

© 1991

## ЭЛЕКТРОННО-СТИМУЛИРОВАННАЯ ДЕСОРБЦИЯ ИОНОВ $Cs^+$ ИЗ АДСЛОЯ ЦЕЗИЯ НА ВОЛЬФРАМЕ С ПЛЕНКОЙ КРЕМНИЯ

В.Н. А г е е в, А.М. М а г о м е д о в,  
Б.В. Я к ш и н с к и й

Методы, основанные на электронно-стимулированной десорбции (ЭСД), широко используются для анализа адсорбированных слоев, хотя механизм этого явления еще недостаточно ясен [1]. В частности, до последнего времени считалось, что основными десорбирующимися частицами являются нейтралы. Однако мы обнаружили, что при ЭСД из адсорбированного слоя щелочного металла на вольфраме, покрытом монослоем кремния, выход ионов существенно превышает выход нейтралей [2], причем эмиссия ионов может быть как результатом кулоновского взрыва за счет внутриатомного Оже-процесса, так и результатом реверсивного движения вследствие межатомного Оже-процесса [3]. Интересно, что выход ионов  $Na^+$  из адслоя натрия на вольфраме с напыленной пленкой кремния существенно зависит от количества напыленного кремния и предварительной температурной тренировки подложки, а выход ионов  $Li^+$  из адслоя лития на этой же подложке практически очень слабо изменяется при различных условиях формирования пленки кремния [4]. Причина этого эффекта пока не установлена, и в настоящей работе мы исследовали ЭСД ионов  $Cs^+$  из адслоя цезия в зависимости от условий образования пленки кремния на вольфраме, чтобы выяснить, в какой мере в изменении выхода ионов проявляется специфика щелочного металла.

**Э к с п е р и м е н т а л ь н а я т е х н и к а.** Техника эксперимента и методика измерений детально описаны ранее [2, 5]. Идентификация ионов при ЭСД осуществлялась с помощью статического магнитного масс-спектрометра, а анализ кинетической энергии ионов — путем их задержки в тормозящем электрическом поле.

В качестве мишени использовались текстурированные вольфрамовые ленты с преимущественным выходом на поверхность грани (100) размерами  $20 \times 2 \times 0.01$  мм<sup>3</sup> и работой выхода  $e\phi = 4.65 \pm 0.05$  эВ. Ленты предварительно очищались от углерода с помощью стандартной процедуры высокотемпературного прогрева в атмосфере кислорода.

Напыление кремния на мишень производилось из прямонакального штабика кремния р-типа с концентрацией сурьмы  $\sim 5 \cdot 10^{18}$  ат/см<sup>3</sup> размерами  $20 \times 1 \times 1$  мм<sup>3</sup>, расположенного параллельно

ленте. Количество напыленного кремния определялось по времени напыления при постоянном потоке, калибровка которого осуществлялась путем измерения времени, необходимого для увеличения работы выхода подложки на 0,43 эВ при  $T = 1500$  К, соответствующего образованию монослоя кремния [6]. Приповерхностные пленки дисилицида вольфрама создавались путем отжига в течение 5 минут при  $T = 1100$  К пленки кремния сверхмонослойной толщины, напыленной при  $T = 300$  К [7]. Цезий напылялся из прямоканальных испарителей с хроматом цезия, а его поток определялся по току поверхностной ионизации на нагретой мишене [2].

Результаты измерений и их обсуждение. Независимо от условий формирования пленки кремния на вольфраме, после напыления цезия при ЭСД наблюдались только ионы  $Cs^+$ , а атомы  $Cs$  не обнаружены, что, по-видимому, как и в случае ЭСД натрия с аналогичных подложек, является результатом высокой энергии Оже-электронов при распаде остовных вакансий на кремнии для эффективной нейтрализации анионов  $Cs^+$  [2].

На рис. 1 приведен график зависимости выхода  $\varphi^+$  ионов  $Cs^+$  от энергии  $E$  бомбардирующих электронов при ЭСД из адслоя цезия на вольфраме, покрытом монослоем кремния с концентрацией цезия  $N = 10^{14}$  ат/см<sup>2</sup>. Вид этого графика качественно не изменяется после растворения в приповерхностных слоях вольфрама дополнительно нанесенного кремния. Порог появления ионов  $Cs^+$  соответствует энергии ионизации уровня  $2pSi$ , а при энергии ионизации уровня  $2sSi$  отчетливо проявляется существенное увеличение выхода ионов. Следовательно, так же как и при ЭСД из адслоя лития [2], ЭСД цезия происходит только в результате внутриатомных Оже-распадов остовных вакансий кремния, хотя причина отсутствия ЭСД за счет межатомных Оже-распадов остовных уровней цезия, по-видимому, иная, чем для лития. Литий имеет слишком маленький заряд в адслое на кремнии и межатомный Оже-распад вакансии на уровне  $1sLi$  может обеспечить лишь его нейтрализацию. Однако цезий имеет положительный заряд в адслое на кремнии даже больший, чем натрий, ЭСД которого происходит эффективно вследствие межатомных Оже-распадов его остовных вакансий [2]. Поэтому отсутствие ЭСД за счет реверсивного движения ионов цезия при ионизации его остовных уровней, по-видимому, является следствием их большой массы, из-за которой ион  $Cs^+$  после межатомного Оже-процесса между ионами  $Cs^{2+}$  и  $Si^-$  не успевает получить необходимую кинетическую энергию для преодоления потенциального барьера сил зеркального изображения за время жизни  $\bar{\tau}$  иона кремния в состоянии с положительным зарядом [3].

