

06.1;11

Новое значение высоты потенциального барьера Ag–*n*–GaP

© А.Н. Пихтин, С.А. Тарасов, В. Kloth

С.-Петербургский государственный электротехнический университет (ЛЭТИ)

E-mail: ANPikhtin@mail.eltech.ru

Поступило в Редакцию 22 мая 2002 г.

Исследованы поверхностно-барьерные структуры Ag–GaP, изготовленные на основе эпитаксиальных слоев *n*-GaP высокого качества с $n = (0.5 \dots 30) \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Показано, что высота потенциального барьера зависит от способа обработки поверхности перед нанесением металла и коррелирует с коэффициентом неидеальности структуры и толщиной промежуточного слоя. Для структур высокого качества с обратными токами менее 10^{-14} A получено значение $\phi = 1.55 \pm 0.04 \text{ eV}$. Для структур со сравнительно толстым промежуточным слоем эта величина может достигать $\phi = 1.7 \pm 0.07 \text{ eV}$. Зависимость высоты барьера от метода обработки поверхности GaP связывается с отсутствием жесткого пиннинга уровня Ферми на поверхности фосфида галлия.

Поверхностно-барьерные структуры металл–фосфид галлия представляют заметный интерес технического применения, что связано прежде всего с большой шириной запрещенной зоны GaP (2.27 eV при 300 K) и его технологичностью. Если в кремниевых и арсенидгаллиевых *m*–*s* структурах высота потенциального барьера слабо зависит от типа металла [1], то для GaP-структур этого сказать нельзя. Принято считать, что наибольшей высотой потенциального барьера обладают структуры Pt–*n*-GaP (1.45 eV) и Au–*n*-GaP (1.36 eV), в то время как высота барьера Ag–*n*-GaP составляет 1.2 eV [2], а потому последний менее интересен для разработки различного рода электронных приборов, в том числе высокотемпературных приборов, приборов силовой электроники, коротковолновых фотоприемников (включая УФ-фотодиоды Шоттки) и т. п.

В настоящей работе мы доказываем, что вопреки устоявшемуся мнению высота потенциального барьера для структур Ag–*n*-GaP больше, чем для Pt–*n*-GaP, и потому они могут быть более предпочтительны для указанных выше применений.

Структуры $Me-GaP$ ($Me-Ag, Pt, Au$) создавались методом вакуумного напыления (Ag, Au), ионно-плазменным распылением (Pt) и магнетронным распылением (Pt, Ag) с предварительной ионной очисткой поверхности. Основные эксперименты были проведены на эпитаксиальных слоях $n-GaP$, выращенных методами жидкофазной или газофазной эпитаксии. Слои, как правило, легировались серой, иногда — теллуром, до концентрации свободных носителей заряда $(0.5 \dots 5) \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Омические контакты к базовой области создавались лазерной технологией [3] или вакуумным напылением золота по стандартной методике.

Длинноволновый край спектра фоточувствительности изготовленных структур хорошо описывался соотношением

$$\sqrt{I_{ph}} \sim (\hbar\omega - \varphi), \quad (1)$$

что указывало на возможность с высокой точностью определять высоту барьера φ , как это проиллюстрировано на рис. 1 для одного из образцов. Величина обратного тока достигала 10^{-14} A при $V = 1 \text{ V}$. Прямая ветвь вольт-амперной характеристики следовала экспоненциальной зависимости

$$I \sim \exp(eU/\beta kT) \quad (2)$$

при изменении тока в диапазоне до шести порядков для лучших образцов. Величина коэффициента неидеальности β зависела как от метода получения контакта, так и от способа обработки поверхности, изменяясь от 1.05 до 5. Мы предполагаем, это связано с наличием промежуточного слоя между металлом и полупроводником. Избежать появления такого слоя в большинстве реально используемых методов изготовления $m-s$ структур практически невозможно.

