

06:11  
©1993

## ЭЛЕКТРОННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ GaAs, МОДИФИЦИРОВАННОЙ ВАКУУМНЫМ УЛЬТРАФИОЛЕТОМ

*Б.И.Бедный, Д.А.Сухих, Е.А.Ускова*

Известно, что облучение вакуумным ультрафиолетом (ВУФ) является эффективным способом очистки поверхности полупроводников от углеродосодержащих загрязнений и активации химических реакций на границе с газовой фазой [1,2]. В недавних работах [3,4] сообщалось о модификации поверхности GaAs при ВУФ-обработке, что проявлялось в увеличении толщины и изменении химического состава поверхностного оксидного слоя. Такая модификация представляет интерес в связи с выяснением механизма закрепления уровня Ферми на окисленной поверхности GaAs и разработкой методов пассивации поверхности [5,6]. В настоящем сообщении представлены первые результаты исследования электронных свойств поверхности GaAs, подвергнутой ВУФ-обработке. Изучено влияние ультрафиолета на приповерхностный изгиб зон и захват неравновесных носителей заряда на поверхностные состояния (ПС).

Исследовали естественную поверхность роста гомоэпитаксиальных пленок  $n$ -GaAs ( $n \approx 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ), выращенных методом MOCVD на полуизолирующих подложках, ориентированных в плоскости (100). По данным эллипсометрии толщина слоя собственного оксида, образовавшегося при хранении образцов в обычной лабораторной атмосфере, составляла 1.8 нм. ВУФ-обработку проводили в потоке кислорода при комнатной температуре по методике, описанной в [3]. В качестве источника излучения использовали криптоновую лампу, имеющую основную линию излучения 123.6 нм. Плотность потока излучения составляла  $\sim 10^{15} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ , длительность обработки — 15 минут. При выбранном режиме ВУФ-обработки толщина оксидного слоя после облучения возрастала не более, чем на 0.5 нм.

Электронное состояние поверхности контролировали методами контактной разности потенциалов (зонд Кельвина), поверхностной фотоэдс и эффекта поля. Приповерхностный изгиб зон  $U_s$  определяли с помощью предложенной ранее фотоэлектрической методики, основанной на анализе зависимости барьерной фотопроводимости от фотопотенциала

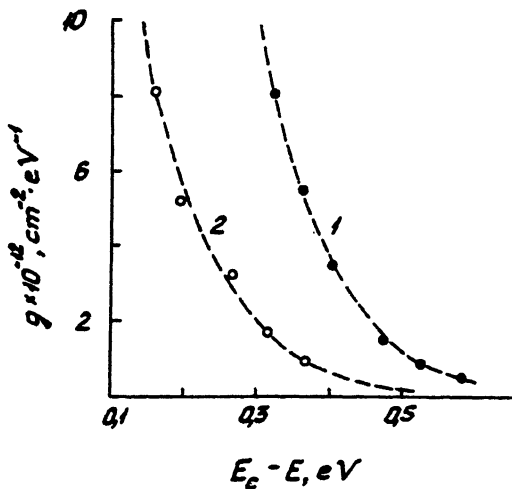


Рис. 1. Распределение плотности ПС по энергии.  
1 и 2 — до и после ВУФ-обработки соответственно. Пунктирные линии рассчитаны с помощью соотношения (1).

поверхности [7]. Энергетическое распределение быстрых ПС (время релаксации  $< 10^{-3}$  с) изучали с помощью измерений частотных характеристик малосигнального эффекта поля при различных значениях потенциала поверхности, который варьировали изменением интенсивности подсветки [8].

Основные закономерности влияния ВУФ-обработки на электронное состояние поверхности GaAs состоят в следующем.

1. **Уменьшение приповерхностного изгиба зон.** Величина  $U_s$  до облучения составляла (0.7–0.75) эВ, что соответствовало обычному закреплению уровня Ферми на поверхности вблизи середины запрещенной зоны [5,6]. ВУФ-обработка приводила к уменьшению  $U_s$  на  $\approx 0.3$  эВ, т.е. к откреплению уровня Ферми и его перемещению в верхнюю часть запрещенной зоны. Оценки  $\Delta U_s$  по величине изменения поверхностной проводимости пленок при ВУФ-обработке хорошо согласуются с результатами определения изгиба зон фотоэлектрическим методом.

