

К Р А Т К И Е С О О Б Щ Е Н И Я

ВЛИЯНИЕ СИЛЫ ЗЕРКАЛЬНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ
НА ФОТОЭМИССИЮ ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ GaAs
С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ СРОДСТВОМ

© А.С.Терехов, Д.А.Орлов, А.С.Ярошевич,
Г.М.Солдатченко, И.В.Савченко, Л.С.Ронжин

Институт физики полупроводников Сибирского отделения
Российской академии наук,
630090 Новосибирск, Россия
(Поступило в Редакцию 14 февраля 1995 г.)

Полупроводники, эффективное электронное сродство которых уменьшено до отрицательного значения адсорбцией Cs и O₂, продолжают привлекать интерес исследователей. Наряду с практической важностью структуры с отрицательным электронным сродством (ОЭС) являются хорошим модельным объектом с управляемыми электронными свойствами [1,2], удобным для изучения фундаментальных закономерностей переносов электронов через границы раздела фаз. Несмотря на значительное число работ, посвященных переносу электронов в таких структурах [3], ряд вопросов не решен. В частности, до настоящего времени не исследовано влияние экситоноподобных электронных состояний, возникающих вблизи поверхности вследствие действия силы зеркального изображения, на эмиссию электронов из полупроводников с ОЭС. Для изучения этого вопроса необходимо знать форму потенциала силы зеркального изображения, зависящую как от диэлектрической проницаемости полупроводника в объеме и приповерхностной области пространственного заряда, так и от поляризуемости слоя (Cs, O). Наиболее просто потенциал силы зеркального изображения может быть экспериментально изучен путем измерения эффекта Шоттки [4], состоящего в уменьшении потенциального барьера на поверхности твердого тела φ при увеличении вытягивающего электрического поля F . Эффект Шоттки вызывает увеличение квантового выхода Y фотоэффекта при увеличении F , что и наблюдалось во многих полупроводниках с ОЭС [5,6-8]. Для построения зависимости $\varphi(F)$ измерения $Y(F)$ необходимо дополнить измерениями $Y(\varphi)$. Единственным способом изменения φ при проведении таких измерений является изменение состава (Cs, O)-слоя. Но изменение состава этого слоя наряду с изменением φ может приводить и к изменению концентраций поверхностных центров захвата, влияющих на вероятность выхода фотоэлектронов

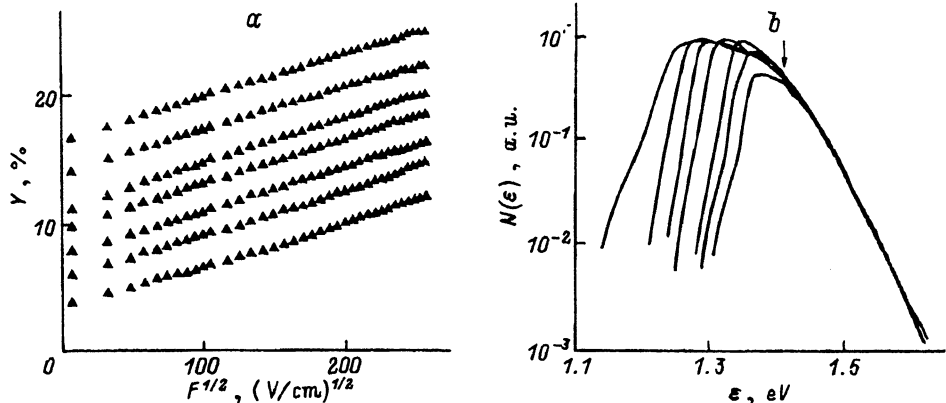


Рис. 1. Зависимости квантового выхода от электрического поля (а) и СФЭ (б) в различных точках неоднородного фотоэмиттера.

Энергия электронов ϵ (б) отсчитывалась от потолка валентной зоны.

[1,2]. Следовательно, величина Y не является однозначной функцией φ , и при измерениях $Y(\varphi)$ необходимо контролировать отсутствие существенного влияния на величину Y изменения вероятности выхода фотоэлектронов при изменении состава (Cs, O)-слоя. Такой контроль возможен лишь путем измерения энергетических распределений (спектров) фотоэлектронов (СФЭ), эмиттированных в вакуум.

