

05;06;12

Диагностика высокоомных пластин GaAs методом микроволновой фотопроводимости

© Л.С. Власенко, А.Т. Горелёнок, В.В. Емцев, А.В. Каманин,
С.И. Кохановский, Д.С. Полоскин, Н.М. Шмидт

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 4 сентября 2000 г.

Показано, что метод микроволновой фотопроводимости, разработанный ранее для особо чистого Si, может быть успешно использован для качественной диагностики чистого высокоомного GaAs. Данные по микроволновой фотопроводимости GaAs находятся в хорошем согласии с данными холловских, C-V измерений и низкотемпературной фотолюминесценции.

Диагностика высокоомных материалов с концентрацией носителей заряда ниже 10^{12} cm^{-3} всегда представляет значительные трудности. Они, как правило, связаны с необходимостью получения омических контактов к таким материалам. Это достаточно серьезная проблема, поэтому бесконтактные методы исследования и диагностики полупроводников представляют значительный интерес. Одним из таких методов является метод микроволновой фотопроводимости, основанный на регистрации поглощения микроволновой мощности образцом, помещенным в резонатор. Этот метод успешно применяется для исследования чистых кристаллов кремния. В частности, регистрация изменения микроволновой фотопроводимости при возбуждении магнитного резонанса центров рекомбинации в кремнии позволила зарегистрировать спектры электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) при концентрации центров $10^{10} - 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ [1-3]. Чувствительность методом микроволновой фотопроводимости в сочетании с ЭПР оказалась на четыре порядка более высокой, чем чувствительность обычного метода ЭПР, и на 1-2 порядка выше, чем при использовании регистрации фотопроводимости на постоянном токе.

Предварительный анализ показал, что метод микроволновой фотопроводимости, разработанный для исследований спин-зависимой реком-

бинации (СЗР) в кремнии [4–6], может оказаться информативным и чувствительным применительно к GaAs, однако имеет две противоречивые тенденции, не позволяющие сделать однозначный вывод. Поэтому необходимы экспериментальные исследования по применению метода. По данным СЗР и ЭПР основными различиями между кристаллами Si и GaAs являются: более высокая подвижность свободных носителей и ненулевые магнитные моменты для Ga и As ядер в GaAs. Можно ожидать увеличения фотопроводимости GaAs и чувствительности метода СЗР. Однако присутствие магнитных ядер и сверхтонкого взаимодействия в GaAs приводит к значительному уширению ЭПР линий и снижает их интенсивность.

В работе приведены первые результаты по использованию метода микроволновой фотопроводимости для диагностики высокоомных пластин GaAs.

В качестве объектов исследования были использованы пластины GaAs, легированные железом, и пластины GaAs с концентрацией носителей от 10^{15} до 10^8 см^{-3} после разных стадий геттерирования. Концентрация носителей заряда определялась из холловских и C–V измерений при 300 К.

Эксперименты по регистрации микроволновой фотопроводимости образцов в температурном диапазоне 3–150 К проводились с помощью ЭПР спектрометра, работающего на частоте 9 GHz. Образцы помещались в резонатор спектрометра и облучались светом галогенной лампы накаливания мощностью 100 W. Величина Q -фактора резонатора спектрометра ЭПР зависела от проводимости образца.

В экспериментах регистрировалось изменение напряжения на микроволновом детекторе, пропорциональное Q -фактору резонатора, на частоте 100% модуляции интенсивности света 80 Hz. Сигналы микроволновой фотопроводимости регистрировались при различных температурах, а также при сканировании магнитного поля.

Температурная зависимость микроволновой фотопроводимости для чистых кристаллов GaAs до и после температурной обработки (ТО) показаны на рис. 1. До ТО образцы имели сопротивление, которое значительно снижало Q -фактор. Фотоотклик этих образцов наблюдался только при низких температурах в диапазоне 3–25 К, максимальное значение при ~ 5 –7 К (рис. 1, кривая 1). ТО в течение 0.5 h увеличивало сопротивление кристалла, а фотоотклик появлялся при более высоких температурах, ниже 70 К (рис. 1, кривая 2). После 3-часовой ТО образ-

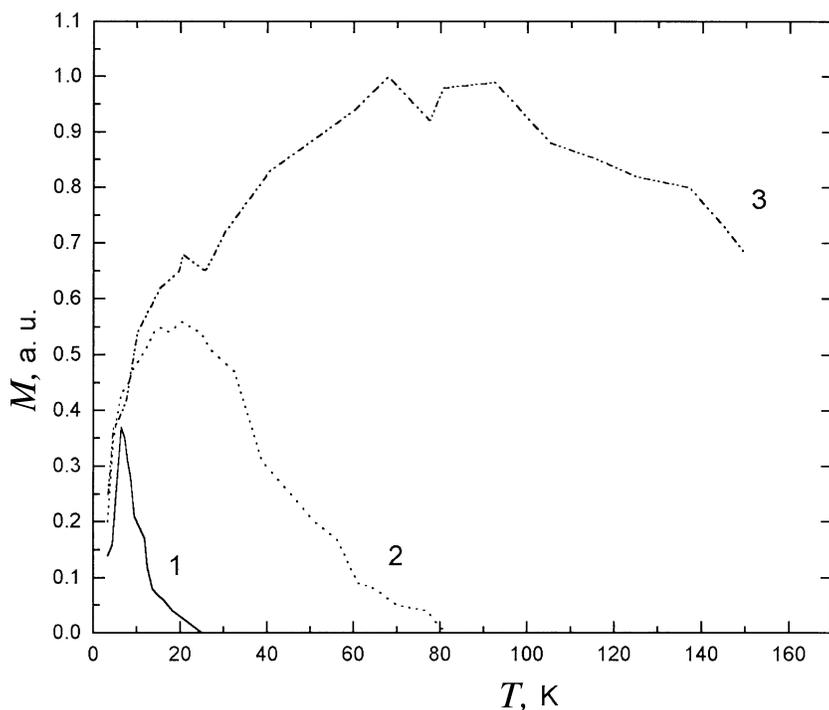


Рис. 1. Температурная зависимость микроволновой фотопроводимости кристаллов GaAs: 1 — до ТО, 2 — после ТО, 800°С в течение 0.5 h ("ШГА"-6), 3 — после ТО, 800°С в течение 3 h ("ШГА"-4).

