

06.1;11;12

Концентрационные профили основных и эффективного времени жизни неосновных носителей заряда в геттерированном GaAs

© В.Ф. Андриевский, А.Т. Гореленок, Н.А. Загорельская,
А.В. Каманин, Н.М. Шмидт

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург
Институт электроники НАНБ, Минск
E-mail: kamanin@ffm.ioffe.rssi.ru

Поступило в Редакцию 4 июля 2001 г.

Приведены первые результаты по распределению концентрации основных и эффективного времени жизни неосновных носителей заряда в толстых (1.6 mm) пластинах GaAs после поверхностного геттерирования. Было установлено, что как одностороннее, так и двухстороннее покрытие пластин GaAs пленками Y и последующая термообработка при температурах 700–800°C позволяет получать высокоомный материал с однородным распределением как концентрации электронов, так и эффективного времени жизни дырок по толщине пластин.

1. Ранее сообщалось о поверхностном геттерировании высокоомного ($\rho = 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$) GaAs (111) и (100) ориентации, легированного хромом [1]. Пластины такого GaAs толщиной 0.3 mm покрывались пленками SiO₂, Si-W, Cr или Si-Cr толщиной $\sim 1000 \text{ \AA}$ и подвергались термообработке (ТО) при 826–926°C в течение 15–45 h. В результате было обнаружено, что плотность дислокаций и механические напряжения уменьшаются, а удельное сопротивление и подвижность несколько увеличиваются. Затем, в [2–4], сообщалось о поверхностном геттерировании в толстых (1.6 mm) пластинах (111)-ориентации нелегированного GaAs, полученного методом Чохральского из Ga и As 7N-чистотой [5] с концентрацией $(1 - 3) \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ и подвижностью $1500 - 2000 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ при 300 K, т.е. концентрация носителей в таком материале определялась уже не фоновой концентрацией остаточных примесей, а соотношением собственных дефектов типа V_{Ga} , V_{As} , I_{Ga} , I_{As} ,

As_{Ga} , Ga_{As} и различных комплексов с их участием. Геттерирование в этих работах осуществлялось путем двухстороннего покрытия пластин пленками иттрия толщиной $\sim 1000 \text{ \AA}$ и последующей ТО при 800°C в течение 0.5–5 h. В результате такого геттерирования возможно было получить GaAs с $N_d - N_a = 10^8 - 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ и максимальной подвижностью до $7000 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ при 300 K в зависимости от режима ТО.

2. Цель данной работы — исследование распределения концентрации основных и эффективного времени жизни неосновных носителей заряда (ННЗ) по толщине пластин фотоэлектрохимическим $C-V$ -профилированием высокоомного геттерированного по методике [2–4] GaAs при одно- или двухстороннем покрытии пленками Y.

3. Объектом исследования служили толстые (1.6 mm) пластины геттерированного GaAs, как и в [2–4] после двухстороннего покрытия (ДСП) пластин пленками Y, так и одностороннего покрытия (ОСП) Y толщиной $\sim 1000 \text{ \AA}$ и последующей ТО в атмосфере очищенного водорода при 700°C в течение 0.25 h и при 800°C в течение 0.5 h. После ТО пленки Y удалялись плазменным травлением на установке RIBES Rokarra. Распределения концентрации основных и эффективного времени жизни ННЗ исследовались с помощью электрохимического [6] или фотоэлектрохимического [7] профилирования. Эти методы основаны на измерении $C-V$ -характеристик и фототока барьера Шоттки, образованного GaAs и электролитом, который одновременно является и травителем для GaAs при непрерывном травлении пластин. Профиль носителей заряда определяется из выражения [6]:

$$N(x) = -\frac{C^3}{e\varepsilon\varepsilon_0 A^2} \left(\frac{\Delta C}{\Delta V} \right)^{-1}, \quad (1)$$

