

06;07

Корреляция электрофизических и люминесцентных свойств GaAs высокой чистоты

© М.В. Ботнарюк, Ю.В. Жилияев, Т.А. Орлова,
Н.К. Полетаев, Л.М. Федоров, Ш.А. Юсупова

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург
E-mail: poletaev@mail.ioffe.ru

Поступило в Редакцию 15 марта 2004 г.

Исследовались эпитаксиальные слои n -GaAs с концентрацией фоновой примеси $N_D - N_A < 10^{15} \text{ см}^{-3}$, полученные методом газофазной эпитаксии в открытой хлоридной системе. Обнаружена корреляция электрофизических характеристик n -GaAs с длительным послесвечением спектральных линий краевой фотолюминесценции D^0x и D^0h , обусловленным центрами захвата дырок. Установлено, что с ростом концентрации центров захвата в n -GaAs уменьшается подвижность свободных носителей.

Определение качества GaAs высокой степени чистоты ($N_D - N_A < 10^{15} \text{ см}^{-3}$) оптическими методами является актуальной проблемой, представляющей как научный, так и практический интерес. Зачастую оптические методы оценки параметров материала являются единственным возможным неразрушающим способом контроля. Особенно важной с практической точки зрения является задача оценки электрофизических параметров GaAs, определяющих свойства полупроводниковых приборов, с помощью оптических характеристик материала. Вопрос об использовании оптических методов диагностики для определения электрических параметров материала обсуждался в последнее время в ряде работ [1–3]. Ранее [4] мы сообщали об экспериментально обнаруженной взаимосвязи между электрофизическими характеристиками и соотношением интенсивностей спектральных линий в стационарных спектрах низкотемпературной экситонной фотолюминесценции n -GaAs. Было показано, что изменение концентрации и подвижности основных носителей в материале сопровождается трансформацией стационарных спектров низкотемпературной фотолюминесценции. Концентрация сво-

бодных носителей в материале n -типа в первую очередь зависит от концентрации мелких доноров. Однако известно, что на форму спектров низкоотемпературной экситонной фотолюминесценции в n -GaAs могут влиять центры, являющиеся ловушками для дырок [5]. Наличие таких центров захвата приводит к аномально длительному для GaAs ($\tau > 10 \mu\text{s}$) послесвечению спектральных линий низкоотемпературной экситонной фотолюминесценции, связанных с мелкими донорами D^0x , D^0h [6].

В данной работе изучалось влияние центров захвата дырок на люминесцентные и электрофизические свойства n -GaAs. Эксперименты проводились на чистых эпитаксиальных слоях арсенида галлия толщиной несколько десятков микрон с концентрацией фоновой примеси $N_D - N_A < 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Слои были получены методом газофазной эпитаксии в открытой хлоридной системе. Концентрация и подвижность основных носителей определялись с помощью эффекта Холла методом Ван дер Пау. Измерение стационарных спектров низкоотемпературной экситонной фотолюминесценции и временного затухания люминесценции производилось при температуре $T = 2 \text{ К}$. Фотолюминесценция в стационарном режиме возбуждалась He-Ne-лазером с длиной волны $\lambda = 632.8 \text{ nm}$. Для импульсного возбуждения использовался полупроводниковый лазер с длиной волны $\lambda \approx 760 \text{ nm}$. Регистрация стационарных спектров производилась с помощью схемы счета фотонов. Для временных измерений использовалась схема времякоррелированного счета фотонов.

Нами была обнаружена корреляция между концентрацией центров захвата дырок N_Z в n -GaAs и электрофизическими параметрами слоев: концентрацией и подвижностью свободных носителей. Было установлено, что с ростом концентрации центров захвата наблюдается увеличение концентрации свободных носителей в материале и уменьшение их подвижности (рис. 1).

Для сравнения концентраций центров захвата в различных образцах использовалось отношение интегралов под кривой затухания интенсивности фотолюминесценции во времени (см. вставку на рис. 1). В качестве пределов интегрирования t_1 и t_3 выбирались моменты окончания импульса возбуждения и окончания регистрации соответственно. Пределом интегрирования t_2 выбирался момент времени окончания послесвечения линии свободного экситона, на которой не наблюдается длительного послесвечения [5]. Отношение B является монотонной

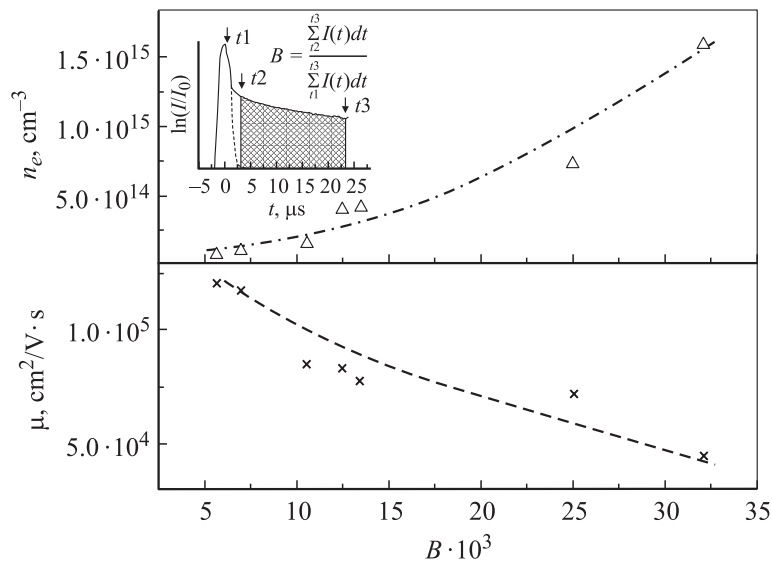


Рис. 1. Изменение концентрации и подвижности основных носителей в зависимости от концентрации ловушек N_z . На вставке — метод расчета концентрации ловушек N_z .

