

- [3] Colligon J.S. - Mater. Sci. Eng., 1985, v. 69, p. 67-73.
- [4] Colligon J.S., Hill A.E. - Vacuum, 1985, v. 35, N 10-11, p. 508-509.
- [5] Colligon J.S., Hill A.E., Kheyrandi N. - Vacuum, 1984, v. 34, N 10-11, p. 843-846.

Каунасский политехнический институт им. А. Снечкуса

Поступило в Редакцию 19 июля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 21 12 ноября 1988 г.

### УПРАВЛЕНИЕ ФИКСАЦИЕЙ УРОВНЯ ФЕРМИ В МДП-СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ФОСФИДА ИНДИЯ

Т.О. Попова, С.Г. Сазонов,  
Е.Б. Соколов, Л.Н. Кравченко

Спонтанное закрепление и неконтролируемое изменение положения уровня Ферми (УФ) обнаружено ранее в условиях сверхвысокого вакуума в основном при адсорбции металлов на поверхности АШВУ [1, 2] и покрытиях порядка одного монослоя. Для систем с естественной границей раздела (ГР), образованной обычно полупроводником и его сверхтонким оксидом (СО), закрепление УФ наблюдалось как неизбежный, свершившийся факт. Поскольку свойства ГР и сверхтонкого СО на АШВУ закладываются на самой начальной стадии роста оксида [3], то они должны в значительной степени зависеть от характера и типа предварительной обработки поверхности полупроводника.

При создании МДП-полевых транзисторов с оптимальными рабочими параметрами на основе  $InP$  нами было использовано пять типов предобработок поверхности фосфида индия. Для контролируемого формирования ГР и подзатворного диэлектрика использовалось анодное окисление (АО) фосфида индия полужолирующего типа в неводных электролитах при оптимальных значениях параметров процесса АО. Структуры с СО отжигались в атмосфере фосфина. Состав СО анализировался методом электронной Оже-спектроскопии (ЭОС) в сочетании с послойным ионным травлением при использовании внешних эталонов и с учетом коэффициентов элементной чувствительности на Оже-электронном спектрометре "LAS-2200". Снимались ВФХ и ВАХ тестовых МДП-структур как при 300 К, так и при 77 К.

Ранее в [3] показано, что в сверхтонких слоях СО на  $InP$  относительное содержание  $In$  и  $P$  зависит от технологических факторов формирования оксида - плотности тока АО, содержания воды в электролите, формирующего напряжения и др. В

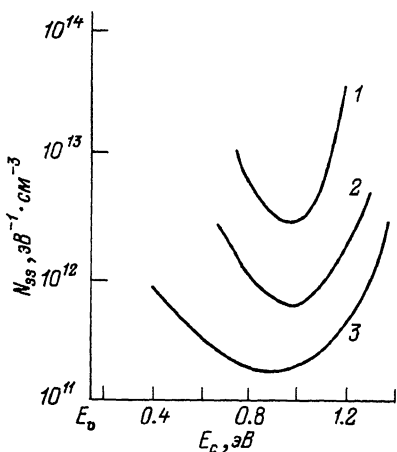


Рисунок. Распределение плотности ПС в зависимости от типа предварительной обработки поверхности фосфида индия. 1 - обработка I (пояснения к таблице), 2 - обработка Ш, 3 - обработка У.

настоящей работе изучалось поведение параметров ГР фосфид индия - СО: плотность поверхностных состояний (ПС) -  $N_{ss}(E)$ ,  $\min N_{ss}$ ,  $Q_{ox}$  - заряд в оксиде и соответствующее этому изменение состава СО в зависимости от типа предварительной обработки поверхности фосфида индия.

Оказалось, что в зависимости от типа предобработки изменяется соотношение основных и примесных компонент в сверхтонком слое СО (см. табл.). Так, обработкам Ш и У соответствуют минимальная концентрация углерода и повышенное содержание фосфора в остаточном слое оксида на поверхности  $InP$ . Относительное содержание  $C/In$  для предобработок Ш и У тоже значительно отличается в случае применения других типов предобработок. Соответственно меняется и характер распределения плотности ПС по запрещенной зоне  $InP$ , а именно: падает плотность ПС в минимуме  $N_{ss}(E)$  - зависимости и существенно расширяется диапазон сканирования запрещенной зоны по потенциалу (см. рисунок). Нетрудно заметить, что уменьшению плотности ПС отвечает падение концентрации С и О и одновременное увеличение относительного содержания  $P/In$  (см. табл.). Последнее является достаточным аргументом для обоснования необходимости отжига структур со сверхтонким СО в атмосфере фосфина с целью стабилизации оптимальных электрофизических свойств ГР фосфид индия - собственный оксид. Учитывая, что основной состав СО отвечает формуле ортофос-

## Т а б л и ц а

Собственный и примесный состав  $CO$  после обработки поверхности пластин  $InP$  по результатам ЭОС