где C — емкость области пространственного заряда в GaAs, e — заряд электрона, ε и ε_0 — диэлектрическая проницаемость и диэлектрическая постоянная, A — площадь контакта Шоттки и $\Delta C/\Delta V$ — отношение приращения емкости к приращению напряжения. В качестве электролита использовался полирующий травитель $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O}$ (1 : 8 : 1) [8] для $C-V$ -профилирования высокоомного GaAs. Этот травитель обеспечивал постоянную скорость травления в течение нескольких суток. Исследуемая пластина GaAs контактировала с электролитом в химической ячейке. Диаметр электролитического контакта был 3 mm. При измерении профиля концентрации на больших толщинах, 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. Емкость боковой области, в соответствии с расчетом среднего арифметического любой величины, рассчитывается по формуле:

$$C_l = \frac{2}{r} \int_0^h C dh, \quad (2)$$

где r — радиус контакта, h — высота боковой области. При расчете концентрации носителей заряда используется емкость, которая определяется разностью между измеряемой емкостью области пространственного заряда и емкостью, обусловленной боковой областью (C_l) [8]. Эффективное время жизни ННЗ (τ_{eff}) изменялось пропорционально фототоку через барьер Шоттки при облучении светом с $h\nu > E_g$ [9]. Следовательно, при химическом травлении высокоомного GaAs измерения фототока в системе электролит–полупроводник позволяли определять качественное распределение эффективного времени жизни дырок одновременно с концентрационным распределением электронов по толщине пластины.

4. Следует заметить, что предварительное исследование распределения концентрации носителей с использованием барьера Шоттки Hg–GaAs при послойном травлении GaAs в травителе $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ (1:8:50) (скорость травления — $1000 \text{ \AA} \cdot \text{min}^{-1}$) показало, что в случае ТО структур Y–GaAs при температуре 800°C в течение 0.25 h и плазменного травления пленки Y поверхность пластины имеет p -тип проводимости с $p \simeq 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ до глубины $\sim 0.5 \mu\text{m}$. В то же время непокрытая пленкой Y поверхность (при ОСП-геттерировании) после ТО при 800°C — 0.25 h также имела p -тип проводимости с $p \simeq 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. Толщина слоя p -типа составляла несколько μm , а на большей глубине с обеих сторон происходит инверсия типа проводимости и концентрация электронов составляла $\sim 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ и ниже.

Распределения концентрации основных носителей ($N_d - N_a$) и эффективного времени жизни ННЗ в геттерированном GaAs при ТО 800°C — 0.5 h представлены на рис. 1. Распределения практически постоянны.

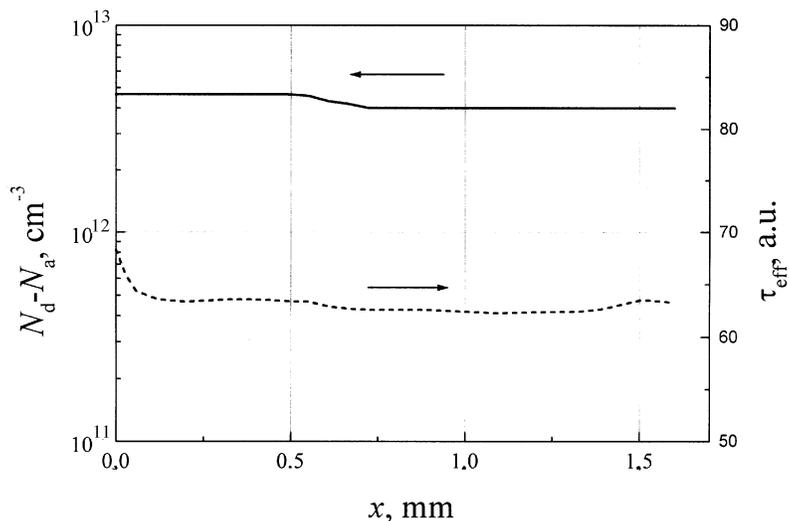


Рис. 1. Профили распределения $N_d - N_a$ и эффективного времени жизни неосновных носителей после ДСП геттерирования при 800°C , 0.5 h.

Слабое уменьшение $N_d - N_a$ на глубине больше $600\ \mu\text{m}$ связано с большой ошибкой измерения емкости из-за неравномерного травления в различных кристаллографических направлениях.