Знак изменения контактной разности потенциалов указывал на уменьшение работы выхода под действием ВУФ-обработки, однако величина изменения контактного потенциала не превышала 0.1 В. Это свидетельствует о существенном ( $\approx 0.2$  эВ) изменении не только изгиба зон, но и эффективной энергии электронного средства, зависящей

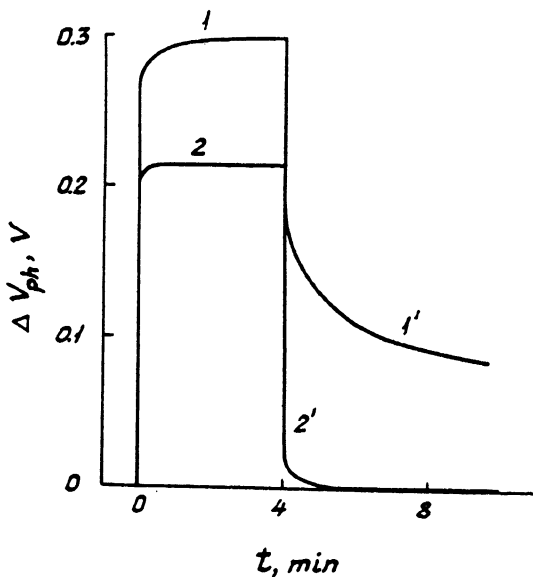


Рис. 2. Кинетика поверхностной фотоэдс.

1, 1' и 2, 2' — до и после ВУФ обработки соответственно.

от физико-химического состояния поверхностного оксидного слоя [9].

**2. Уменьшение плотности поверхностных состояний.** Распределение ПС по энергии в верхней части запрещенной зоны (рис. 1) описывалось экспоненциальным законом вида

$$g(E) = g_c \cdot \exp\left(\frac{E - E_c}{E_0}\right), \quad (1)$$

где  $g_c$  — эффективная плотность ПС у края зоны проводимости,  $E_0$  — характеристическая энергия распределения. Из рис. 1 видно, что ВУФ-обработка приводила к значительному расширению энергетического интервала с относительно низкой ( $\lesssim 10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{эВ}^{-1}$ ) плотностью ПС в глубине запрещенной зоны. Расчет показывает, что величина  $g_c$  уменьшалась от  $\approx 3 \cdot 10^{14}$  до  $\approx 4 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{эВ}^{-1}$ ). Существенного изменения параметра  $E_0$  не обнаружено (0.09 и 0.1 эВ до и после обработки соответственно).

**3. Уменьшение инерционности фотоотклика поверхностного барьера.** Особенностью фотоэдс на реальной (окисленной) поверхности широкозонных полупроводников  $A^3B^5$  является большая инерционность фотоотклика, связанная с фотостимулированным захватом неосновных носителей на ловушки, локализованные в объеме оксидного

слоя и на его поверхности [10,11]. Эта инерционность проявляется в наличии значительной медленной компоненты фотоэдс ( $\Delta V_{ph}$ ) в кинетике релаксации потенциала поверхности после фотовозбуждения (рис. 2). Как видно из рис. 2, ВУФ-обработка приводила к подавлению медленной компоненты фотоэдс и уменьшению времени релаксации на  $\approx 2$  порядка.

