

02; 05; 07

© 1990

## ФОТОСТИМУЛИРОВАННОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ EL2 ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ САМОКОМПЕНСИРОВАННОГО АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

И.А. Б у я н о в а, А.У. С а в ч у к,  
М.К. Ш е й н к м а н

EL2 центры в арсениде галлия и твердых растворах на его основе являются, по-видимому, наиболее интересными и активно изучаемыми среди глубоких центров в  $A_3B_5$ . Это связано с характерной для них метастабильностью, т.е. способностью переходить из основного EL2<sup>0</sup> в метастабильное EL2\* состояние под действием света из активной области  $h\nu_a = 1.0-1.3$  эВ. Такой переход наблюдается как гашение во времени соответствующего сигнала ЭПР, емкости, фототока (ФТ), а также фотолюминесценции (ФЛ) в диапазоне энергий 0.52-0.72 эВ.

Специальные исследования ФЛ в этой спектральной области, проведенные нами для образцов полуизолирующего  $GaAs:Cr$ , показали [1], что каждая из наблюдаемых полос свечения 0.59 и 0.64 эВ обусловлена двумя типами центров. Первые являются стабильными, а вторые гасятся активным светом, т.е. относятся к семейству EL2 дефектов.

В настоящей работе показано, что в образцах самокомпенсированного  $GaAs$  наблюдается новое более сложное явление: после включения „активного“ света 1.0-1.3 эВ происходит, как обычно, гашение ФЛ 0.64 эВ, сопровождаемое гашением ФТ, но затем начинает возрастать интенсивность новой полосы ФЛ с  $h\nu_m = 0.71 \pm \pm 0.01$  эВ с одновременным возрастанием фототока. Это возрастание ФТ переходит в его колебания (частота  $\sim 1$  Гц), если напряженность поля в образце превышает некоторое минимальное значение  $\sim 20$  В/см. Существенно, что центры, обуславливающие ФЛ и фотопроводимость, в начальном и конечном состояниях различны. В пользу этого свидетельствует следующее. В исходном состоянии спектр ФЛ имеет максимум 0.64 эВ (рис. 1). Данная полоса эффективно возбуждается в области 1.1-1.5 эВ. Соответствующий спектр возбуждения приведен на рис. 1 и полностью идентичен спектру ФТ. После освещения кристалла активным светом интенсивность свечения максимальна вблизи 0.71 эВ (рис. 1), спектр возбуждения новой полосы, совпадающий со спектром ФТ, лежит в области 0.8-1.3 эВ. Таким образом, можно говорить о переключении ФЛ и ФТ с одних центров на другие. Полученное состояние кристалла стабильно при  $T \leq 110$  К. Исходное состояние может быть восстановлено только термически путем нагрева образца до  $T \geq 140$  К, т.е.

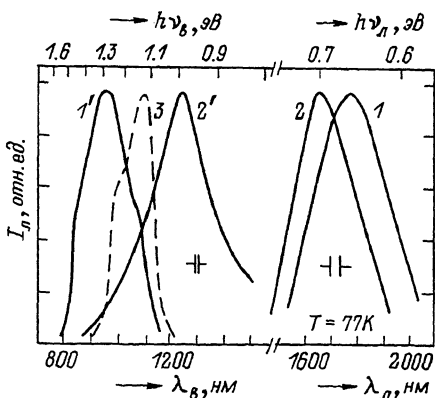


Рис. 1. Спектры ФЛ (кривые 1 и 2) и ее возбуждения (кривые 1' и 2') соответственно до и после „переключения“. Спектр активного света – кривая 3.

в той же области температур, что и восстановление центров EL2.

Анализ температурной зависимости кинетики процесса „переключения“ показал, что он носит термоактивационный характер. Кривая Аррениуса, измеренная в режиме изохронного „переключения“, определяет энергию активации процесса  $\Delta = 40 \pm 5$  мэВ.

Исследования поляризационных характеристик люминесценции показали, что переключение даже неполяризованным активным светом приводит к значительной спонтанной поляризации как возникшей ФЛ ( $P_{сп} = -12\%$ ), так и остатка исходного свечения ( $P_{сп} = 10\%$ ) в случае  $\langle 100 \rangle - \langle 011 \rangle$  ориентации кристалла.<sup>1</sup> В исходном состоянии  $P_{сп} < 1\%$ . Это свидетельствует об оптической анизотропии обоих типов центров, а также позволяет предположить их взаимосвязь. Таким образом, наблюдаемое „переключение“ может быть обусловлено фотостимулированным преобразованием дефектов EL2, например изменением пространственной конфигурации этих центров. Результаты детальных поляризационных исследований процесса будут приведены в другой статье.

Обнаружено также, что преобразование центров сопровождается резким ( $\sim$  на 5 порядков) уменьшением темнового сопротивления кристаллов, а также возникновением стохастических колебаний ФТ с частотой 0.1–2 Гц. Критическая величина электрического поля, при котором возникают колебания, уменьшается с ростом освещенности  $\Phi$  и составляет  $E_{кр} \sim 30$  В/см при  $\Phi \sim 10^{13}$  кВ/см<sup>2</sup> с при  $T = 77$  К. Колебания имеют периодический характер вблизи  $E_{кр}$  и хаотизируются с ростом приложенного поля. Подобные колебания ФТ ( $T = 77$  К) и

<sup>1</sup> Первым обозначено направление возбуждения ФЛ, вторым – направление ее регистрации.

