

## ВЛИЯНИЕ ОРИЕНТАЦИИ КРИСТАЛЛА НА ЭНЕРГИЮ РАССЕЯННЫХ ИОНОВ

Н.Н. Б а з а р б а е в, В.В. Е в с т и ф е е в,  
Н.М. К р ы л о в, Л.Б. К у д р я ш о в а

Ранее [1] при изучении энергетических спектров медленных тяжелых ионов, рассеянных поликристаллическими мишенями с атомной массой  $M \leq m$  ( $m$  – масса иона), было установлено, что рассеяние на углы  $\psi > \psi_{\text{пред}} = \arcsin M/m$  имеет место для всех мишеней, независимо от соотношения атомных масс иона-атом мишени, и что с уменьшением  $E_0$  доля энергии  $E/E_0$ , сохраняемая рассеянным ионом, возрастает. Анализ полученных результатов показал, что этот эффект нельзя объяснить в рамках существующей модели последовательных парных соударений [2].

В настоящей работе приведены результаты экспериментального исследования влияния ориентации кристалла молибдена на энергию рассеянных ионов  $CS^+$ . В качестве исследуемых мишеней были выбраны образцы с поверхностными гранями (001) и (110) с кристаллографическими направлениями  $\langle 001 \rangle$  и  $\langle \bar{1}10 \rangle$  вдоль линии движения бомбардирующего иона (рис. 1). Выбор образцов проводился с целью реализации различных комбинаций атомов поверхностных слоев, ближайших к линии движения иона. Углы падения и рассеяния, как и в [1], были равны соответственно  $55^\circ$  и  $70^\circ$ . Измерение дифференциальных энергетических спектров рассеянных ионов проводили в режиме счета с накаливаемых до  $1700\text{ K}$  мишеней.

На рис. 2 показаны кривые зависимости относительных энергий рассеянных ионов  $CS^+$   $E_n/E_0$  в максимуме их энергетических распределений от энергии бомбардирующих частиц  $E_0$  для четырех монокристаллических мишеней (кривые 1–4) и для поликристалла [1] (кривая 5). Обнаружено, что как и в [1], величина  $E_n/E_0$  нелинейно возрастает с уменьшением  $E_0$  для всех мишеней. Кроме того, доля энергии, сохраняемая отраженным ионом от поверхности монокристалла, различна для разных граней и кристаллографических направлений, и в области  $E_0 \leq 200\text{ эВ}$  существенно выше, чем от поликристалла. Наибольшую величину ион сохраняет при бомбардировке поверхностной грани (001) при своем движении вдоль  $\langle \bar{1}10 \rangle$  в плоскости  $\{110\}$  (рис. 1, а), а наименьшую – при бомбардировке грани (110) при движении и в том же направлении в плоскости  $\{001\}$  (рис. 1, г). Доли энергии, сохраняемые ионом при отражении от тех же граней в случаях б, в, имеют промежуточные значения.

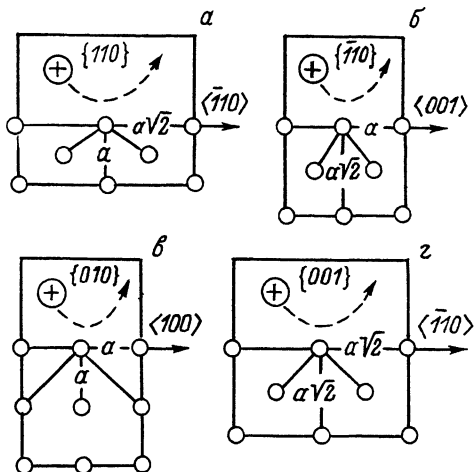


Рис. 1. Схема расположения атомов в плоскости падения и детектирования ионов при разной ориентации кристалла ОЦК-типа.

а - грань  $\{110\}$ , плоскость падения  $\{\bar{1}\bar{1}0\}$ , направление  $\langle \bar{1}10 \rangle$ ; б -  $\{110\}$ ,  $\{\bar{1}\bar{1}0\}$ ,  $\langle 001 \rangle$ ; в -  $\{001\}$ ,  $\{010\}$ ,  $\langle 100 \rangle$ ; г -  $\{110\}$ ,  $\{001\}$ ,  $\langle \bar{1}\bar{1}0 \rangle$ .

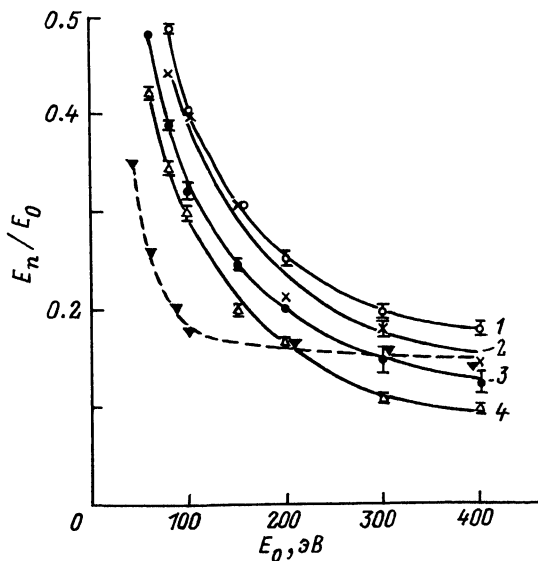


Рис. 2. Зависимость относительной энергии ионов  $Cs^+$ , рассеянных монокристаллом  $M_0$ , от энергии бомбардирующих ионов.