Для подтверждения сделанного предположения на ряде образцов, поверхность которых была обработана разными методами, были сняты Оже-спектры в процессе послыонного ионного травления атомами аргона на глубину до 35 nm. Анализ Оже-спектров показал, что образцы с предварительной химико-механической полировкой имели наиболее совершенную поверхность полупроводника с наименьшей толщиной промежуточного слоя около 3 nm. Структуры, поверхность которых была обработана другими методами, обладали промежуточным слоем толщиной 10 nm и более. Наблюдалась корреляция между толщиной промежуточного слоя, коэффициентом неидеальности β и величиной

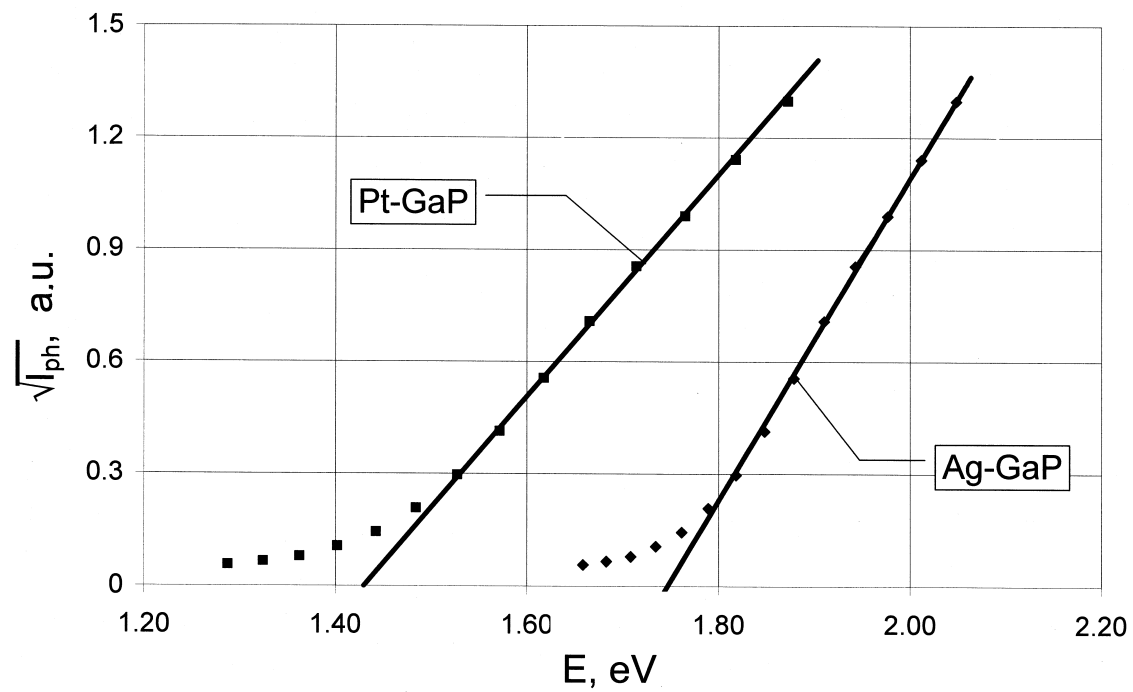


Рис. 1. Определение высоты потенциального барьера фотоэлектрическим методом.