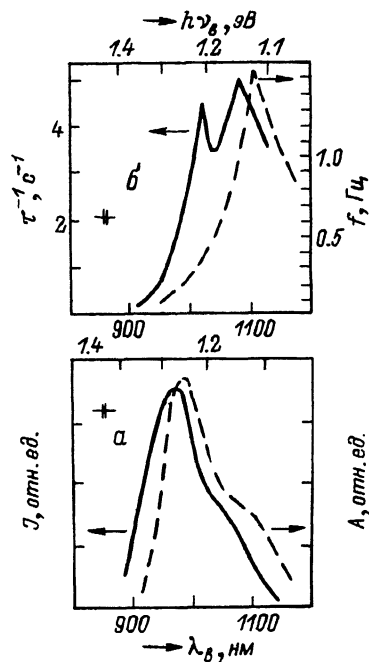
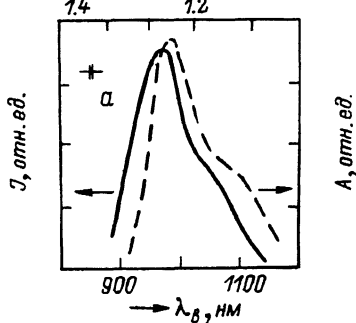


Рис. 2. а) Спектр возбуждения центров EL2 в области их перехода в метастабильное состояние (сплошная линия). Спектральная зависимость амплитуды колебаний (пунктир). б) Спектр обратного эффективного времени гашения люминесценции EL2 центров (сплошная линия). Спектральная зависимость частоты колебаний ФТ (пунктир).



темнового тока ( $T = 300 \text{ K}$ ) наблюдались также в [2, 3] и связывались с известным [4] увеличением под действием поля сечения захвата электронов на уровень  $EL2^0$ . В нашем случае колебания ФТ связаны с трансформацией EL2 центров, поскольку: а) они возникают только в кристаллах, в которых наблюдается „переключение“; б) спектральная область возникновения колебаний совпадает с областью активного света; в) измеренная зависимость амплитуды колебаний от энергии квантов возбуждающего света  $h\nu_B$  идентична со спектром возбуждения EL2 центров в области их

перехода в метастабильное состояние (рис. 2, а); г) измеренная зависимость частоты колебаний от  $h\nu_B$  совпадает с одной из полос в спектральной зависимости вероятности перехода  $EL2^0-EL2^*$  (рис. 2, б). Последняя представляет собой зависимость  $\tau_{\text{эф}}^{-1}(h\nu_B)$ , где  $\tau_{\text{эф}}$  – характеристическое время гашения EL2 ФЛ [1]. Возможной причиной возникновения колебаний в этом случае может быть осциллирующая перекачка носителей заряда между исходными и трансформированными центрами, обусловленная подсветкой. Отметим, что колебания ФТ возникают как раз в той спектральной области, где возбуждаются оба типа центров свечения. Осцилляции ФТ могут быть вызваны также разнесенностью в пространстве исходных и появившихся после „переключения“ центров [5]. В этом случае необходимо предположить независимость обоих типов центров, что не согласуется с результатами поляризационных исследований.

Таким образом, в настоящей работе обнаружен новый эффект фотостимулированного преобразования люминесценции в самокомпенсированном арсениде галлия. Доказана его взаимосвязь со сложной энергетической и пространственной структурой EL2 центров. Существенно, что обнаруженные в работе центры переходят под действием света в новое излучательное состояние, что коренным образом отличает их от всех исследованных ранее представителей EL2-семьи.

## С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Оборина Е.И., Остапенко С.С., Шейнкман М.К. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 46. В. 11. С. 449-451.
- [2] Nojima S., Asahi A., Ikoma T. // J. Appl. Phys. 1987. V. 61. N 3. P. 1073-1078.
- [3] Marakas J.N., Porod W., Johnson D.A., Ferry D.K. // Physica. 1985. V. 134B, N 1. P. 276-282.
- [4] Martin J.M., Markram-Ebeid S. Mid-gap donor level EL2 in GaAs, in book "Deep Centers in Semiconductors", ed. S.Pantalidas, N.-J., 1985. p.399.
- [5] Пожел Ю.К. Плазма и токовые неустойчивости в полупроводниках, М.: Наука, 1977. 367 с.

Институт полупроводников АН УССР,  
Киев

Поступило в Редакцию  
30 августа 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 2

26 января 1990 г.

06.2; 11

© 1990

### ПОВЕРХНОСТЬ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО ИЗОВАЛЕНТНОЙ ПРИМЕСЬЮ - СУРЬМОЙ

А.А. Аристархова, Ю.Ф. Бирюпин,  
С.С. Волков, В.Н. Каряев,  
М.Ю. Тимашев

Исследование влияния изовалентных примесей (ИВП) на объемные свойства соединений  $A^{3}B^{5}$  показало возможность их воздействия на ряд характеристик полупроводниковых материалов через ансамбль собственных точечных дефектов монокристаллов и эпитаксиальных слоев [1, 2]. Следует отметить практическое отсутствие работ, направленных на исследование поверхностных свойств бинарных соединений, легированных ИВП. Очевидно, что именно особенности поверхности  $A^{3}B^{5}$  <ИВП> должны в значительной степени влиять на формирование характеристик явлений, связанных и свойствами свободной поверхности и гетерограниц.

Именно эти обстоятельства обусловили цель данной работы - исследование элементного состава и стехиометрии поверхности эпитаксиальных слоев арсенида галлия, нелегированных и легированных ИВП сурьмой.