

ОТСУТСТВИЕ ЗАКРЕПЛЕНИЯ УРОВНЯ ФЕРМИ НА ПОВЕРХНОСТИ p -GaAs(100) ПРИ АДСОРБЦИИ ЦЕЗИЯ И КИСЛОРОДА

В.Л.Альперович, А.Г.Паулиш, А.С.Терехов, А.С.Ярошевич

*Институт физики полупроводников, Сибирское отделение РАН,
630090, Новосибирск*

Поступила в редакцию 5 февраля 1992 г.

Обнаружена возможность управления величиной изгиба зон и скоростью поверхностной рекомбинации при нанесении цезия и кислорода на поверхность p -GaAs (100) при $T = 300$ К, свидетельствующая об отсутствии закрепления (пиннинга) уровня Ферми состояниями дефектов.

В данной работе обнаружено, что в условиях, когда адсорбция сопровождается химическими реакциями, поочередное нанесение цезия и кислорода на атомарно чистую поверхность p -GaAs (100) приводит к многократному обратимому переключению величины поверхностного потенциала от плоских зон до половины ширины запрещенной зоны. Это означает, что изгиб зон в системе GaAs (Cs, O) определяется зарядом не на поверхностных дефектах^{1,2}, а на состояниях, индуцированных электроположительными и электроотрицательными адатомами³⁻⁵.

В эксперименте использовался слой p -GaAs:Ge с концентрацией дырок $p = 1,5 \cdot 10^{17}$ см⁻³, выращенный методом жидкофазной эпитаксии на подложке из полужизолирующего GaAs (100). Методика приготовления атомарно чистой поверхности включала обработку раствором HCl в изопропиловом спирте, приводящую к удалению окислов и обогащению поверхности мышьяком, перегрузку (без контакта с лабораторной атмосферой) в сверхвысоковакуумную установку и последующую термоочистку⁶. Цезий и кислород наносились из источников канального типа термическим разложением хромата цезия и перекиси бария. Измерялись спектры фотоотражения $\Delta R/R$ ^{7,8} и интегральная интенсивность фотолюминесценции $I_{\text{фл}}$, зависящие от изгиба зон φ_s и скорости поверхностной рекомбинации v_s .

На рис.1 показаны спектры фотоотражения поверхности p -GaAs после термоочистки в сверхвысоком вакууме и последующего нанесения цезия и кислорода. Из рисунка видны значительные немонотонные изменения как амплитуды, так и формы спектров. Нанесение цезия увеличивает, а кислорода - уменьшает период осциллирующий Франца-Келдыша, что свидетельствует о соответствующих изменениях приповерхностного электрического поля F_s ^{7,8}. Кроме того, при нанесении цезия на коротковолновом крыле основного пика фотоотражения появляется особенность в виде плеча при $\hbar\omega = 1,45$ эВ (указанная на рис.1 стрелкой), исчезающая после достаточно большой экспозиции кислорода ($> 1L$). Величина F_s определялась известным способом по положениям экстремумов осцилляций⁷. Изгиб зон φ_s рассчитывался в модели Шоттки по F_s и p , с учетом того, что, согласно⁸, по положениям экстремумов определяется максимальное поле в области пространственного заряда.

На рис.2 показана эволюция изгиба зон φ_s и интенсивности фотолюминесценции $I_{\text{фл}}$ при последовательном нанесении цезия и кислорода. После термоочистки $\varphi_s = 0,35$ В. Нанесение цезия приводит к росту и насыщению (при $\theta \geq 0,2$ ML) изгиба зон на уровне $\varphi_s \approx 0,65$ В, а последующее

нанесение O_2 уменьшает φ_s до 0,25 В. Интенсивность фотолюминесценции, напротив, уменьшается при нанесении цезия и увеличивается при нанесении кислорода. При дальнейшем поочередном нанесении цезия и кислорода мы обнаружили многократные обратимые переключения φ_s и $I_{фл}$, показанные на рис.3. Подобная эволюция изгиба зон наблюдалась ранее на сколах p -GaAs (110) и только при низких температурах, когда химические реакции с образованием дефектов подавлены^{4,5}. Амплитуда переключений не уменьшается вплоть до шестого цикла. Начиная с третьего цикла после нанесения кислорода наблюдаются практически плоские зоны; остаточный изгиб зон не превышает $\varphi_s \cong 0,07 \pm 0,02$ В.

