

02;11

Выход атомов цезия при электронно-стимулированной десорбции с поверхности вольфрама, покрытого германием

© В.Н. Агеев, Ю.А. Кузнецов

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 6 октября 2004 г.

Впервые измерен выход атомов цезия из слоев цезия, адсорбированных на вольфраме, покрытом пленкой германия, в зависимости от энергии бомбардирующих электронов, толщины пленки германия, количества адсорбированного цезия и температуры подложки. Полученные результаты интерпретируются на основе модели Оже-стимулированной десорбции.

Впервые при электронно-стимулированной десорбции (ЭСД) обнаружен выход атомов цезия (Cs) из слоя цезия, адсорбированного на вольфраме, покрытом пленкой германия. К настоящему времени получено много информации об ЭСД заряженных частиц, а данные об ЭСД нейтральных частиц весьма ограничены [1]. Однако в большинстве случаев именно нейтральные частицы являются основной компонентой десорбирующегося потока при ЭСД. Поэтому выяснение закономерностей ЭСД нейтральных частиц особенно важно для применения этого явления на практике.

Экспериментальный прибор и методика измерений подробно описаны ранее [2]. Измерения выполнены времяпролетным методом при импульсном облучении мишени электронами, а атомы Cs ионизовались в детекторе на основе поверхностной ионизации [3]. В качестве мишени использовалась вольфрамовая лента размерами $70 \times 2 \times 0.01$ mm с преимущественным выходом на поверхность грани (100), которая очищалась и текстурировалась по стандартной процедуре [4]. Германий напылялся на ленту из прямонакальной вольфрамовой трубки, в которую загружались кусочки германия с концентрацией примеси менее 10^{16} at/cm³. Трубка располагалась параллельно ленте, и в ней

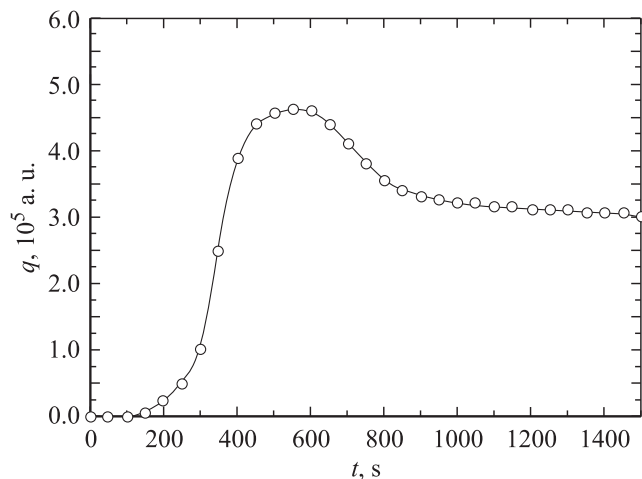


Рис. 1. Выход атомов Cs при ЭСД из монослоя цезия, адсорбированного на пленке германия, в зависимости от времени напыления. Энергия электронов $F_e = 120$ eV.

имелось несколько отверстий для равномерного напыления германия вдоль ленты.

Цезий осаждался на мишень при $T = 300$ К потоком атомов, образующихся в прямонакальном испарителе путем термического разложения хромата цезия. Концентрация цезия на мишени определялась по времени напыления постоянным потоком, интенсивность которого контролировалась по току поверхностной ионизации на ленте в режиме насыщения. Концентрация цезия в монослое на вольфраме, покрытом пленкой германия, оценивалась как $N_0 \sim 5 \cdot 10^{14}$ ат/см² в соответствии с максимумом выхода атомов Cs при ЭСД.

Лента-мишень могла охлаждаться в диапазоне температур 160–300 К путем изменения скорости пропускания через полые тоководы газообразного азота, предварительно охлажденного до температуры жидкого азота. Нагрев ленты осуществлялся электрическим током. Температура ленты определялась из температурной зависимости электрического сопротивления. Давление остаточных газов в приборе не превышало $5 \cdot 10^{-10}$ Торр.

На рис. 1 приведен график зависимости выхода q атомов Cs из монослойной пленки цезия, напыленной на пленку германия при

