н. Моос, Ю.А. Шрайнер

Рязанская государственная сельскохозяйственная академия им. проф. П.А. Костычева, 390044 Рязань, Россия

(Получена 9 июня 1998 г. Принята к печати 5 октября 1998 г.)

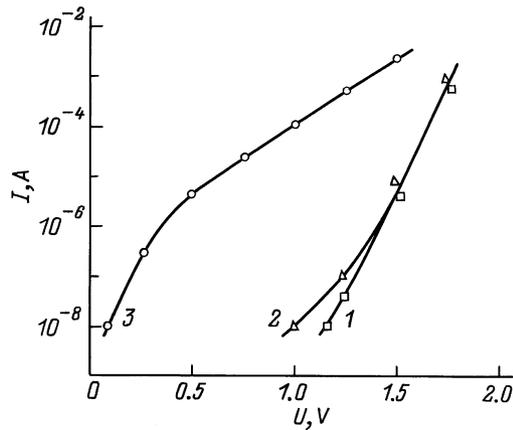
Исследовано влияние излучения лазера на вольт-амперные характеристики и внутренний квантовый выход электролюминесценции после облучения. В результате воздействия при сверхкритических мощностях потока излучения (более  $10^7$  Вт/см<sup>2</sup>) наблюдалось сильное падение квантового выхода люминесценции и резкий рост токов утечек на вольт-амперных характеристиках. Предполагается, что мощное оптическое излучение, возбуждая электронную подсистему примесных атомов, способствует протеканию квазихимических реакций.

При исследованиях механизмов деградации внутреннего квантового выхода светоизлучающих и лазерных диодов представляет интерес изучение влияния как внешнего, так и собственного излучения оптического диапазона на процессы старения в диодных структурах. В работе [1] исследованы деградационные явления в двойных гетероструктурах AlGaAs при оптическом возбуждении их активной области. Излучение криптонового лазера в диапазоне плотности мощности  $2 \cdot 10^4 \div 5 \cdot 10^3$  Вт/см<sup>2</sup> с энергией фотонов, близкой к ширине запрещенной зоны данных лазерных диодов, привело к заметному падению интенсивности люминесценции за  $2 \div 3$  ч облучения при температуре 150°C. Причиной этого авторы [1] считают уменьшение внутреннего квантового выхода излучательной рекомбинации в активной области гетероструктур вследствие усиления безызлучательных каналов рекомбинации. В работе [2] изучалось действие оптического потока аргонового лазера плотностью  $10^3$  Вт/см<sup>2</sup> при 250°C на эпитаксиальные структуры красного свечения на основе фосфида галлия, легированного Zn и O (энергия кванта больше ширины запрещенной зоны фосфида галлия  $E_g = 2.34$  эВ). Наблюдалось уменьшение интенсивности красной полосы излучения с одновременным ростом интенсивности инфракрасной (ИК) полосы, обусловленной переходами между удаленными O<sub>p</sub>-донорами и Zn<sub>Ga</sub>-акцепторами. Причиной этого, по мнению авторов [2], является распад комплексов Zn–O при возбуждении электронной подсистемы реального кристалла под действием оптического излучения. К снижению интенсивности свечения зеленых GaP:N светоизлучающих диодов, в которых акцептором является Zn, может приводить рекомбинационно-стимулированная диффузия атомов Zn из *p*-слоя [3] или из *p*<sup>+</sup>-слоя у контакта [4] в область пространственного заряда или *n*-слой с образованием там центров безызлучательной рекомбинации. Аналогичный эффект может вызвать появление дефектов темных линий вследствие релаксации упругих напряжений, возникающих при увеличении концентрации Zn в *p*–*n*-переходе [5]. Лазерное излучение генерирует в материалах ударные волны, которые оказывают воздействие на свойства полупроводников, что также может привести к снижению

интенсивности свечения [6]. Облучение полупроводниковой структуры приводит к неоднородной плотности точечных дефектов вакансионно-межузельного типа, генерации гиперзвуковых волн, неоднородному нагреву. Лазерно-стимулированная диффузия атомов Zn и смещение границы *p*–*n*-перехода под действием излучения неодимового лазера ( $\lambda = 0.53$  мкм) наблюдались в работе [7].

В данной работе исследовано влияние когерентного электромагнитного излучения лазера на вольт-амперные характеристики, внутренний квантовый выход электролюминесценции после облучения эпитаксиальных диодных структур фосфида галлия, активная область которых легирована Zn и O. Лазер на алюмоиттриевом гранате с длиной волны излучения  $\lambda = 1.06$  мкм и энергией фотона  $h\nu = 1.17$  эВ вдвое меньше ширины запрещенной зоны фосфида галлия. С теми же диодными структурами проведены кратковременные токовые испытания длительностью 12 ч при плотности тока  $\sim 11$  А/см<sup>2</sup> и эффективной температуре *p*–*n*-перехода  $\sim 115^\circ$  С. Структуры имели сплошные омические контакты со стороны зон *p*- и *n*-проводимости. Лазерная обработка осуществлялась с торцевой поверхности кристаллов, перпендикулярной плоскости *p*–*n*-перехода. Оптическое воздействие на активную область светодиодных структур производилось сканированием лазерного пучка диаметром  $\sim 60$  мкм со скоростью  $\sim 4$  см/с по их торцевой поверхности. Лазер работал в импульсном режиме на частоте 10.2 кГц при длительности импульса излучения  $\sim 0.3$  мкс и плотности мощности потока в импульсе  $\sim 10^6$  Вт/см<sup>2</sup>. Сканирование осуществлялось в один проход с шагом 10 мкм.