В данной работе зависимости $Y(F)$ впервые измерены совместно со спектрами фотоэлектрона, благодаря чему получены достоверные данные о форме потенциала силы зеркального изображения вблизи поверхности GaAs с ОЭС.

Измерения проводились на самодельном вакуумном фотодиоде с плоским полупрозрачным фотоэмиттером и плоским металлизированным анодом, расположенным параллельно на расстоянии 450–30 μm . Конструкции и способы изготовления фотоэмиттера и фотодиода описаны в [9]. Для исключения влияния утечек при измерении зависимости $Y(F)$ фототок регистрировался на переменном сигнале. Измерения СФЭ проводились методом задерживающего потенциала. Источником света служил He-Ne-лазер с диаметром светового пучка 1.5 мм. Калибровка энергий фотоэлектронов проводилась по положению пика в спектре производной СФЭ, наблюдавшегося во всех исследованных фотоэмиттерах вблизи вершины высокоэнергетического крыла спектра. В [9] было установлено, что энергетическое положение этого пика соответствует дну зоны проводимости в объеме GaAs. Величина φ измерялась по положению низкоэнергетического крыла СФЭ, совпадающего с точкой его максимальной крутизны. Значение φ отличается от работы выхода на величину энергетического зазора между потолком валентной зоны и уровнем Ферми.

В использованном фотодиоде квантовый выход фотоэмиттера был неоднороден по площади из-за неоднородности состава (Cs, O)-слоя, плавно изменялся от точки к точке в интервале 4–17%. В 21 точке с различным квантовым выходом были измерены зависимости $Y(F)$ и СФЭ, каждая третья из которых показана на рис. 1, а, б соответственно. Из рис. 1, а видно, что квантовый выход существенно зависит от поля и что изменения Y примерно пропорциональны \sqrt{F} независимо от слабо-

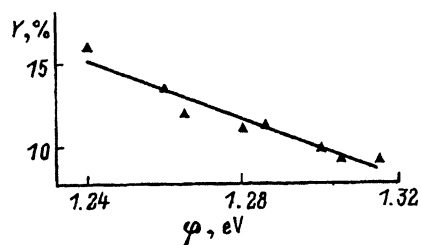


Рис. 2. Зависимости квантового выхода от величины остаточного поверхностного барьера.

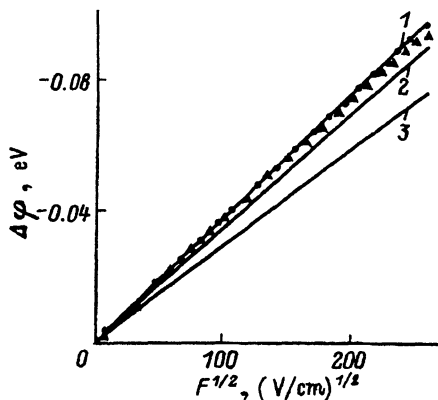


Рис. 3. Зависимости изменения остаточного поверхностного барьера от электрического поля.

Сплошные линии — теоретические зависимости для диэлектрических проницаемостей ∞ , 12,4, 3,5 (кривые 1–3 соответственно).

полевого значения квантового выхода. Из рис. 1, *b* видно, что основным отличием СФЭ, измеренных в точках с различным Y , является положение низкоэнергетического крыла спектра, определяющегося высотой остаточного потенциального барьера в соответствующих точках фотоэммиттера. Видно также, что для спектров, соответствующих величинам Y в интервале 9–17%, с ростом φ наблюдается небольшое, но систематическое увеличение токов фотоэлектронов с энергией в окрестности максимума СФЭ. Для спектров, соответствующих $Y = 3$ –8%, увеличение φ приводит к уменьшению амплитуды СФЭ, причем влияние этого уменьшения на падение Y соизмеримо с влиянием сдвига уровня вакуума. Таким образом, в исследуемом фотоэммиттере только при $Y \geq 9\%$ изменение квантового выхода пропорционально изменению φ . Используя СФЭ для $Y \geq 9\%$, мы построили зависимость $Y(\varphi)$, показанную на рис. 2. Из этого рисунка видно, что экспериментальные точки удовлетворительно описываются прямой линией. Полученная зависимость и данные рис. 1, *a* были использованы для построения зависимостей $\Delta\varphi(F)$. Зависимости для точек фотокатода с $Y = 17$ и 9% показаны на рис. 3. Результаты для точек с промежуточными значениями Y лежат между ними. Сплошными линиями на рис. 3 показаны теоретические зависимости эффекта Шоттки для однородных эмиттеров с диэлектрическими проницаемостями металла, нелегированного GaAs и слоя (Cs, O). Видно, что экспериментальные зависимости лежат между этими теоретическими прямыми, что свидетельствует, по нашему мнению, о доминирующем влиянии классического эффекта Шоттки на изменение поверхностного барьера в электрическом поле и об отсутствии существенного влияния слоя (Cs, O) на формирование потенциала и зеркального изображения на расстояниях $\geq 70 \text{ \AA}$ от поверхности полупроводника (что соответствует исследуемому интервалу напряженностей электрического поля). Небольшие различия зависимостей $\Delta\varphi(F)$, соответствующих различным точкам фотоэммиттера, лежат в пределах ошибки эксперимента. Эта ошибка маскирует, по-видимому, влияние области пространственного заряда на формирование потенциала силы зеркального изображения.