Подтверждением важной роли массы частиц при ЭСД ионов является меньшая протяженность нормированных кривых задержки ионов  $Cs^+$  по шкале энергий по сравнению с аналогичными кривыми для ионов  $Na^+$  и  $Li^+$ , а также примерно в 10 раз меньшая

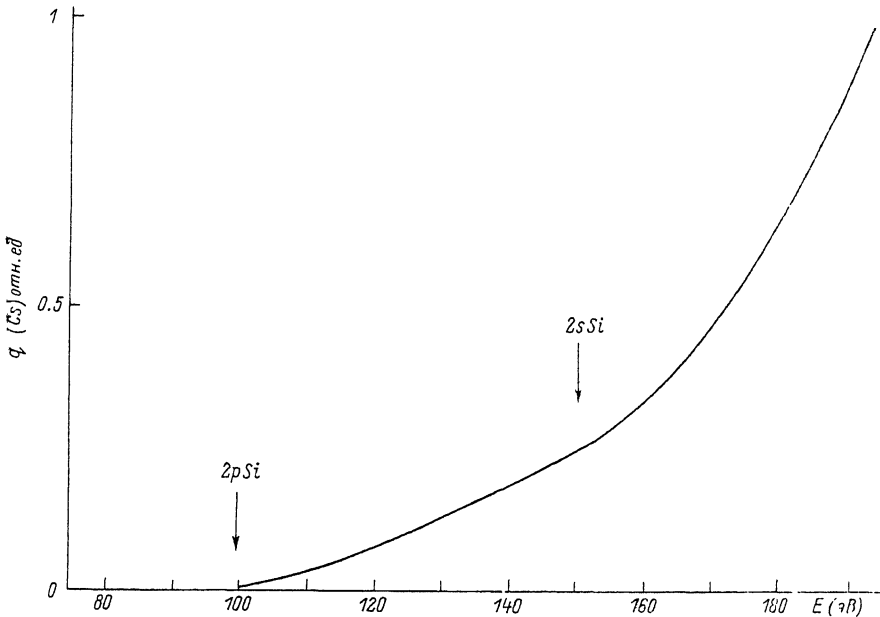


Рис. 1. Зависимость выхода  $\varphi^+$  ионов  $Cs^+$  от энергии  $E$  бомбардирующих электронов при ЭСД с поверхности  $W-Si-Cs$ , содержащей 1 монослой кремния;  $N(Cs) = 10^{14} \text{ см}^{-2}$ ,  $i_e = 2.5 \times 10^{-4} \text{ А}$ .

величина сечения ЭСД ионов  $Cs^+$  ( $\sim 10^{-24} \text{ см}^2$ ) по сравнению с величиной поперечного сечения ЭСД ионов  $Na^+$  [2]. Эти экспериментальные данные качественно хорошо согласуются с выводами модели, основанной на релаксации локального кулоновского поля поверхности [8]. Перегибы, обнаруженные на кривых задержки ионов  $Cs^+$  при энергии облучающих электронов  $E_p 150 \text{ эВ}$ , как и для ионов  $Na^+$  [2], объясняются кулоновским отталкиванием ионов  $Cs^+$  от ионов  $Si^{2+}$ , образующихся в результате каскадного Оже-распада вакансии на уровне  $2sSi$  с участием уровня  $2\rho Si$ .

Значительно более неожиданными оказались результаты исследования концентрационных зависимостей выхода ионов  $Cs^+$  от условий создания пленки кремния на вольфрамовой подложке. На рис. 2 приведены графики зависимостей выхода  $\varphi^+$  ионов  $Cs^+$  при ЭСД от концентрации напыленного цезия на поверхность вольфрама с монослойной пленкой кремния (кривая 1) и на поверхность вольфрама с растворенным в приповерхностной области кремнием в количестве четырех монослоев (кривая 2). Температура подложки при напылении щелочных металлов и ЭСД была  $T = 300 \text{ К}$ . Выход  $\varphi^+$  ионов  $Cs^+$  так же, как и зависимость

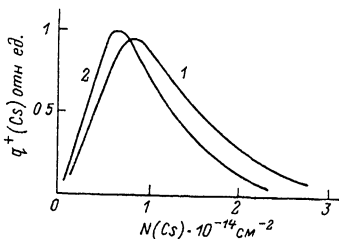


Рис. 2. Зависимости выхода  $q^+$  ионов  $Cs^+$  от концентрации  $N$  цезия с поверхности  $W-Si-Cs$ , содержащей 1 монослой  $Si$  (1) и пленку дисилицида вольфрама в количестве 4 монослоев (2);  $E = 300$  эВ;  $i_e = 2.5 \cdot 10^{-4}$  А.

