

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

ЭЛЕКТРОННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ InP,
МОДИФИЦИРОВАННОЙ ОБРАБОТКОЙ В ПАРАХ СЕРЫ

Б. И. Бедный, Л. А. Суслов, Н. В. Байдусь, И. А. Карпович

Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, 603600, Нижний Новгород, Россия

(Получено 14.01.1992. Принято к печати 16.01.1992)

Известно, что при химической обработке фосфида индия в сульфидных растворах на его поверхности образуется сверхтонкий (приблизительно монокристаллический) слой In_2S_3 , существенно влияющий на характеристики и параметры ряда полупроводниковых приборов [1, 2]. В работах [3-5] сообщалось о возможности формирования относительно толстых (≈ 10 нм) сульфидных слоев на поверхности $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ с помощью термического отжига полупроводника в парах серы. Согласно [3, 4], при отжиге фосфида индия образуется слой In_2S_3 . Введение такого слоя в структуру МДП транзистора перед нанесением двуокиси кремния приводит к значительному увеличению крутизны стоко-затворных характеристик [4]. Для получения информации о зарядовом состоянии и электронной структуре сульфидированной в парах серы поверхности InP в настоящей работе исследованы поверхностная фотоэдс в структуре $\text{InP}-\text{In}_2\text{S}_3$ и вольт-фарадные характеристики (ВФХ) МДП структур $\text{Al}-\text{SiO}_2-\text{In}_2\text{S}_3-\text{InP}$.

Для получения сульфидного слоя монокристаллические пластины $n\text{-InP}$ (111) с концентрацией электронов $\sim 3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ отжигались в кварцевых ампулах в течение 4 ч при температуре $\sim 270^\circ\text{C}$ и давлении паров серы ~ 2 Па. По данным эллипсометрии, толщина сульфидного слоя составляла ~ 20 нм, показатель преломления на длине волны $\lambda = 632.8$ нм ~ 2.1 , что согласуется с данными работы [4]. Для получения МДП структур на сульфидированную поверхность плазмохимическим методом при температуре $\sim 250^\circ\text{C}$ наносился слой SiO_2 толщиной $120 \div 150$ нм. Поверхностную фотоэдс измеряли методом динамического конденсатора. Измерения ВФХ проводили в интервале частот зондирующего сигнала $10^3 \div 10^6$ Гц.

На рис. 1 показаны спектральные характеристики конденсаторной фотоэдс в структуре $\text{InP}-\text{In}_2\text{S}_3$. Кривая 1 получена при неравномерном (естественном) распределении интенсивности излучения на выходе монохроматора, которая возрастает от $\sim 10^{10} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ при $\lambda = 0.4$ мкм до $\sim 10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ при $\lambda = 0.9$ мкм. Кривая 2 приведена к постоянной интенсивности $10^{10} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ и характеризует относительное спектральное распределение fotocувствительности.

Длинноволновая граница fotocувствительности при $\lambda = 0.9$ мкм соответствует ширине запрещенной зоны InP и, очевидно, определяется возникновением фотоэдс на поверхностном барьере в InP под слоем In_2S_3 . В отличие от свободной поверхности InP, покрытой слоем собственного оксида, на которой наблюдалась

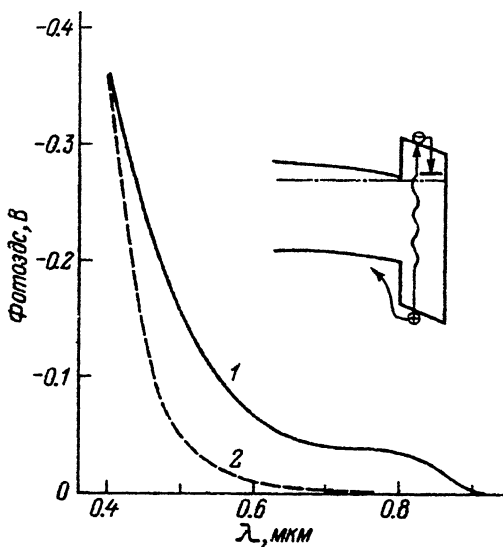


Рис. 1. Спектры поверхностной фотоэдс в структуре InP—In₂S₃ при естественном спектральном распределении интенсивности монохроматора (1) и при фиксированной интенсивности излучения (2). На вставке — энергетическая зонная диаграмма структуры InP—In₂S₃.

значительная положительная фотоэдс 0.2÷0.3 В, свидетельствующая о наличии на поверхности обедненного слоя, на поверхности, покрытой In₂S₃, возникала отрицательная фотоэдс, величина которой не превышала 0.04 В. Это указывает на изменение направления начального изгиба зон, т. е. на образование обогащенного слоя. С учетом положения уровня Ферми на свободной поверхности InP [6] такое изменение состояния поверхности соответствует перемещению уровня Ферми по крайней мере на 0.5 эВ. Заметим, что на поверхности InP, сульфидированной с помощью химической обработки в растворе, сохраняется характерное для реальной поверхности состояние обеднения [7].