функцией концентрации центров захвата $B = F(N_z)$ и использовалось нами как количественный критерий для сравнения концентраций центров захвата в исследуемых образцах.

Изменение электрических характеристик материала сопровождается трансформацией спектров низкотемпературной экситонной фотолюминесценции. На рис. 2 приведены спектры низкотемпературной экситонной фотолюминесценции образцов с различной концентрацией центров захвата дырок N_z . Концентрация ловушек N_z в образцах увеличивается от S7 к S1. Видно, что по мере возрастания концентрации N_z происходит уширение линии D^0x и увеличение относительной доли ее интенсивности.

Таким образом, центры захвата, ответственные за длительное послесвечение спектральных линий D^0x и D^0h влияют на электрофизические и оптические свойства GaAs: увеличение их концентрации приводит к существенному снижению подвижности, уширению линии

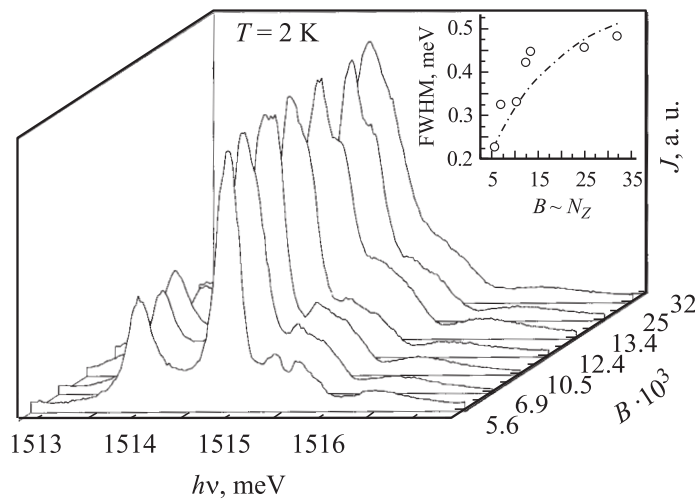


Рис. 2. Трансформация спектров низкотемпературной экситонной фотолюминесценции при изменении концентрации ловушек N_Z (спектры нормированы на максимум интенсивности линии D^0x). На вставке — зависимость полуширины линии D^0x от концентрации центров захвата в материале.

D^0x в спектре низкотемпературной экситонной фотолюминесценции и относительному увеличению интенсивности D^0x .

Связь полуширины линии D^0x и длительного послесвечения, обсуждалась в работе [7], авторы которой также наблюдали уширение линии D^0x с увеличением относительной интенсивности длительного послесвечения. Следует отметить, что в материале с малой концентрацией ($n_e < 10^{13} \text{ cm}^{-3}$) и высокой подвижностью ($\mu_e > 100\,000 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ при $T = 77 \text{ K}$) основных носителей длительного послесвечения не наблюдается. Спектры низкотемпературной экситонной фотолюминесценции такого материала либо не имеют линии D^0x , либо ее полуширина очень незначительна ($< 0.15 \text{ meV}$). Эти факты свидетельствуют о полном отсутствии ловушек подобного типа в сверхчистом материале. Таким образом, можно утверждать, что данный тип ловушек наряду с мелкими донорами может оказывать заметное влияние на электрофизические и люминесцентные свойства чистого GaAs.

Список литературы

- [1] Глинчук К.Д., Прохорович А.В. // ФТП. 2002. Т. 36 (5). С. 519.
- [2] Lu Z.H., Hanna M.C., Szymd D.M., Goh E., Majerfeld A. // Appl. Phys. Lett. 1990. V. 56 (2). P. 177.
- [3] Oelgart G., Gramlich S., Bergunde T., Richter E., Weyers M. // Material Science and Engineering. 1997. B44. P. 228.
- [4] Zhilyaev(a) Yu.V., Poletaev(a) N.A., Botnaryuk(a) V.M. et al. // Phys. Stat. sol. (c). 2003. V. 0 (3). P. 1024–1027.
- [5] Акимов А.В., Криволапчук В.В., Полетаев Н.К., Шофман В.Г. // ФТП. 1993. Т. 27. В. 2.
- [6] Акимов А.В., Каплянский А.А., Криволапчук В.В., Москаленко Е.С. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 46 (1). С. 35–39.
- [7] Криволапчук В.В., Мездрогина М.М., Полетаев Н.К. // ФТТ. 2002. Т. 45 (1).