$q^+(N)$  для ионов других щелочных металлов, происходит через максимум, причем максимум выхода ионов  $q_m^+$  для ионов по сравнению с максимумами выхода ионов  $Na^+$  и  $Li^+$  [2] смещен в область меньших концентраций адсорбированного щелочного металла и имеет наименьшую интенсивность. Следовательно, латеральные взаимодействия в адслое цезия начинают проявляться при более низких концентрациях, чем у других щелочных металлов ( $Na$  и  $Li$ ), что согласуется с наибольшим зарядом анионов  $Cs^+$  из-за его меньшего потенциала ионизации.

Растворение кремния в вольфраме приводит к существенному смещению максимума кривой  $q^+ = f(N)$  в область меньших концентраций адсорбированного цезия уже при растворении одного монослоя кремния (кривая 2). В случае ЭСД ионов  $Na^+$  положение  $q_m^+$  не зависит от концентрации растворенного кремния, а для ионов  $Li^+$  смещение  $q_m^+$  происходит в область больших концентраций лития [4]. Следовательно, латеральные взаимодействия в адслое цезия усиливаются с растворением кремния, в адслое лития уменьшаются, а в адслое натрия практически не изменяются.

Как и в случае ЭСД ионов  $Li^+$  из адслоя лития, выход ионов  $Cs^+$  практически не испытывает необратимых изменений после отжига напыленной пленки щелочного металла, так же как и после отжига монослойной пленки кремния при  $T > 1200$  К [4]. Следовательно, необратимые изменения в выходе ионов  $Na^+$  из адслоя натрия после отжига адпленки  $Na$  и  $Si$  определяются спецификой взаимодействия натрия с кремнием, и для выяснения природы этого взаимодействия необходимы исследования другими методами изучения поверхности твердого тела.

Следует заметить, что с ростом температуры подложки практически не заметно увеличения поперечного сечения ЭСД ионов  $Cs^+$ , что подтверждает сделанный ранее вывод о связи с температурной зависимости поперечных сечений ЭСД ионов щелочных металлов с реверсивным движением [2].

- [1] Агеев В.Н., Бурмистрова О.П., Кузнецов Ю.А. // УФН. 1989. Т. 158. В. 3. С. 389-416.
- [2] Агеев В.Н., Бурмистрова О.П., Магомедов А.М., Якшинский Б.В. // ФТТ. 1990. Т. 32. В. 3. С. 801-809.
- [3] Ageev V.N., Burmistrova O.P., Magomedov A.M., Yakshinskiy B.V. // Surf.Sci. 1990. V. 230. P. 295-298.
- [4] Агеев В.Н., Магомедов А.М., Якшинский Б.В. // ФТТ. 1991. Т. 33. В. 1. С. 158-165.
- [5] Агеев В.Н., Джалилов С.Т., Ионов Н.И., Потехина Н.Д. // ЖТФ. 1976. Т. 46. В. 5. С. 1019-1029.
- [6] Агеев В.Н., Афанасьева Е.Ю., Галль Н.Р., Михайлов С.Н., Рутьков Е.В., Тонтегоде А.Я. // Поверхность. 1987. В. 5. С. 7-14.
- [7] Агеев В.Н., Гомоюнова М.В., Пронин И.И., Хорунжий С.В. // Поверхность. 1988. В. 5. С. 57-63.
- [8] Ageev V.N., Burmistrova O.P., Yakshinskiy B.V. // Surf. Sci. 1988. V. 194. P. 101-114.

Физико-технический  
институт им. А.Ф. Иоффе  
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию  
18 октября 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 4

19 февраля 1991 г.

06.2;12

© 1991

## ЛЕГИРОВАНИЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ АЗОТОМ ПРИ БЕСКОНТЕЙНЕРНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ЭПИТАКСИИ

В.А. Д м и т р и е в, А.Е. Ч е р е н к о в

Метод бесконтейнерной жидкостной эпитаксии (БЖЭ) был предложен для выращивания карбидкремниевых р-п структур [1]. В этом методе раствор-расплав находится во взвешенном состоянии в ВЧ электромагнитном поле, что исключает контакт раствора-расплава и какого-либо контейнера. Метод был успешно применен для изготовления р-п структур ряда новых полупроводниковых приборов на основе карбида кремния, в том числе первого SiC-динистора и диодетового светодиода [2, 3]. Однако до последнего