

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.)

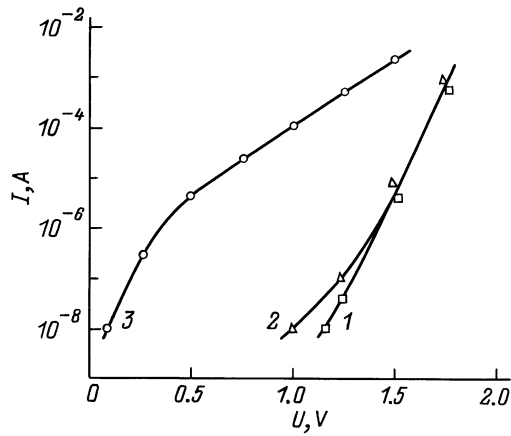
Исследовано влияние излучения лазера на вольт-амперные характеристики и внутренний квантовый выход электролюминесценции после облучения. В результате воздействия при сверхкритических мощностях потока излучения (более 10^7 Вт/см²) наблюдалось сильное падение квантового выхода люминесценции и резкий рост 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/см² 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/см² 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_p-донорами и Zn_{Ga}-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*⁺-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 ~ 11 А/см² 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 ~ 60 мкм со скоростью ~ 4 см/с по их торцевой поверхности. Лазер работал в импульсном режиме на частоте 10.2 кГц при длительности импульса излучения ~ 0.3 мкс и плотности мощности потока в импульсе $\sim 10^6$ Вт/см². Сканирование осуществлялось в один проход с шагом 10 мкм.

При оптическом возбуждении на докритических плотностях падающей световой энергии (меньших 10^6) Вт/см² 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/см²) 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/см² (2) и $\sim 10^7$ Вт/см² (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 τ_i — время жизни ионизированного состояния атома, τ_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 ω_{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 diode 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/sm² doesn't result in an avalanche growth of the absorption factor, the crystal lattice heating-up and the surface destruction.