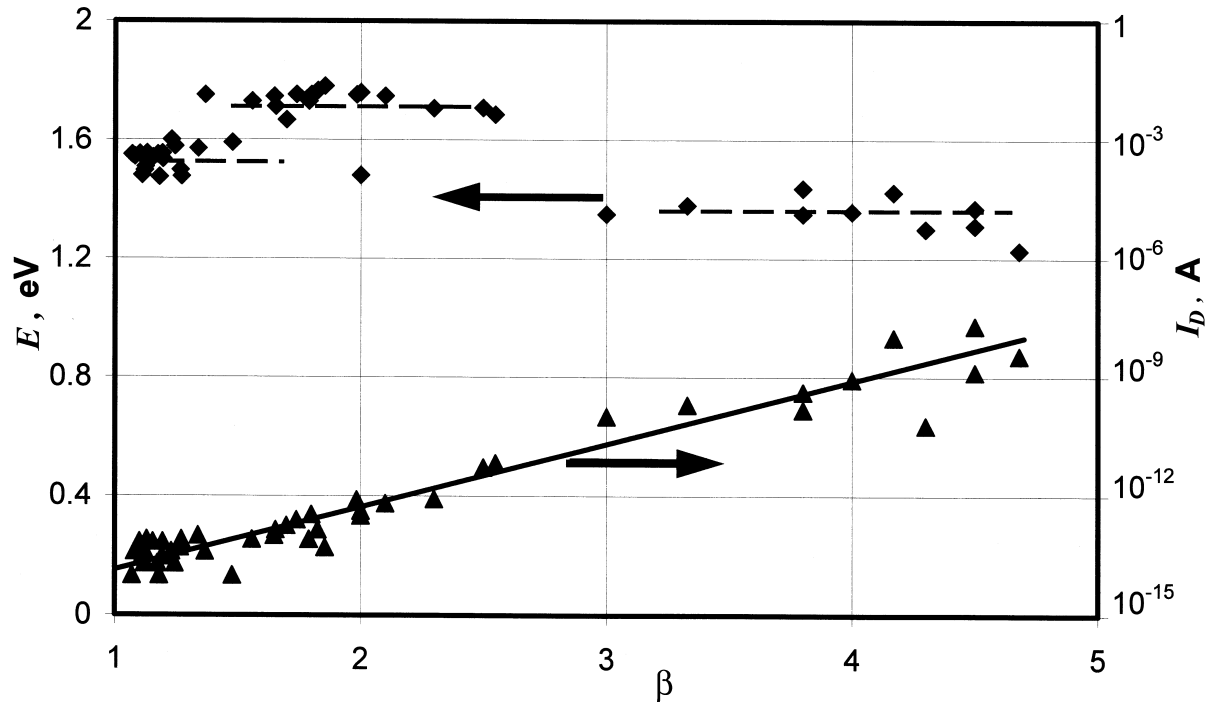


Рис. 2. Зависимость высоты потенциального барьера и обратного темного тока от коэффициента неидеальности.

обратного темнового тока. Наиболее качественными оказались структуры, поверхность которых была обработана химико-механической полировкой. Толщина промежуточного слоя для них составила менее 3 нм, коэффициент неидеальности $\beta = 1.1 \dots 1.2$. Для образцов, поверхность которых перед нанесением металла травилась в царской водке, толщина слоя составляла 3–5 нм и $\beta = 1.6 \dots 1.8$. Для образцов, изготовленных магнетронным распылением, коэффициент неидеальности достигал 3–5, а величины темновых токов 1 нА и более.

Было обнаружено, что высота потенциального барьера Ag–GaP зависит от технологии изготовления структуры и ее значение коррелирует с величиной коэффициента неидеальности, следовательно, с толщиной промежуточного слоя. Результаты соответствующих измерений сведены на рис. 2. С увеличением β отчетливо наблюдается рост обратного тока. Для высоты потенциального барьера наблюдаются три пятна, соответствующие трем различным методам обработки поверхности. Средние значения ϕ для них показаны на рис. 2 пунктирными линиями. Образцы, обработанные химико-механической полировкой, обладали коэффициентом неидеальности, близким к единице, и наименьшими темновыми токами на уровне 10 фА. Для них высота потенциального барьера контакта Ag–GaP составила 1.55 ± 0.04 eV.

Структуры с травленной поверхностью эпитаксиального слоя, вероятно, имели большее количество дефектов на границе металл–полупроводник, что явилось причиной увеличения обратных токов до 10^{-13} А. Высота барьера для них составила 1.7 ± 0.07 eV. Отличие значений ϕ для образцов с разными методами обработки, по нашему мнению, указывает на отсутствие жесткого пиннинга уровня Ферми на поверхности фосфида галлия.

Поскольку приведенные выше значения ϕ для Ag–GaP существенно отличаются от величины $\phi = 1.2$ eV, полученной более 30 лет назад и общепринятой вплоть до настоящего времени, то нами были проведены контрольные измерения на хорошо изученных контактах платина–фосфид галлия. По данным различных авторов высота потенциального барьера Pt–GaP составляет 1.45 eV [2–4]. Полученные нами значения (рис. 1) составили 1.45 ± 0.02 eV в полном соответствии с литературными данными.

Для структур с толстым промежуточным слоем, большим коэффициентом β и обратными токами 1 нА и более величина ϕ уменьшалась до 1.35 eV (третье „пятно“ на рис. 2). Структуры, изготовленные на

основе n-GaP с $n > (2 \dots 3) \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, обладали низким качеством, величина ϕ уменьшалась до $\approx 1.2 \text{ eV}$, что объясняет заниженные значения ϕ , полученные ранее.

Список литературы

- [1] *Chen Z., Kim W.* // J. Appl. Phys. 1994. V. 74. N 3. P. 3634.
- [2] *Зи С.* Физика полупроводниковых приборов: Пер. с англ. / Под ред. Сурица Р.А. М.: Мир, 1984.
- [3] *Пихтин А.Н., Попов В.А., Яськов Д.А.* // ПТЭ. 1970. Т. 2. С. 238.
- [4] *Царенков Б.В., Гольдберг Ю.А., Изергин А.П., Поссе Е.А., Равич В.Н., Рафиев Т.Ю., Сильвестрова Н.Ф.* // ФТП. 1972. Т. 6. № 4. С. 710.