

# Фотоэлектрическое $C-V$ -профилирование концентрации основных и эффективного времен жизни неосновных носителей заряда в геттерированных пластинах GaAs

© В.Ф. Андриевский\*, А.Т. Гореленок, Н.А. Загорельская\*, А.В. Каманин<sup>†</sup>, Н.М. Шмидт

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,  
194021 Санкт-Петербург, Россия

\* Институт электроники Национальной академии наук Беларуси,  
220090 Минск, Белоруссия

(Получена 21 августа 2001 г. Принята к печати 29 августа 2001 г.)

Приведена методика фотоэлектрохимического  $C-V$ -профилирования концентрации основных и эффективного времен жизни неосновных носителей заряда в высокоомных толстых (1.6 мм) пластинах GaAs после их геттерирования как односторонним, так и двухсторонним покрытием пленкой иттрия и последующей термообработкой при температурах 700 и 800°C. Показано, что распределения концентрации  $N_d-N_a$  и эффективного времени жизни неосновных носителей заряда по толщине пластин достаточно однородны в обоих случаях. Данная методика позволяет измерять концентрацию носителей до  $10^{12} \text{ см}^{-3}$ .

## Введение

Существует несколько методов определения концентрации основных носителей заряда в полупроводниках: холловские измерения [1] и  $C-V$ -измерения [2] на барьере Шоттки металл–полупроводник [2] или электролит–полупроводник. Для концентрационного профилирования предпочтение следует отдать  $C-V$ -методу в системе электролит–полупроводник, так как электролит может одновременно выполнять функцию химического травителя. В этом случае процесс концентрационного профилирования может быть автоматизирован [3]. При этом профиль снимается за один цикл при непрерывном травлении, а используя подсветку границы раздела электролит–полупроводник светом с  $h\nu > E_g$  и фиксируя фототок, возможно снимать профиль распределения эффективного времени жизни неосновных носителей заряда (ННЗ), которое пропорционально фототоку через барьер Шоттки. Следует также заметить, что точность определения концентрационного профиля выше при непрерывном травлении, чем при дискретном.

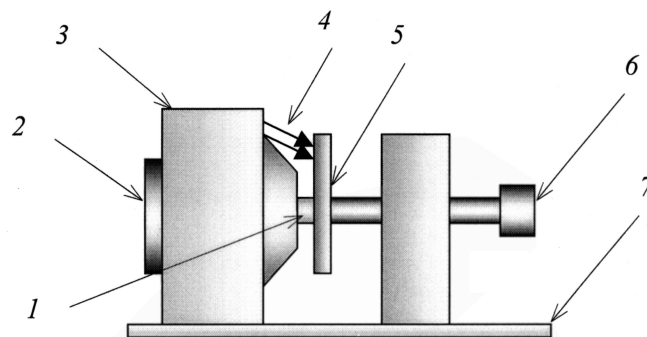
Цель данной работы — демонстрация фотоэлектрохимического метода  $C-V$ -профилирования концентрации основных и эффективного времен жизни ННЗ в толстых (1.6 мм) высокоомных пластинах GaAs, полученных геттерированием как при одностороннем, так и двухстороннем покрытии пленкой иттрия с последующей термообработкой при 700 и 800°C.

## Эксперимент

В работе в качестве исходного материала для геттерирования был использован нелегированный GaAs, полученный методом Чохральского [4] из Ga и As 7N-чистотой, с концентрацией электронов  $(1-3) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$  и их подвижностью  $1500-2000 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$  при 300 К. При

этом в [5] показано, что эта концентрация носителей определяется мелким донорным уровнем с энергией активации 10–12 мэВ и глубоким донорным уровнем с энергией активации  $\sim 150$  мэВ. При этом степень компенсации составляла 40% и, видимо, определялась концентрацией собственных дефектов и их комплексами. Для геттерирования были использованы толстые,  $\sim 1.6$  мм, пластины GaAs (111)-ориентации. При этом они покрывались вакуумным термическим напылением пленкой Y с одной (ОСП) или обеих сторон (ДСП) толщиной  $\sim 1000 \text{ \AA}$  и затем подвергались термообработке (ТО) в атмосфере очищенного водорода при температурах 700°C в течение 0.25 ч и при 800°C в течение 0.5 ч. После ТО пленки Y удалялись плазменным травлением на установке RIBES Rokarra.

