

## ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА И ГЛУБОКИХ УРОВНЕЙ В ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЕ НА ВОЛЬТ-ФАРАДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МДП СТРУКТУР НА АРСЕНИДЕ ИНДИЯ

© *Н.А.Корнюшкин, Н.А.Валишева, А.П.Ковчавцев, Г.Л.Курышев*

Институт физики полупроводников Сибирского отделения

Российской академии наук,

630090 Новосибирск, Россия

(Получена 27 апреля 1995 г. Принята к печати 3 октября 1995 г.)

Показано, что добавление в электролит при анодном окислении InAs ионов фтора позволяет получать совершенную границу раздела в системе InAs-анодный окисел-SiO<sub>2</sub>-In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Сравнением экспериментальных вольт-фарадных характеристик таких структур с расчетными впервые показано, что в запрещенной зоне InAs присутствуют глубокие уровни с концентрацией  $\sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$ .

Структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП) на арсениде индия используются в качестве активных элементов фотоприемных устройств на диапазон спектра  $\lambda_c \leq 3.1 \text{ мкм}$ . В связи с этим исследование электрофизических свойств таких структур представляет значительный практический интерес. В настоящем сообщении приводятся результаты исследования вольт-фарадных характеристик (ВФХ) МДП структур, изготовленных на эпитаксиальных слоях InAs с использованием двухслойного диэлектрического покрытия: а) тонкого слоя собственного окисла ( $d \sim 100 \text{ \AA}$ ), полученного методом анодного окисления (АО), и б) толстого слоя ( $d \sim 1000 \text{ \AA}$ ) внешнего диэлектрика (слой низкотемпературной двуокиси кремния).

Установлено, что добавление в электролит при анодном окислении InAs ионов фтора, позволяет существенно улучшить свойства границы раздела InAs-диэлектрик. Действительно, как видно из данных, приведенных на рис. 1, наблюдается радикальное различие в свойствах границы раздела МДП структур с АО, полученном в безфторном электролите, и АО, полученным во фторсодержащем электролите. Так, для образцов с АО, выращенным в безфторном электролите, характерно наличие больших величин положительно встроенного заряда и плотности поверхностных состояний (ПС), что проявляется в сдвиге ВФХ в область отрицательных смещений 15–20 В, частотной дисперсии ВФХ, наличии пика ПС на зависимостях активной компоненты

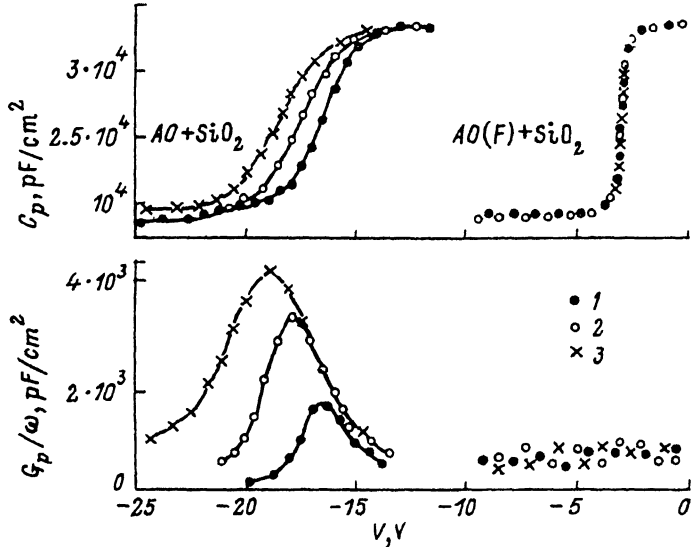


Рис. 1. Зависимость активной ( $G_p/\omega$ ) и реактивной ( $C_p$ ) компонент проводимости МДП структур на InAs с двойным диэлектрическим слоем, полученным в разных режимах. Частота измерения  $f$  Гц: 1 —  $5 \cdot 10^5$ , 2 —  $5 \cdot 10^4$ , 3 —  $5 \cdot 10^3$ . Измерения проведены при температуре жидкого азота.

проводимости от напряжения  $G_p/\omega - V$ . Оценка плотности ПС по величине пика на кривых  $G_p/\omega - V$  дает значение  $\sim 3 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2} \cdot \text{эВ}^{-1}$ .

В то же время в образце с АО, выращенным во фторосодержащем электролите, величина встроенного заряда значительно меньше (напряжение плоских зон  $\sim -3$  В), отсутствует частотная дисперсия емкости, а величина пика ПС на зависимости  $G_p/\omega - V$  меньше предела чувствительности установке ( $N_{ss} \leq 2 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2} \cdot \text{эВ}^{-1}$ ).