В случае ТО при 700°C — 0.25 h в обоих случаях ОСП и ДСП-геттерирования после плазменного удаления пленок Y с обеих сторон приповерхностный слой имеет n -тип проводимости с $n \simeq 10^{13} - 10^{14}\ \text{cm}^{-3}$. Толщина этого слоя составляла несколько μm , а на большей глубине концентрация снижалась до $10^{12}\ \text{cm}^{-3}$ и ниже, в зависимости от режима ТО (рис. 2). Из данных рис. 1 и 2 можно заключить, что геттерирование носит объемный характер даже при покрытии пластины с одной стороны пленкой Y. Однако непокрытая поверхность, по-видимому, также вносит свой собственный вклад в эффект геттерирования. Из рис. 2 видно, что распределение τ_{eff} также однородно по глубине при ТО, как при 700°C , так и при 800°C , и τ_{eff} на 30% больше при 700°C , чем при ТО 800°C . Выше приведенные результаты концентрационного распределения $N_d - N_a$ позволяют

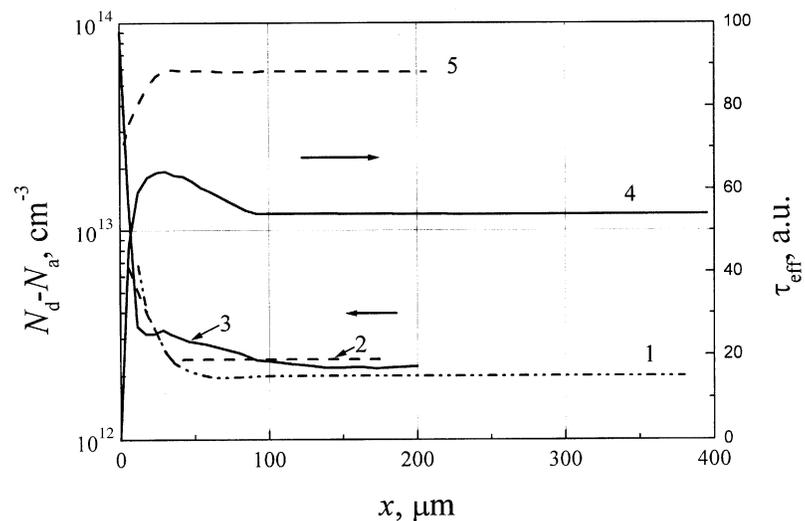


Рис. 2. Профили распределения $N_d - N_a$ и эффективного времени жизни неосновных носителей после ОСП геттерирования при 800°C , 0.5 h и при 700°C , 0.25 h: 1, 4 — 800°C с покрытой Y стороны; 2, 5 — 700°C с покрытой Y стороны; 3 — 800°C с непокрытой Y стороны.

предположить, что в процессе геттерирования происходит генерация дефектов-антиподов типа As_{Ga} и Ga_{As} , а также, возможно, собственных дефектов различного типа: V_{Ga} , V_{As} , I_{Ga} , I_{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 cm^{-3} [2].

5. Показано, что поверхностное геттерирование при ДСП и ОСП геттерировании носит объемный характер и может быть реализовано при достаточно низких температурах (700°C). Это позволяет получать высокоомные пластины GaAs с однородным распределением $N_d - N_a$ и τ_{eff} ННЗ по толщине до 1.5 mm. При этом подвижность электронов в GaAs может достигать $7000 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ при 300 K [3]. 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. Мездрогой за нанесение Y-пленок и Ю. Задиранову за их плазменное удаление.

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

Список литературы

- [1] *Гореленок А.Т., Крюков В.Л., Фурманов Г.П.* // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 13. С. 60
- [2] *Shmidt N., Gorelenok A., Emtsev V.* et al. // Solid State Phenomena. 1999. V. 69–70. P. 279.
- [3] *Власенко Л.С., Гореленок А.Т., Емцев В.В.* и др. // ФТП. 2001. Т. 35. В. 2. С. 184.
- [4] *Власенко Л.С., Гореленок А.Т., Емцев В.В.* и др. // Письма в ЖТФ. 2001. Т. 27. В. 1. С. 19.
- [5] *Markov A.V., Polyakov A.Y., Smirnov N.B.* et al. // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A. 2000. V. 439. P. 651.
- [6] *Reichman J.* // Appl. Phys. Lett. 1980. V. 36. N 7. P. 574.
- [7] *Андриевский В.Ф.* // Теория, методы и средства измерений и контроля параметров магнитных, полупроводниковых и диэлектрических материалов. Сборник. Новочеркасск, 2000. Ч. 4. С. 24.
- [8] *Андриевский В.Ф., Якименко Е.В., Муравицкий О.К.* А.с. 1611075 СССР, G 01 NL 27/22. Заявлено 23.03.89; Оpubл. 1.08.90.
- [9] *Zu C.* Физика полупроводниковых приборов / Пер. с англ. М.: Мир, 1984. Т. 1.