1 - грань  $\{001\}$ , направление  $\langle \bar{1}\bar{1}0 \rangle$ ; 2 -  $\{110\}$ ,  $\langle 001 \rangle$ ; 3 -  $\{001\}$ ,  $\langle 100 \rangle$ , 4 -  $\{110\}$ ,  $\langle \bar{1}\bar{1}0 \rangle$ , 5 - поликристалл.

Если придерживаться концепции последовательных парных столкновений [2], то для налетающего иона создаются одинаковые условия при реализации случаев а, г (направления  $\langle 110 \rangle$ ) и б, в (направления  $\langle 001 \rangle$ ). Следовательно, величина энергии отраженного иона должна быть одинаковой для случаев а, г и б, в соответственно. В эксперименте это не наблюдается: энергия во всех случаях различна. Кроме того, при многократных соударениях величина  $E_n/E_0$  не должна зависеть от  $E_0$ . Однако эксперимент обнаруживает такую зависимость.

Полученные результаты качественно объясняются с точки зрения многочастичных взаимодействий и влияния сил связи атомов в твердом теле. В момент наибольшего сближения иона с одним из поверхностных атомов решетки на него оказывают отталкивающее действие также ближайšie атомы первого и второго слоя решетки. Из рассматриваемых комбинаций расположения этих атомов видно, что в момент столкновения иона с атомом решетки расстояния до его ближайших соседей различны для разных граней и кристаллографических направлений. Так, в среднем наименьшее расстояние имеют атомы первого и второго слоя в случае а, б, а наибольшее в случае г. Поэтому результирующее действие ближайших соседей, а, следовательно, сохраняемая ионом энергия, должны быть для а максимальными, для б несколько меньшими (так как второй слой расположен глубже от поверхности, чем в случае а, а для г минимальными, что и подтверждается на эксперименте (кривые 1, 2, 4). Учет сил связи близлежащих атомов может только усилить эффект многочастичного взаимодействия. Полученные результаты находятся в согласии с теоретическими представлениями и машинными расчетами, проведенными в работах [3, 4], а также не противоречат сделанному в [5] выводу о дополнительном отталкивании, связанном с обменным и спин-поляризационным взаимодействием перекрывающихся электронных оболочек бомбардирующего иона и кластера, состоящего из нескольких ближайших атомов мишени.

В случае поликристалла, представляющего „набор“ зерен произвольной ориентации, ситуации, аналогичные рассмотренным на рис. 1, реализуются с малой вероятностью из-за отсутствия выделенных направлений. Плотность поликристалла меньше, чем у монокристалла, и у него слабее межатомные связи. Все это существенно сказывается на величине сохраняемой ионом энергии (кривая 5).

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о влиянии расположения атомов в поверхностных слоях решетки на энергию отраженных частиц и указывают на то, что теория последовательных парных соударений не применима для описания процесса рассеяния медленных тяжелых ионов легкими мишенями, а механизм многочастичного взаимодействия нуждается в дальнейшем развитии.

- [1] Безарбаев Н.Н., Евстифеев В.В., Крылов Н.М., Кудряшова Л.Б. // Поверхность. Физика, химия, механика. 1988. № 9. с. 140-142.
- [2] Парлис Э.С., Тураев Н.Ю., Умаров Ф.Ф., Нижная С.Л. Теория рассеяния атомов средних энергий поверхностью твердого тела. Ташкент; 1987. 210 с.
- [3] Шелякин Л.Б., Мосунов А.С., Юрасова В.Е. // Поверхность. Физика, химия, механика. 1983. № 5. С. 37-42.
- [4] Evstifeev V.V., Ivanov I.V. // Surface Sci. 1989. 217. P. L373-L376.
- [5] Hoek V.d. P.J., Tenner A.D., Kleyn A.W. // Phys. Rev. 1986. V. B34. P. 5030-5042.

Научно-исследовательский институт прикладной физики Ташкентского государственного университета им. В.И. Ленина

Поступило в Редакцию 24 января 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 7

12 апреля 1990 г.

05.2

© 1990

### ЭФФЕКТ ВАНЬЕ-ШТАРКА И ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В КАРБИДЕ КРЕМНИЯ

В.И. С а н к и н, А.В. Н а у м о в

В конце 50-х годов [1] было предсказано, что приложение электрического поля к твердым телам с зонным спектром должно приводить к интересным квантово-механическим эффектам. Активный исследовательский поиск в этом направлении начался вслед за первыми публикациями [2, 3] о создании искусственных сверхрешеток (СР) в полупроводниках и возможности получения отрицательного дифференциального сопротивления (ОДС). Этот поиск интенсивно продолжается и в последнее время [4-9], однако ОДС, обусловленное квантованием Ванье-Штарка (В-Ш), до сих пор не обнаружено.

В данной работе приведены исследования ВАХ в сильных электрических полях структур 6H-карбида кремния, полупроводника с естественной СР. В работах по исследованию ударной ионизации [10-12] было показано, что СР в 6H-SiC определяет свойства транспорта электронов (но не дырок) в очень сильных электрических