Обра- ботка	Отношение высот Оже-пиков					Концентрация $10^{15} \text{ см}^{-2}$	
	$P_1/In$	$P_2/In$	$O/In$	$C/In$	$O/C$	$C$	$O$
I	0.24	0.15	0.35	0.54	0.7	0.87	1.3
II	0.49	0.17	0.29	0.31	0.9	0.51	0.98
III	0.54	0.13	0.22	0.09	2.7	0.12	0.69
IV	0.57	0.15	0.26	0.14	1.9	0.19	0.73
V	0.55	0.14	0.23	0.08	1.7	0.09	0.52

I - химико-динамическая полировка в травителе типа CP-4 (ХДП); II - ХДП + плазменно-химическая обработка в смеси (фреон + кислород) - ПХО; III - ПХО + обработка в кислотном травителе на основе HF и в перекисно-кислотном - на основе  $H_2SO_4$ ; IV - то же, что и III, но без ПХО; V - ПХО + перекисно-кислотная обработка в травителе на основе (HCl + HF) с последующей химической обработкой в аммиачно-кислотном травителе (на основе органической кислоты).

фата ( $InPO_4$ ) и то, что фосфаты не имеют отдельных электронных пар, могущих выступать в качестве зарядовых центров, становится понятной роль фосфора, „стехиометризирующего“ собственный оксид до структурно устойчивого тетраэдра - фосфатной группы  $PO_4$ . Однозначно определить роль углерода на основании имеющихся данных пока не представляется возможным, однако следует отметить, что углерод на поверхности  $InP$  является центром, создающим ПС донорного или акцепторного типа.

В результате проведенных исследований был выбран оптимальный режим предобработки поверхности фосфида индия - V, что позволило существенно расширить диапазон изменения поверхностного потенциала  $\psi_s$  от  $\sim 0.2$  эВ (без обработки), до  $0.65-0.85$  эВ (III и V - предобработки) (см. рисунок) и снизить минимальное значение плотности ПС до  $(1-3) \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$  эВ $^{-1}$ .

Таким образом, в данной работе впервые не в условиях сверхвысокого вакуума продемонстрирована возможность управления положением уровня Ферми в МДП-системах на поверхности фосфида индия с помощью изменения характера и типа предобработок поверхности  $InP$ .

- [1] L i n d a u I., C h u e P.W., G a r n e r C.M. et al. - J. Vac. Sci. Technol., 1978, 15(4), p. 1332.
- [2] S t a i r K.A., C h u n g V. - J. Appl. Surf. Sci., 1986, 26, p. 381.
- [3] С а з о н о в С.Г., Л е в и н Д.М. - Письма в ЖТФ, 1985, т. II, с. 1208.
- [4] L u s o w s k y G. - J. Vac. Sci. Technol., 1981, 19(3), p. 456.

Поступило в Редакцию  
3 июля 1988 г.  
В окончательной редакции  
28 августа 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 21 12 ноября 1988 г.

### ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ВЧ ПОВЕРХНОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ КЕРАМИКИ

$Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$

О.Г. Вендик, М.М. Гайдук,   
И.Э. Грабой, А. Карпюк, А.Р. Кауль,   
Л. Ковалевич, А.Б. Козырев,   
С.Г. Колесов

Для керамики  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  с  $\rho \approx 10^2$  мкОм·см проведены измерения поверхностного сопротивления  $R_{\Pi}$  на частотах 37 МГц и 60 ГГц. Получены зависимости  $R_{\Pi}$  от постоянного магнитного поля. Предполагается, что механизм ВЧ потерь определяется джозефсоновскими свойствами межгранульных контактов.

Несмотря на большое количество публикаций по ВТСП практически отсутствуют сведения о поверхностном сопротивлении  $R_{\Pi}$  ВТСП в ВЧ-СВЧ диапазонах в присутствии внешнего постоянного магнитного поля. В настоящей работе в интервале  $T = \{4,2-300\}$  К получены зависимости  $R_{\Pi}(T)$  на частотах 37 МГц и 60 ГГц для объемных керамик  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  с  $\rho = 10^2$  мкОм·см.

На частотах 37 МГц и 60 ГГц при  $T = 4,2$  К получены зависимости  $R_{\Pi}$  от величины плотности магнитного потока  $B_3$ , захваченного керамикой в процессе охлаждения во внешнем постоянном магнитном поле  $B_0$ . На частоте 37 МГц при  $T = 4,2$  К получены также зависимости  $R_{\Pi}$  от амплитуды ВЧ магнитного поля  $B_{\sim}$  при различных значениях  $B_3$ . Образцы керамики были приготовлены методом совместного осаждения из растворов нитратов [1] и обладали  $T_c \sim 94$  К,  $\Delta T_c \sim 1,5$  К,  $R_{300}/R_{100} \sim 2,5$ .