С точки зрения исследования электрофизических свойств, получение совершенной границы раздела в системе InAs-АО(Фтор)-SiO<sub>2</sub> представляет значительный интерес, так как позволяет определить ряд физических параметров МДП структуры методом сравнения экспериментальных и расчетных ВФХ. Вместе с тем, как это видно из рис. 2, если при вычислениях характеризовать область пространственного заряда (ОПЗ) полупроводника только величиной концентрации легирующей примеси (концентрация доноров  $N_d = 4.5 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$  в нашем случае), то совпадения с экспериментальными данными удастся достичь лишь при электрических смещениях, обедняющих и обогащающих поверхность полупроводника. В связи с этим был проведен расчет высокочастотной ВФХ в предположении, что вблизи середины запрещенной зоны InAs имеются глубокие энергетические уровни (ГУ) с концентрацией, сравнимой по величине с концентрацией основной легирующей примеси.

При проведении расчета мы рассматривали три варианта, связанные с различными возможностями при взаимодействии носителей заряда на ГУ с зонами делокализованных состояний при высокой частоте изменения переменного напряжения (предполагая равновесное заполнение ГУ при постоянном смещении). Глубокие уровни могут успевать

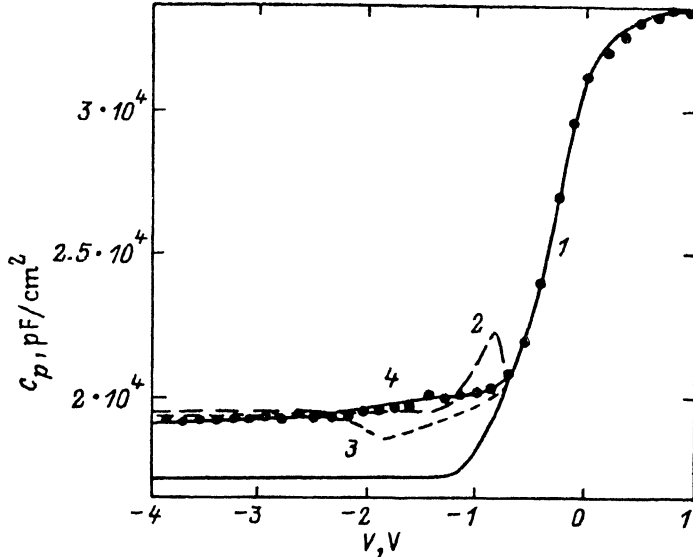


Рис. 2. Экспериментальная (точки) и расчетные (кривые 1-4) высокочастотные вольт-фарядные характеристики МДП структур на InAs. Частота измерения  $f = 5 \cdot 10^5$  Гц, температура 78 К, темнота. 1 — расчет для полупроводника с концентрацией доноров  $N_d = 4.5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ; концентрация глубоких уровней  $N_t = 0$ . 2 —  $N_d = 4.5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ;  $N_t = 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ , ГУ взаимодействуют с зоной проводимости. 3 —  $N_d = 4.5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ;  $N_t = 3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ , ГУ взаимодействуют с валентной зоной. 4 —  $N_d = 4.5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ;  $N_t = 10^{17} \text{ см}^{-3}$ , ГУ не взаимодействуют ни с одной из зон на частоте переменного сигнала.

изменять свое зарядовое состояние с частотой переменного сигнала за счет взаимодействия с носителями заряда в валентной зоне или в зоне проводимости полупроводника, либо не успевают изменить зарядовое состояние за период изменения переменного напряжения.

В то же время, как видно из данных, приведенных на рис. 2, результаты расчета в трех рассмотренных вариантах радикально отличаются как по форме полученных ВФХ, так и по выводам о концентрации глубоких уровней в запрещенной зоне арсенида индия, сделанным по величине емкости МДП структуры в режиме сильной инверсии на поверхности. Поскольку оценки показывают, что в условиях эксперимента (измерения при температуре жидкого азота в темноте) реализуется вариант отсутствия взаимодействия ГУ и зон на высокой частоте, а также из совпадения форм экспериментальной и расчетной ВФХ для этого случая, можно сделать важный практический вывод: вблизи середины запрещенной зоны арсенида индия присутствуют глубокие уровни с высокой концентрацией ( $N_t \sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ), которые должны в значительной степени определять такое важное свойство активного элемента фотоприемного устройства, как скорость генерации неосновных носителей заряда при неравновесном обеднении поверхности полупроводника.

Редактор В.В. Чалдышев

# The influence of interface properties and deep levels in the band gap on capacitance-voltage characteristics of InAs-based Metal-Insulator-Semiconductor structures

*N.A. Kornushkin, N.A. Valisheva, A.P. Kovchavtsev, G.L. Kuryshv*

Institute of Semiconductor Physics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,  
630090 Novosibirsk, Russia

It is shown that an addition of fluorine ions into the electrolyte during anodization of InAs makes it possible to obtain interfaces having low density of surface in InAs-anodic oxide-SiO<sub>2</sub>-In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> system. By comparison of calculated capacitance-voltage characteristics of the system with the experimental ones, it has been shown for the first time that in InAs band gap there are high concentrations ( $\geq 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ) of deep levels.

---