Сильный рост фотоэдс при $\lambda < 0.6$ мкм связан с поглощением излучения в слое In₂S₃. Оценка ширины запрещенной зоны по спектру фотоэдс дает значение 2.1÷2.3 эВ, согласующееся с данными, полученными оптическими методами для пленок и монокристаллов In₂S₃ [8, 9]. Характерной особенностью фотоэдс в коротковолновой части спектра является большая длительность процесса релаксации потенциала поверхности после освещения (~10 мин). Время релаксации уменьшалось приблизительно на порядок при подсветке излучением с энергией фотонов, меньшей ширины запрещенной зоны In₂S₃. Этот результат свидетельствует об участии в возникновении фотоэдс глубоких центров в сульфиде индия.

Возникновение большой отрицательной фотоэдс при поглощении света в слое In₂S₃ можно объяснить тем, что из-за захвата фотоэлектронов на глубокие центры в In₂S₃ в объем InP инжектируются преимущественно фотодырки (см. вставку на рис. 1), т. е. происходит фотостимулированное накопление отрицательного заряда в In₂S₃. Отметим, что знак фотоэдс при этом непосредственно не связан со знаком начального изгиба зон в InP, и в этом отношении предлагаемый механизм аналогичен механизму фотоэдс поверхностного прилипания [10]. Медленная релаксация потенциала поверхности после освещения обусловлена инерционностью процесса термоионизации глубоких центров, а ее ускорение при подсветке из области примесного поглощения In₂S₃ — дополнительной фотоионизацией этих центров.

На рис. 2 показаны типичные ВФХ МДП структур, измеренные на частоте 10⁶ Гц. Видно, что введение в МДП структуру подслоя In₂S₃ приводит к сдвигу

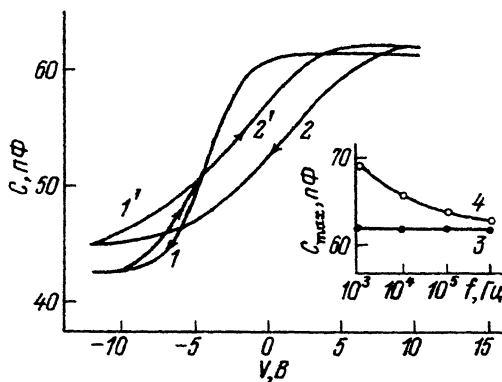


Рис. 2. Вольт-фарадные характеристики структур $\text{Al-SiO}_2\text{-In}_2\text{S}_3\text{-InP}$ (1, 1') и $\text{Al-SiO}_2\text{-InP}$ (2, 2'). На вставке — частотные зависимости максимальной емкости структур $\text{Al-SiO}_2\text{-In}_2\text{S}_3\text{-InP}$ (3) и $\text{AlSiO}_2\text{-InP}$ (4).

характеристик в области отрицательных напряжений, увеличению крутизны ВФХ, подавлению частотной дисперсии емкости и уменьшению гистерезисных эффектов. Расчеты начального изгиба зон в InP и эффективной плотности поверхностных состояний (метод Термана [11]) показали, что в InP имеется изгиб зон вниз по энергии на ~ 0.1 эВ, и уровень Ферми на границе раздела $\text{InP-In}_2\text{S}_3$ практически совпадает с дном зоны проводимости InP . Энергетический спектр поверхностных состояний имеет характерный U -образный вид с минимальной плотностью состояний $4 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2} \cdot \text{эВ}^{-1}$ при энергии $E_c = 0.26$ эВ. В контрольных структурах (без In_2S_3) их плотность в минимуме составляла $\sim 3 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{эВ}^{-1}$, т. е. была почти на порядок выше.

Таким образом, можно заключить, что слой собственного сульфида на поверхности InP обеспечивает лучшее структурно-химическое сопряжение полупроводника с диэлектриком в МДП структуре, чем слой собственного оксида.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Wilmsen C. W., Geib K. M., Shin J., Iyer R., Lile D. L., Pouch J. J. // *J. Vac. Sci. Techn.* 1989. V. B 7. N 4. P. 851—853.
- [2] Iyer R., Chang R. R., Lile D. L. // *Appl. Phys. Lett.* 1988. V. 53. N 2. P. 134—136.
- [3] Descouts B., Durand J., Cot L., Post G., Scavenes A. // *Thin Sol. Films.* 1985. V. 131. P. 139—141.
- [4] Dimitrov P., Post G., Scavennes A., Duhamel N., Lorans M. // *Physica.* 1985. V. 129B. P. 399—402.
- [5] Сысоев Б. И., Безрядин Н. Н., Буданов А. В., Шлык Ю. К. // *Микроэлектрон.* 1990. Т. 19. В. 6. С. 591—594.
- [6] Бедный Б. И., Карпович И. А., Байдусь Н. В. // *Поверхность.* 1991. № 1. С. 94—97.
- [7] Бедный Б. И., Байдусь Н. В., Белич Т. В., Карпович И. А. // *ФТП.* 1992. Т. 26. В. 8. С. 1383—1389.
- [8] Семенов В. Н. // *ЖНХ.* 1991. Т. 36. В. 3. С. 591—596.
- [9] Мушинский В. П., Караман М. И. *Оптические свойства халькогенидов галлия и индия.* Кишинев, 1973. 79 с.
- [10] Саченко А. В., Снитко О. В. *Фотоэффекты в приповерхностных слоях полупроводников.* Киев, 1984. 332 с.
- [11] Terman L. M. // *Sol. St. Electron.* 1962. V. 5. N 3. P. 285—297.

Редактор: Л. В. Шаронова