

$\approx 0.1 \text{ см}^{-1}$  [6]. Для дальнейшего развития теории ДП необходимо определение деталей электронной структуры ТД на линии дислокации.

Автор благодарен А. В. Баженову, В. В. Кведеру и В. Я. Кравченко за ряд полезных обсуждений.

### Л и т е р а т у р а

- [1] *Белявский В. И., Свиридов В. В.* ФТТ, 1982, т. 24, № 6, с. 1654—1662.
- [2] *Стефанович Л. И., Фельдман Э. П.* ФТТ, 1985, т. 27, № 4, с. 1205—1212.
- [3] *Молоцкий М. И.* ФТТ, 1987, т. 29, № 3, с. 838—840.
- [4] *Chelikowsky J. R., Spence J. C. H.* Phys. Rev., 1984, vol. B 30, N 3, p. 694—701.
- [5] *Тайхлер Х., Мархайн К.* Изв. АН СССР, сер. физ., 1987, т. 51, № 4, с. 663—667.
- [6] *Баженов А. В., Кведер В. В., Красильникова Л. Л., Шалыгин А. И.* ФТТ, 1986, т. 28, № 1, с. 230—234.
- [7] *Баженов А. В., Красильникова Л. Л.* ФТТ, 1986, т. 28, № 1, с. 235—241.
- [8] *Ossiyaun Yu. A.* Cryst. Res. Technol., 1981, vol. 16, N 2, p. 239—246.
- [9] *Вебер Е. Р., Омлинг П., Кизеловски-Кеммерих К., Александер Х.* Изв. АН СССР, сер. физ., 1987, т. 51, № 4, с. 644—651.
- [10] *Lisovsky G.* Sol. St. Commun., 1965, vol. 3, N 9, p. 299—302.
- [11] *Кведер В. В.* Автореф. докт. дис. ИФТТ, Черногловка, 1987. 23 с.

Воронежский государственный  
университет им. Ленинского комсомола  
Воронеж

Поступило в Редакцию  
20 января 1988 г.

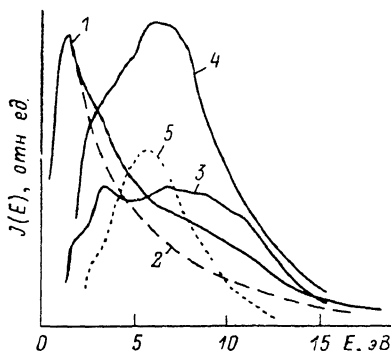
УДК 537.533.8

Физика твердого тела, том 30, в. 6, 1988  
Solid State Physics, vol. 30, № 6, 1988

## РАСПАД ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОНОВ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ СОСТОЯНИЯХ В КРЕМНИИ

О. М. Артамонов, А. Г. Виноградов, А. Н. Терехов

На спектрометре медленных электронов [1] с угловым разрешением исследованы спектры вторичных электронов (ВЭ) поверхности Si (100) в области малых энергий в зависимости от углов падения, наблюдения, и энергии падающих электронов  $E_p$ . Поверхность имела сверхструктуру  $2 \times 1$ , посторонние примеси в пределах чувствительности Оже-анализа [1] отсутствовали. Оказалось, что форма энергетического распределения ВЭ данной поверхности имеет вид, близкий к традиционному каскадному рас-



Энергетическое распределение ВЭ поверхности Si (100) и спектр тонкой структуры.

1 — распределение ВЭ в направлении нормали; 2 — каскадный фон; 3 — СТС, угол падения —  $30^\circ$ ; 4 — то же, угол падения —  $87.5^\circ$ ; 5 — максимум, обусловленный распадом поверхностных плазмонов на поверхностных состояниях.  $E_p = 200 \text{ эВ}$ .