Концентрация электронов в геттерированных пластинах определялась из холловских измерений [1], а их распределение по толщине пластин определялось  $C-V$ -профилированием электрохимическим [6] или фотоэлектрохимическим [7] методами в химической ячейке (рис. 1), в которой была возможность подсветки границы раздела электролит–диэлектрик через прозрачное



**Рис. 1.** Фотоэлектрохимическая ячейка: 1 — уплотнительное кольцо, 2 — прозрачное окно для оптического возбуждения, 3 — резервуар для электролита, 4 — прижимные контакты, 5 — полупроводниковая пластина, 6 — прижимное устройство, 7 — основание.

<sup>†</sup> E-mail: kamanin@ffm.ioffe.rssi.ru

окно 2. В качестве электролита-травителя использовался сернокислотный травитель  $H_2SO_4:H_2O_2:H_2O$  (1:8:1), который обладал постоянной скоростью травления (4 мкм/мин) в течение нескольких суток и был полирующим. Площадь контакта определялась уплотнительным кольцом, диаметр которого составлял 3 мм. Концентрация носителей заряда определялась из выражения [6]

$$N(x) = -\frac{C^3}{e\epsilon\epsilon_0A^2} \left(\frac{\Delta C}{\Delta V}\right)^{-1}, \quad (1)$$

где  $C$  — емкость области пространственного заряда в GaAs,  $e$  — заряд электрона,  $\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость,  $\epsilon_0$  — диэлектрическая постоянная,  $A$  — площадь контакта Шоттки,  $\Delta C$  и  $\Delta V$  — приращения емкости и напряжения.

В случае же освещения границы раздела электролит-высокоомный GaAs светом с  $h\nu > E_g$  GaAs возникающий в этой системе фототок пропорционален эффективному времени жизни дырок [2]. Следовательно, при химическом травлении высокоомного GaAs измерение фототока дает качественное распределение эффективного времени жизни ННЗ.

При измерении профиля концентрации по толщине пластины, по мере продвижения электролитического контакта в глубь пластины, происходит увеличение площади контакта за счет образования боковых областей в виде цилиндра в локальной области травления, которая также контактирует с электролитом и дает вклад в измеряемую емкость. Таким образом, измеряемая емкость состоит из двух составляющих: емкости боковой области и емкости дна травления. Поэтому при расчете концентрации носителей заряда используется емкость, которая определяется разностью между измеряемой емкостью ОПЗ и емкостью, обусловленной боковой областью [8].

## Результаты и обсуждение

Следует заметить, что предварительное исследование распределения концентрации носителей с использованием барьера Шоттки Hg-GaAs при послойном травлении GaAs в травителе  $H_2SO_4:H_2O_2:H_2O$  (1:8:50) (скорость травления —  $1000 \text{ \AA} \cdot \text{мин}^{-1}$ ) показало, что в случае ТО структур Y-GaAs при температуре  $800^\circ\text{C}$  в течение 0.25 ч и последующего плазменного удаления пленки Y поверхность пластины имеет  $p$ -тип проводимости с  $p \simeq 10^{16} \text{ см}^{-3}$  до глубины  $\sim 0.5$  мкм. В то же время непокрытая пленкой Y поверхность (при ОСП-геттерировании) после ТО при  $800^\circ\text{C}$ , 0.25 ч также имела  $p$ -тип проводимости с  $p \simeq 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . Толщина слоя  $p$ -типа составляла несколько мкм, а на большей глубине с обеих сторон происходит инверсия типа проводимости и концентрация электронов составляла  $\sim 10^{13} \text{ см}^{-3}$  и ниже.

Распределение концентрации основных носителей ( $N_d - N_a$ ) и эффективного времени ННЗ в геттерированном GaAs при ТО  $800^\circ\text{C}$ , 0.5 ч представлены на рис. 2 и 3

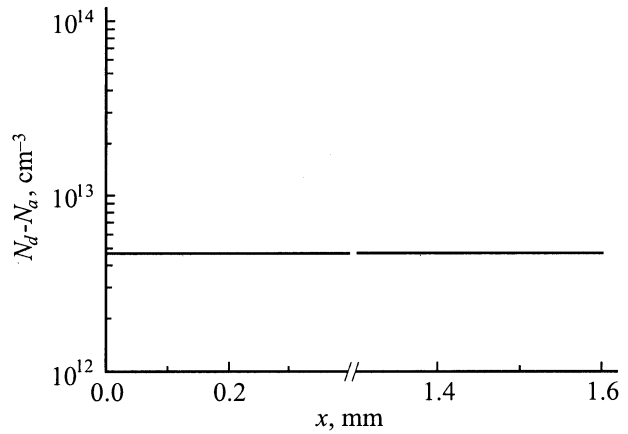


Рис. 2. Профиль распределения  $N_d - N_a$  после ДСП-геттерирования при  $800^\circ\text{C}$ , 0.5 ч.