Полученные результаты свидетельствуют об уменьшении концентрации электрически активных дефектов, ответственных за формирование системы поверхностных центров захвата и закрепление уровня Ферми на поверхности GaAs. Отметим, что эффект открепления уровня Ферми обнаружен нами и при исследовании поверхностно-барьерных структур Al/GaAs. Методами  $I-V$  и  $C-V$  характеристик установлено, что предварительная (до напыления металла) ВУФ-обработка поверхности GaAs приводит к уменьшению высоты барьера Шоттки от (0.7–0.8)В до (0.45–0.55)В.\*

Анализ литературных данных [3,4,12], полученных методами Оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, показывает, что облучение ультрафиолетом значительно уменьшает количество элементного мышьяка и его полуторного окисла  $As_2O_3$  на поверхности GaAs. Состав поверхностного слоя после ВУФ-обработки в основном соответствует окислу галлия, а мышьяк присутствует в высшем окисленном состоянии  $GaAsO_4$  [3]. Такая реконструкция оксидного слоя является следствием его доокисления атомарным кислородом, возникающим над поверхностью подложки за счет фотодиссоциации молекул  $O_2$ . Выявленная корреляция химического состава и электронного состояния поверхности GaAs согласуется с существующими представлениями об определяющей роли As и  $As_2O_3$  в структурно-химическом разупорядочении поверхности GaAs и возникновении высокой плотности поверхностных состояний [5,13–15].

Таким образом, в результате проведенного исследования выявлено существенное улучшение электрофизических свойств поверхности GaAs(100) при облучении вакуумным ультрафиолетом. Дальнейшее всестороннее изучение эффекта ВУФ-пассивации представляется весьма перспективным для разработки методов управления состоянием поверхности полупроводников  $A^3B^5$ .

---

\* Верхние и нижние значения указанных интервалов получены  $I-V$  и  $C-V$  методами соответственно.

## Список литературы

- [1] Богданов А.Л., Валиев К.А., Великов Л.В., Душенков С.Д., Иванова М.И. // Микроэлектроника. 1989. Т. 18. № 6. С. 540-543.
- [2] Zhu X.Y., Huett T., Wolf M., White J.M. // Appl. Phys. Lett. 1992. V. 61. N 26. P. 3175-3177.
- [3] Айзенберг И.А., Апаршина Л.И. // Микроэлектроника. 1992. Т. 21. № 6. С. 22-26.
- [4] Валиев К.А., Великов Л.В., Пономарев А.Н., Рыжиков И.А., Федотов С.М. // Микроэлектроника. 1993. Т. 22. № 2. С. 50-52.
- [5] Spicer W.E., Newman N., Spindt C.J., Liliental-Weber Z., Weber E.R. // J. Vac. Sci. Technol. 1990. V. A8. N 3. P. 2084-2089.
- [6] Hasegawa H., Ishii H., Sawada T., Saitoh T., Konishi S., Liu Y., Ohno H. // J. Vac. Sci. Technol. 1988. V. B6. N 4. P. 1184-1192.
- [7] Бедный Б.И., Карпович И.А., Байдусь Н.В. // Поверхность. 1991. № 1. С. 94-97.
- [8] Бедный Б.И., Калинин А.Н., Карпович И.А., Савинов А.Н. Деп. ВИНТИ. № 5293-84.1984.
- [9] Ржанов А.В. Электронные процессы на поверхности полупроводников. М.: Наука, 1971. 480 с.
- [10] Бедный Б.И., Карпович И.А., Савинов А.Н. // Поверхность. 1988. № 4. С. 83-87.
- [11] Бедный Б.И., Карпович И.А., Савинов А.Н. // Поверхность. 1989. № 11. С. 92-97.
- [12] Галицын Ю.Г., Петренко И.П., Свешникова С.Н. // Поверхность. 1987. № 11. С. 51-58.
- [13] Lucowsky G.A. // J. Vac. Sci. Technol. 1981. V. 19. N 3. P. 456-462.
- [14] Сазонов С.Г. Новые материалы электронной техники. Новосибирск: Наука, 1990.
- [15] Kircher P.D., Warren A.C., Woodal J.M., Wilmsen C.W., Wright S.L., Baker J.M. // J. Electrochem. Soc.: Sol. St. Sci. Technol. 1988. V. 135. N 7. P. 1822-1824.

Нижегородский государственный  
университет им.Н.И.Лобачевского

Поступило в Редакцию  
20 июля 1993 г.