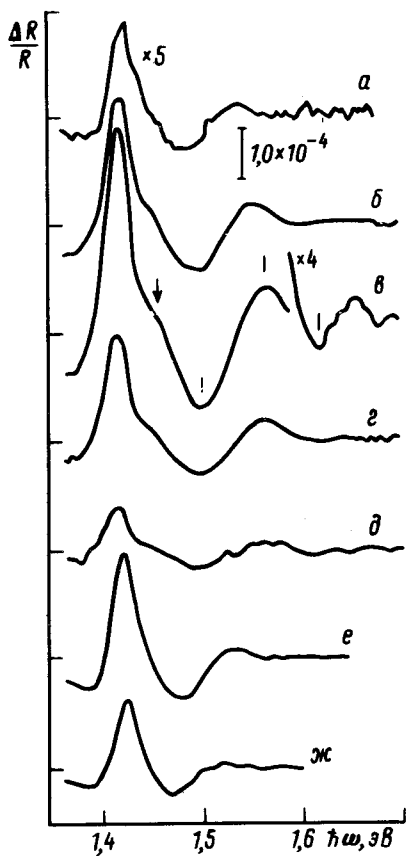


Рис.1

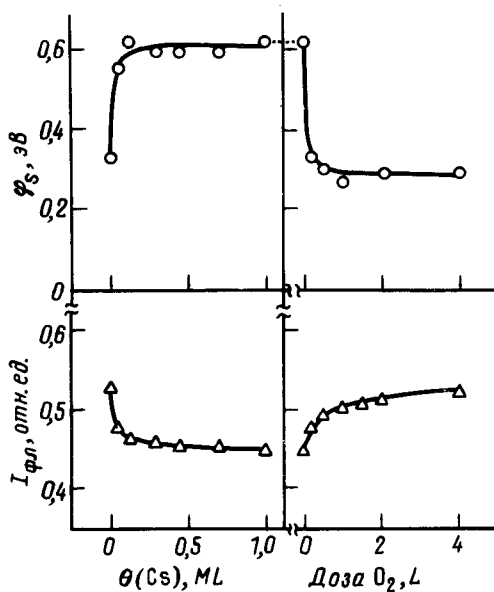


Рис.2

Рис. 1. Спектры фотоотражения поверхности p -GaAs (100) после термоочистки (кривая (а)), последовательного нанесения цезия (б-д) и кислорода (е, ж). Толщина цезиевого покрытия θ (в монослоях, ML) составляет: б - 0,02; в - 0,10; г - 0,5; д - 0,7. Экспозиция кислорода (в лэнгмюрах, L): е - 0,2, ж - 1,0. Спектры (е, ж) измерены при интенсивности лазерной накачки на порядок большей, чем спектры (а-д). Положения экстремумов осцилляций обозначены вертикальными штрихами на одном из спектров

Рис. 2. Эволюцию изгиба зон и интенсивности фотолюминесценции при нанесении Cs и O_2 на чистую поверхность. Линии, соединяющие экспериментальные точки, проведены для удобства восприятия

Обратимость переключений φ_s показывает, что даже при комнатной температуре, когда большая часть атомов цезия хемосорбируется на GaAs, поверхностные дефекты не оказывают существенного влияния на формирование изгиба зон. Хемосорбция цезия с образованием микродиполей кон-