пределению со слабо выраженной тонкой структурой (см. рисунок, кривая 1). Для выделения тонкой структуры нами было проведено вычитание из распределения ВЭ по энергиям каскадного распределения, которое получается после аморфизации исходной поверхности пучком ионов аргона с энергией 900 эВ (доза порядка  $10^{16} \text{ см}^{-2}$ , кривая 2). В результате вычитания получен спектр тонкой структуры (СТС, кривая 3), который во всех случаях представлял собой широкую полосу в диапазоне энергий 2—13 эВ. Нижняя граница полосы обусловлена методикой выделения

СТС и аппаратурными искажениями. Анализ энергетического положения и зависимости формы полосы от углов падения, наблюдения и энергии первичных электронов показал, что при  $E_p \leq 100$  эВ, а также при наблюдении вблизи нормали при  $E_p \geq 200$  эВ СТС в основном обусловлена распадом объемных плазмонов с возбуждением электронов валентной зоны и последующим выходом этих электронов в вакуум. Совместный анализ спектров характеристических потерь энергии электронов (ХПЭЭ) и СТС показал, что вероятность возбуждения объемных плазмонов в кремнии при энергиях  $E_p$  в диапазоне 60—600 эВ и форма СТС при  $E_p \leq 100$  эВ практически не зависят от угла падения первичного пучка на исследуемую поверхность. При  $E_p \geq 200$  эВ в спектрах ХПЭЭ появляется пик, соответствующий возбуждению поверхностного плазмона кремния (при энергии  $h\omega_s = 11.5$  эВ) и одновременно появляется зависимость СТС от угла падения. Интенсивность полосы при скользящих углах падения первичных электронов на поверхность возрастает за счет возникновения в спектрах максимума при энергии  $6.0 \pm 0.2$  эВ (кривая 4). В явном виде этот максимум выделяется, если взять разность между спектрами, полученными при углах падения, далеких (более  $60^\circ$ ) и близких к нормали (кривая 5). При этом в соответствии с результатами исследования спектров ХПЭЭ предполагается, что вклад от распада объемных плазмонов в СТС не зависит от угла падения. Зависимость интенсивности обнаруженного максимума от угла падения оказалась аналогична угловой зависимости интенсивности пика ХПЭЭ, связанного с возбуждением поверхностных плазмонов. Полуширина максимума получается около 5 эВ при  $E_p = 200$  эВ и 4 эВ при  $E_p = 600$  эВ (полуширина пика поверхностного плазмона в спектрах ХПЭЭ при этом равна 5.3 и  $2.4 \pm 0.2$  эВ соответственно), а энергетическое положение в пределах погрешности эксперимента соответствует возбуждению электронов из зоны поверхностных состояний, расположенной при энергии 0.5 эВ ниже вершины валентной зоны [2], с передачей этим электронам энергии поверхностного плазмона (расчетное положение пика при этом 6.2 эВ). Отметим, что этот пик отсутствует на спектрах грани Si (110), что позволяет связать его существование именно с зоной поверхностных состояний, характерной для грани Si (100) со сверхструктурой  $2 \times 1$ , а не с передачей энергии плазмона валентным электронам объема кремния. Последний процесс в случае кремния, по-видимому, недостаточно эффективен. Сравнение амплитуд особенностей на спектрах ВЭ показало, что при угле падения первичных электронов  $87.5^\circ$  относительно нормали и  $E_p = 200$ —600 эВ интенсивность пика при энергии 6.0 эВ превышает интенсивность полосы, связанной с распадом объемных плазмонов.

Таким образом, в данной работе удалось экспериментально обнаружить распад поверхностных плазмонов на поверхностных состояниях. Показано, что этот процесс может играть значительную роль в формировании энергетического распределения ВЭ в области малых энергий.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Артамонов О. М., Виноградов А. Г., Смирнов О. М., Терехов А. Н. Депошприванная рукопись. ВИНТИ, № 6319—85.  
 [2] Schmeits M., Mazur A., Pollmann J. Phys. Rev. B, 1983, vol. 27, N 8, p. 5012—5031.

Ленинградский государственный университет им. А. А. Жданова  
 НИИФ  
 Ленинград

Поступило в Редакцию  
 19 октября 1987 г.  
 В окончательной редакции  
 22 января 1988 г.