В заключение отметим, что увеличение квантового выхода GaAs (Cs, O)-фотоэммитера за счет эффекта Шоттки имеет большое практическое значение в фотоэлектронных приборах с параллельным переносом изображения и в фотоэлектронных пушках, где напряженности электрического поля достигают $10^5 - 10^6$ V/cm.

Авторы благодарят своих коллег за изготовление фотодиодов.

Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 93-02-15177).

Список литературы

- [1] Альперович В.Л., Паулиш А.Г., Терехов А.С. Письма в ЖЭТФ, **55**, 5, 289 (1992).
- [2] Alperovich V.L., Paulish A.G., Terekhov A.S. Phys. Rev. **B50**, 8, 5480 (1994).
- [3] Spectroscopy of nonequilibrium electrons and phonons / Ed. C.V.Shank and B.P.Zakharchenya. North-Holland (1992). 253 p.
- [4] Schottky W. Naturwissenschaften, **26**, 12, 843 (1938).
- [5] Howorth J.R., Harmer A.L., Trawny E.W. Appl. Phys. Lett. **23**, 3, 123 (1973).
- [6] Kohn E.S. IEEE Trans. Electron Devices **ED-20**, 3, 321 (1973).
- [7] Мусатов А.Л., Коротких В.Л. ФТТ **20**, 3, 734 (1978).
- [8] Edoecumbe J.P., Aebi V.W., Davis G.A. In: Electron Tubes and Image Intensifiers. SPIE (1992). V. 1655. P. 204-210.
- [9] Терехов А.С., Орлов Д.А. Письма в ЖЭТФ **12**, 12, 827 (1994).

Физика твердого тела, том 38, № 1, 1996
Solid State Physics, vol. 38, N 1, 1996

АНОМАЛИИ ФОТОАКУСТИЧЕСКОГО ОТКЛИКА В СИСТЕМЕ CdS/Y-ЦЕОЛИТ

© *И.В.Блонский, М.С.Бродин, В.А.Тгорик,
Г.М.Тельбиз, А.Г.Филин*

Институт физики академии наук Украины,
252028 Киев, Украина
(Поступило в Редакцию 15 мая 1995 г.)

Микрорекристаллы CdS, капсулированные в цеолитную матрицу, рассматриваются как перспективные модели квазинульмерных сред. Проведенные ранее их исследования ^[1,2] в основном были ориентированы на обнаружение «фиолетового» сдвига фундаментального края поглощения, объясняемого с позиций перенормировки структуры электронных зон вследствие квантово-размерного эффекта ^[3]. В настоящей работе впервые приводятся результаты, свидетельствующие и об особенностях энергопреобразующих процессов, протекающих с участием электронных возбуждений в системе пространственно разнесенных микрорекристаллов CdS в цеолите Y. Исследовался фотоакустический (ФА) отклик с газомикрофонной и пьезоэлектрической регистрацией сигнала образцов системы CdS/Y-цеолит с концентрацией CdS в Y-цеолите $p = 2.76\%$, при которой, согласно ^[2], микрорекристаллы CdS существуют в цеолитной матрице в виде перколяционных кластеров. В спектрах фотолюминесценции таких образцов наряду с традиционной