цы имели повышенное сопротивление даже при комнатной температуре, а фотоотклик хорошо наблюдался во всем температурном диапазоне (рис. 1, кривая 3).

Несмотря на высокий фотоотклик чистых кристаллов GaAs, в них не удалось наблюдать спектры ЭПР по изменению микроволновой фотопроводимости. Линии магнитного резонанса парамагнитных центров рекомбинации наблюдались только в кристаллах GaAs, легированных Fe, фотопроводимость которых была в несколько раз ниже, чем в чистых кристаллах GaAs.

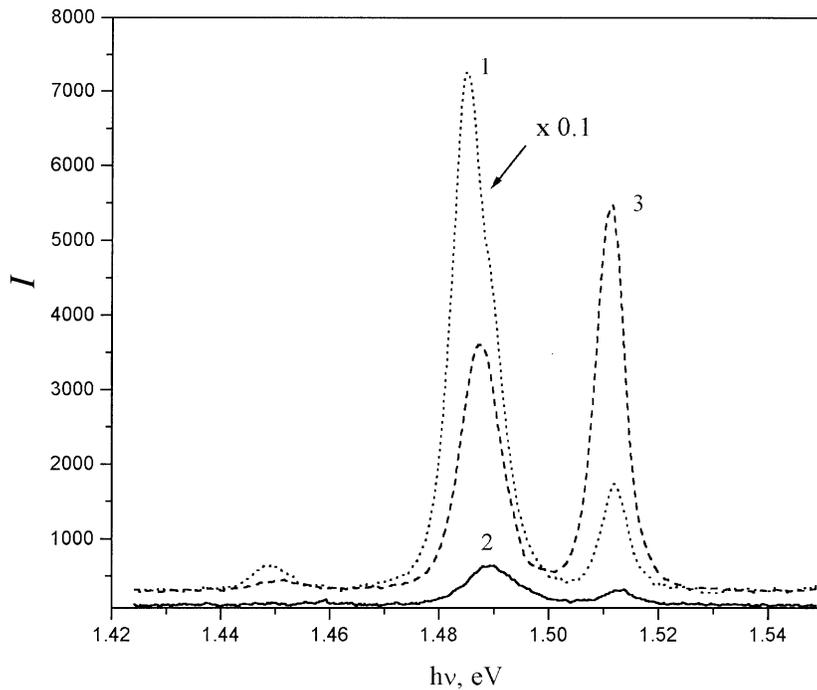


Рис. 2. Спектры ФЛ GaAs при 2К: 1 — до ТО, 2 — после ТО, 800°С в течение 0.5 h ("ШГА"-6), 3 — после ТО, 800°С в течение 3 h ("ШГА"-4).

Увеличение темновой проводимости образцов после ТО не может быть объяснено простой компенсацией мелких доноров глубокими центрами, так как обычно в этом случае наблюдается увеличение скорости рекомбинации фотовозбужденных носителей и, следовательно, уменьшение фотопроводимости. В частности, этот эффект наблюдается в GaAs, легированном Fe. Увеличение фотопроводимости в GaAs после ТО и отсутствие СЗР-ЭПР спектров может быть объяснено пассивацией мелких доноров и формированием электрически и парамагнитно неактивных центров.

Полученные данные находятся в хорошем согласии с результатами холловских, С-V измерений и низкотемпературной фотолюминесцен-

ции. На рис. 2 приведены спектры низкотемпературной фотолюминесценции (ФЛ) тех же образцов GaAs, для которых была выше приведена микроволновая фотопроводимость на рис. 1. Из рис. 2 следует, что по мере увеличения времени ТО при геттерировании происходит гашение примесной полосы с $h\nu \sim 1.49$ eV, возгорание краевой полосы с $h\nu \sim 1.512$ eV, т.е. происходит очистка материала, о чем свидетельствует и расширение спектрального диапазона фотоотклика микроволновой фотопроводимости (рис. 1).

Таким образом, метод микроволновой фотопроводимости, не требующий электрических контактов, может оказаться полезным для исследования фотоэлектрических свойств, оценки качества и диагностики высокоомных полупроводниковых материалов.

Работа была выполнена в рамках гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 00-02-17026.

Список литературы

- [1] *Von Bardeleben H.J., Bougoin J.C.* Defect Control in Semiconductors / Ed. by K. Sumino. Elsevier, Amsterdam, 1990.
- [2] *Markov A.V.* et al. // *Vysokochistye Mater.* 1996. V. 1. P. 86 (in Russian).
- [3] *Buttar C.M.* // *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.* 1997. A 395. P. 1.
- [4] *Vlasenko L.S.* et al. // *Sov. Phys. JETP* 91. 1986. P. 1037.
- [5] *Vlasenko L.S.* // *Semiconductors and Insulators: Optical and Spectroscopic Research* / Ed by Yu. Koptev. Nova Sciences Publishers, Inc., 1992. P. 217.
- [6] *Vlasenko L.S.* et al. // *Phys. Rev. B.* 1995. V. 52. P. 1144.