При оптическом возбуждении на докритических плотностях падающей световой энергии (меньших  $10^6$ ) Вт/см<sup>2</sup> вольт-амперные характеристики образцов в области рабочих токов оставались стабильными, а в диапазоне токов  $10^{-8} \div 10^{-6}$  А токи утечки несколько возрастали (см. рисунок). Корреляции между изменением вольт-амперных характеристик и внутреннего квантового выхода светоизлучающих диодов после облучения обнаружено не было. При переходе к сверхкритическим режимам лазерного воздействия (плотность мощности более  $10^7$  Вт/см<sup>2</sup>) наблюдалась частичная деструкция



Типичные вольт-амперные характеристики диодных структур GaP:Zn, O до (1) и после лазерной обработки при плотности мощности  $\sim 10^6$  Вт/см<sup>2</sup> (2) и  $\sim 10^7$  Вт/см<sup>2</sup> (3).

поверхности и одновременно резкий рост токов утечек на вольт-амперных характеристиках с сильным падением квантового выхода электролюминесценции. Это явление можно объяснить лавинным ростом коэффициента поглощения при высоких потоках мощности излучения, значительным разогревом поверхности, сопровождающимся выделением фосфора, и обогащением поверхности металлическим галлием. После оптического воздействия на диодные структуры при докритических мощностях потока излучения наблюдался рост квантового выхода люминесценции в среднем на 5–6%, хотя на отдельных образцах эффективность излучения может изменяться от –20 до +50%. Среднее значение квантового выхода электролюминесценции после 12 ч испытаний оставалось практически неизменным и равным величине выхода после оптического воздействия.

Результаты экспериментов могут быть объяснены в предположении, что мощное оптическое излучение с энергией кванта  $h\nu \sim E_g/2$  возбуждает электронную подсистему примесных атомов, при ионизации глубоких уровней которых легко выполняется условие [8]  $\tau_i \gg \tau_c$ , где  $\tau_i$  — время жизни ионизированного состояния атома,  $\tau_c$  — время смещения атома. Это способствует протеканию квазихимических реакций с участием примесей и собственных дефектов решетки, в том числе вакансий. Реализуется, вероятно, подпороговый механизм дефектообразования, когда импульс кванта недостаточен для прямого ударного смещения атома. Изменения квантового выхода после облучения могут быть следствием одновременного протекания реакций типа:  $M + h\nu \rightarrow R$ ,  $M + h\nu \rightarrow Q$ ,  $R + h\nu \rightarrow Q$ ,  $Q + h\nu \rightarrow R$ , где  $M$  — неактивный дефект,  $R$  — излучательный центр,  $Q$  — безызлучательный центр. Не исключен механизм теплового дефектообразования из-за сильного поглощения на включениях в объеме активной области. Существование дефектов подтверждают результаты исследований методом рентгеновского микроанализа и методом трехкристальной дифрактометрии.

Полученные данные свидетельствуют в пользу существования в объеме активной области фосфида галлия дефектов с высоким значением сечения захвата фотонов, обладающих энергией  $h\nu \sim 1.17$  эВ. Подтверждение существования таких дефектов, видимо, может быть получено при исследовании спектров люминесценции уровней в запрещенной зоне вблизи  $E_g/2$ . Рекомбинация носителей заряда через эти уровни будет преимущественно излучательного типа, ввиду выполнения условия  $E_g \gg h\omega_{\text{opt}}$  для фосфида галлия, где  $\omega_{\text{opt}}$  — круговая частота оптических фотонов.

## Список литературы

- [1] Ж.И. Алфёров, В.Г. Агафонов, В.М. Андреев и др. ФТП, **12**, 1054 (1978).
- [2] P.D. Dapkus, C.H. Henry. Appl. Phys., **47**, 4061 (1976).
- [3] B. Rheinlander, G. Oelgart, H. Halfner et al. Phys. St. Sol. (a), **87**, 373 (1985).
- [4] Т.В. Торчинская, А.А. Шматов, В.И. Строчков, М.К. Шейнман. ФТП, **20**, 701 (1986).
- [5] Т.В. Торчинская, Т.Г. Бердинских, А.Г. Корабаев. ЖТФ, **59**, вып.18, 134 (1989).
- [6] В.С. Вавилов, А.Е. Кив, О.Р. Ниязова. *Механизмы образования и миграции дефектов в полупроводниках* (М., Наука, 1981) гл. 8, с. 316.
- [7] Г.А. Сукач. ФТП, **31**, 753 (1997).
- [8] А.А. Птащенко. ЖПС, **33**, 781 (1980).

Редактор В.В. Чалдышев

## Effect of the laser radiation on epitaxial diod structures of GaP

V.V. Inyakov, E.N. Moos, Y.A. Shrayner

Ryasan State Agriculture Academy  
390044 Ruasan, Russia

**Abstract** The present paper contains the results of an investigation of the laser radiation influence on GaP:Zn, O structure electrophotoluminescence. The photon energy 1.17 eV is equal to the half width of the GaP bandgap. It is shown that the critical radiation flux density  $10^7$  W/sm<sup>2</sup> doesn't result in an avalanche growth of the absorption factor, the crystal lattice heating-up and the surface destruction.