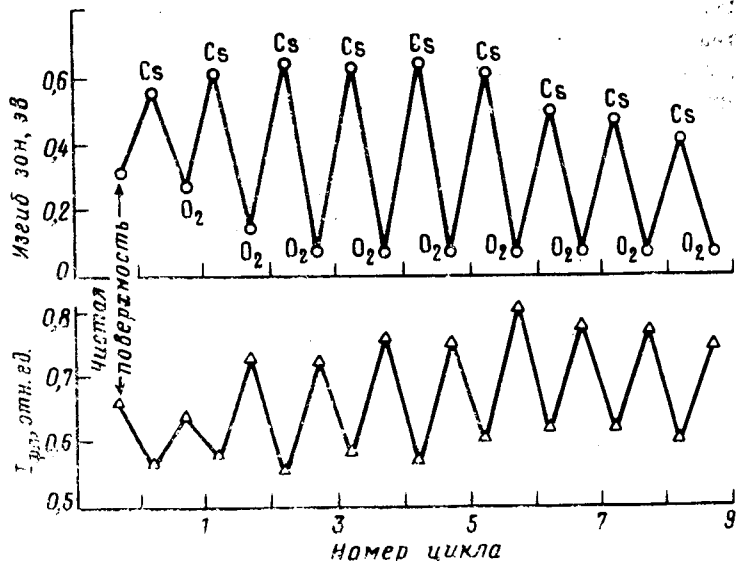


Рис.3 Переключения изгиба зон и интенсивности фотолуминесценции при поочередном нанесении цезия и кислорода. В каждом цикле экспозиция Cs соответствовала нанесению одного монослоя, а экспозиция O_2 составляла 2L

тролировалась по снижению порога внешнего фотоэффекта. Поверхностные состояния, обусловленные дефектами ^{1,2}, образуются, по-видимому, только на этапе химической и термической подготовки поверхности и определяют начальный изгиб зон. Уменьшение φ_s до плоских зон и увеличение максимальных значений $I_{\phi л}$ (рис.3) с ростом номера цикла свидетельствует о пассивации состояний дефектов. Увеличение изгиба зон при адсорбции Cs обусловлено, по нашему мнению, захватом дырок на индуцированные адатомами поверхностные состояния и образованием ионов Cs^+ . Доля атомов Cs, стабилизирующих электроны в объеме GaAs, оцененная по начальному участку зависимости $\varphi_s(\theta)$, составляет $\approx 3\%$, в отличие от 100% на поверхности (110) при низкой температуре ⁴. Причина стабилизации уровня Ферми вблизи середины запрещенной зоны при $\theta \geq 0,2$, возможно, универсальна ⁹ и состоит в том, что рост положительного заряда поверхности, обусловленный захватом дырок на индуцированные адатомами цезия поверхностные состояния, ограничивается захватом электронов из-за увеличения их поверхностной концентрации. Уменьшение изгиба зон при нанесении O_2 связано с уменьшением плотности поверхностных состояний при химическом взаимодействии с кислородом. Дополнительное плечо при $\hbar\omega = 1,45$ эВ обусловлено, по-видимому, проникновением в полупроводник быстро затухающего электрического поля микрополей. Поведение $I_{\phi л}$ качественно соответствует зависимости скорости поверхностной рекомбинации v_s от величины изгиба зон ¹⁰, однако этой зависимостью не исчерпывается. Изменения v_s обусловлены также изменениями концентраций и сечений захвата рекомбинационных центров, поскольку в эксперименте не наблюдается однозначной связи между $I_{\phi л}$ и φ_s .

Таким образом, на атомарно чистой поверхности p-GaAs (100) адсорбция цезия и кислорода при комнатной температуре не приводит к пиннингу уровня Ферми поверхностными дефектами, и величина изгиба зон изменяется

в широких пределах, от $E_g/2$ при нанесении Cs до плоских зон при нанесении O_2 . Принципиальные отличия от результатов на сколах (110)¹ обусловлены, по-видимому, особыми свойствами поверхности (100)¹¹.

Авторы выражают благодарность Н.А.Якушевой за предоставление эпитаксиального p-GaAs и А.В.Малькову за помощь в измерениях.

-
1. W.E.Spicer, I.Lindau, P.Skeath et al., *Phys. Rev. Lett.* **44**, 420 (1980).
 2. H.Hasegawa and H.Ohno, *J. Vac. Sci. Technol. B* **4**, 1130 (1986).
 3. W.Mönch, *Europhys. Lett.* **7**, 275 (1988).
 4. R.Cao, K.Miyano, T.Kendelewicz et al. *Appl. Phys. Lett.*, **54**, 1250 (1989); *Phys. Scr.* **41**, 887 (1990).
 5. C.Laubschat, M.Prietsch, M.Domke et al., *Phys. Rev. Lett.*, **62**, 1306 (1989).
 6. Ю.Г.Галицын, В.Г.Мансуров, В.И.Пошевнев и др. *Поверхность* **4**, 147 (1989).
 7. D.E.Aspnes, In: *Handbook on Semiconductors*. Amsterdam, **2**, 109 (1980).