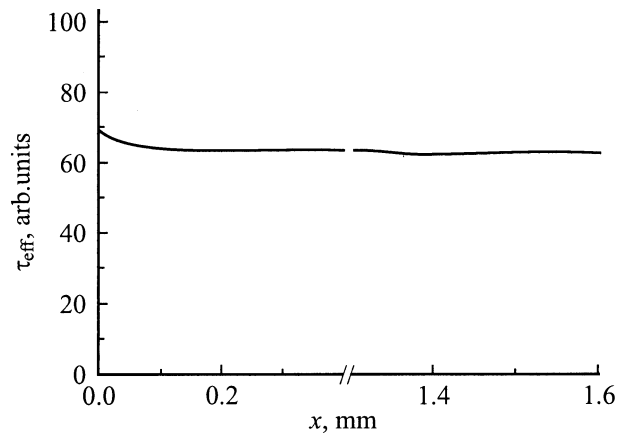
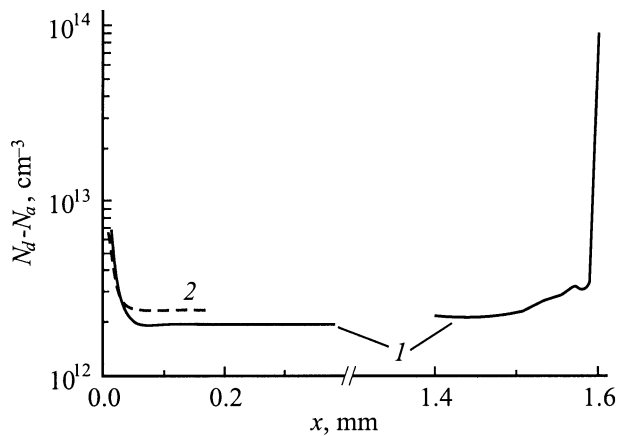


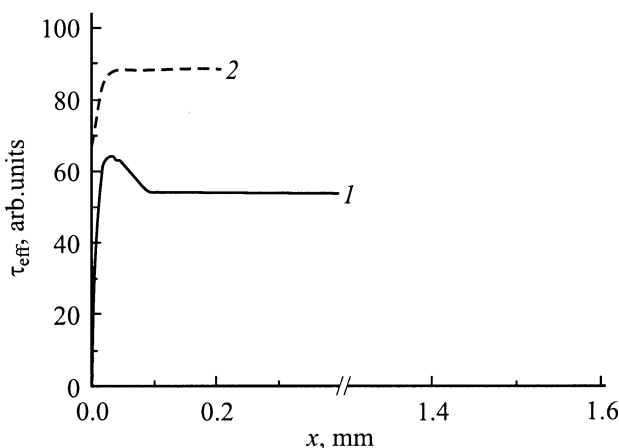
Рис. 3. Профиль распределения эффективного времени жизни неосновных носителей после ДСП геттерирования при  $800^\circ\text{C}$ , 0.5 ч.

соответственно. Распределения практически постоянны. Слабое уменьшение  $N_d - N_a$  на глубине больше 600 мкм связано с большой ошибкой измерения емкости из-за неравномерного травления в различных кристаллографических направлениях.

В случае ТО при  $700^\circ\text{C}$ , 0.25 ч в обоих случаях ОСП-и ДСП-геттерирования после плазменного удаления пленок Y с обеих сторон приповерхностный слой имеет  $n$ -тип проводимости с  $n \simeq 10^{13} - 10^{14} \text{ см}^{-3}$ . Толщина этого слоя составляла несколько мкм, а на большей глубине концентрация снижалась до  $10^{12} \text{ см}^{-3}$  и ниже, в зависимости от режима ТО (рис. 4). Из данных рис. 4 и 5 можно заключить, что геттерирование носит объемный характер даже при покрытии одной стороны пластины пленкой Y. Однако непокрытая поверхность, по-видимому, также вносит свой собственный вклад в эффект геттерирования. Из рис. 5 видно, что распределение  $\tau_{\text{eff}}$  также однородно по глубине при ТО, как при  $700^\circ\text{C}$ , так и при  $800^\circ\text{C}$ , и  $\tau_{\text{eff}}$  на 30% больше при  $700^\circ\text{C}$ , чем при ТО  $800^\circ\text{C}$ . Вышеприведенные результаты концентрационного распределения  $N_d - N_a$  позволяют предположить,



**Рис. 4.** Профили распределения  $N_d - N_a$  после ОСП-геттерирования: 1 — при  $800^\circ\text{C}$ , 0,5 ч и 2 — при  $700^\circ\text{C}$ , 0,25 ч. Глубина 1,6 мм соответствует второй, непокрытой, поверхности пластины.



**Рис. 5.** Профили распределения эффективного времени жизни неосновных носителей после ОСП-геттерирования: 1 — при  $800^\circ\text{C}$ , 0,5 ч и 2 — при  $700^\circ\text{C}$ , 0,25 ч.

что в процессе геттерирования происходит генерация дефектов-антиподов типа  $\text{As}_{\text{Ga}}$  и  $\text{Ga}_{\text{As}}$ , а также, возможно, собственных дефектов различного типа:  $V_{\text{Ga}}$ ,  $V_{\text{As}}$ ,  $I_{\text{Ga}}$ ,  $I_{\text{As}}$ . Основную роль в процессе геттерирования, по-видимому, играет не прямая аннигиляция дефектов-антиподов, а их пространственное разделение и образование комплексов с их участием, результатом чего является снижение концентрации носителей до  $10^8 \text{ см}^{-3}$  [2].

## Заключение

Показано, что поверхностное геттерирование при ДСП и ОСП носит объемный характер и может быть реализовано при достаточно низких температурах ( $700^\circ\text{C}$ ),  $\tau_{\text{eff}}$  при  $700^\circ\text{C}$  на 30% выше, чем при ТО при  $800^\circ\text{C}$ . Это позволяет получать высокоомные пластины GaAs с однородным распределением  $N_d - N_a$  и  $\tau_{\text{eff}}$  ННЗ по толщине до 1,5 мм. При этом подвижность электронов в GaAs может

достигать  $7000 \text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$  при 300 К [5]. Этот материал может быть перспективен для высоковольтных мощных силовых приборов, детекторов рентгеновского, ядерного излучений и частиц, включая нейтрино, а также для сверхбольших сверхбыстродействующих интегральных оптоэлектронных схем. При этом технология получения такого материала очень проста и вписывается в обычную технологию приготовления подложек с включением только двух дополнительных операций: нанесение геттерирующих покрытий и ТО.

Авторы выражают благодарность М. Мездрогиной за нанесение Y-пленок и Ю. Задиранову за их плазменное удаление.

Настоящая работа поддержана РФФИ грант № 00-02-17026.

## Список литературы

- [1] L.J. van der Pauw. Philips Techn. Rev., **20**, 220 (1958/59).
- [2] С. Зи. *Физика полупроводниковых приборов* (М., Мир, 1984) т. 1.
- [3] T. Ambridge, M.M. Factor. Electron. Lett., **10**, 204 (1974).
- [4] A.V. Markov, A.Y. Polyakov, N.B. Smirnov, A.V. Govorkov, V.K. Eremin, E.M. Verbitskaya, V.N. Gavrin, Y.P. Kozlova, Y.P. Veretenkin, T.J. Bowles. Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. A, **439**, 651 (2000).
- [5] N. Schmidt, A. Gorelenok, V. Emtsev, A. Kamanin, A. Markov, M. Mezdrogina, D. Poloskin, L. Vlasenko. Sol. St. Phenomena, **69-70**, 279 (1999).
- [6] J. Reichman. Appl. Phys. Lett., **36**, 574 (1980).
- [7] В.Ф. Андриевский. *Теория, методы и средства измерений и контроля параметров магнитных, полупроводниковых и диэлектрических материалов* (Новочеркасск, 2000) ч. 4, с. 24.
- [8] В.Ф. Андриевский, Е.В. Якименко, О.К. Муравицкий. А.с. 1611075 СССР, G 01 NL 27/22. Заявлено 23.03.89; Оpubл. 1.08.90. (Бюл. изобретат., 1990).

Редактор Л.В. Беляков

## Photoelectrochemical C–V-profiling of majority concentration and minority lifetime in gettered GaAs wafers

V.F. Andrievskii\*, A.T. Gorelenok, N.A. Zagorel'skaya\*, A.V. Kamanin, N.M. Schmidt

Ioffe Physicotechnical Institute,  
194021 St. Petersburg, Russia

\* Institute for Electronics,  
220090 Minsk, Belarus

**Abstract** A technique is presented for photoelectrochemical C–V-profiling of majority concentration and minority lifetime in thick (1.6 mm) high-resistivity GaAs wafers after their gettering by both one- and two-side coatings with an yttrium film and thermal treatment at 700 and  $800^\circ\text{C}$ . The distributions of the  $N_d - N_a$  concentration and of the minority lifetime throughout the wafer depth are shown to be quite uniform. The technique makes it possible to measure the carrier concentration down to  $10^{12} \text{ cm}^{-3}$ .