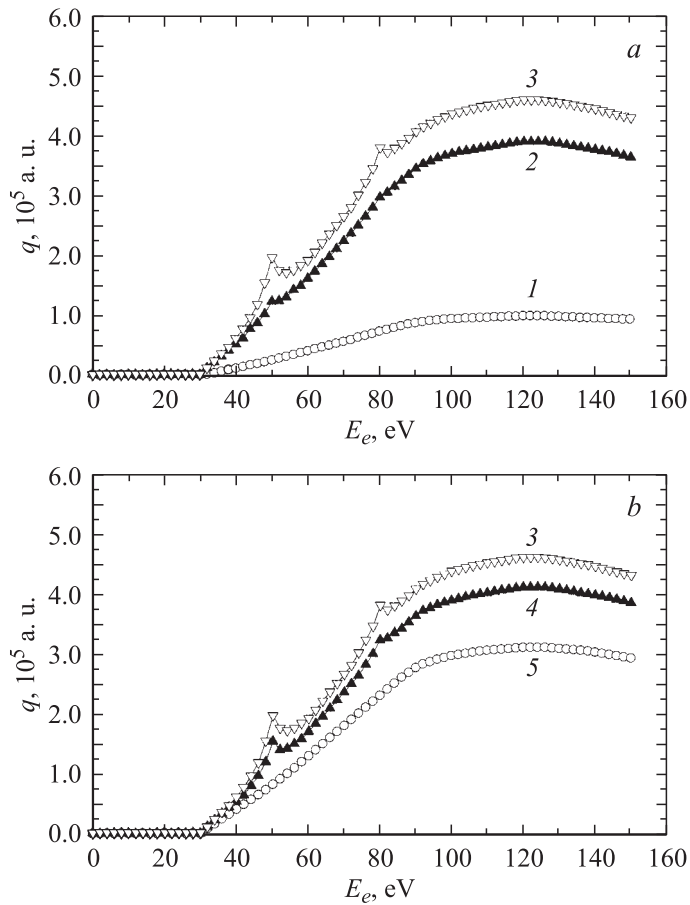


Рис. 2. Выход атомов Cs при ЭСД из монослоя цезия, адсорбированного на пленке германия различной толщины (в монослоях), в зависимости от энергии бомбардирующих электронов: 1 — 0.25, 2 — 0.75, 3 — 1.25, 4 — 1.5, 5 — 4.75.

$T = 300 \text{ K}$, от времени напыления германия на вольфрам. Задержка в появлении выхода атомов Cs связана с запаздыванием начала испарения германия из источника вследствие инерционности его нагрева. Линейное возрастание выхода атомов Cs со временем напыления германия

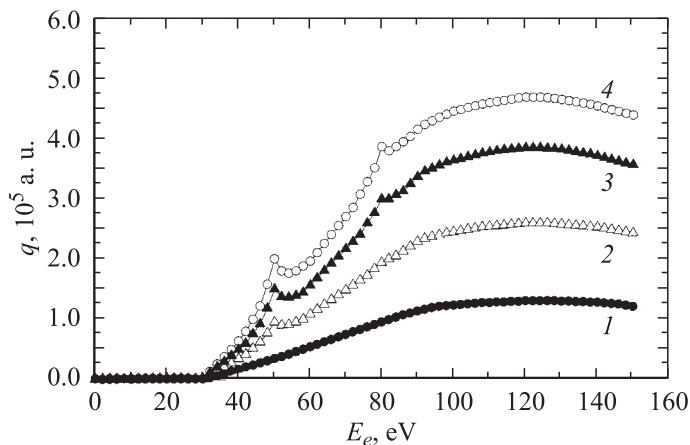


Рис. 3. ЭСД выход атомов Cs из пленки германия монослойной величины, покрытой различными степенями цезия, в зависимости от энергии бомбардирующих электронов: 1 — 0.25, 2 — 0.50, 3 — 0.75, 4 — 1.0.

свидетельствует о стабилизации температуры источника. Соответственно максимальный выход атомов Cs достигается при образовании монослойной пленки германия.

На рис. 2 приведены графики зависимостей выхода q атомов Cs от энергии бомбардирующих электронов E_e для монослойной пленки цезия, адсорбированной на пленку германия различной толщины при $T = 300$ К. Порог появления выхода атомов Cs не зависит от толщины пленки германия и с учетом работы выхода эмиттера составляет ~ 30 eV. Эта величина близка к энергии ионизации уровня германия $3d$ [5]. Для пленок германия тоньше 0.5 монослоя и толще двух монослоев выход q атомов Cs с ростом E_e растет приблизительно линейно до $E_e \sim 90$ eV, а затем плавно переходит в широкий максимум при $E_e \sim 120$ eV. В промежуточной области толщин германиевой пленки на зависимостях $q(E_e)$ наблюдаются резонансные пики при энергиях электронов E_e около 50 и 80 eV. Интенсивность этих пиков проходит через максимум с ростом толщины пленки германия и зависит от покрытия цезия Θ (рис. 3). Пик при $E_e \sim 50$ eV появляется при $\Theta > 0.25$, а пик при $E_e \sim 80$ eV отчетливо виден только при $\Theta > 0.5$. Положение пиков и порог

появления выхода атомов Cs не зависят от покрытия цезия, указывая, что энергия электронов не зависит от работы выхода мишени. Величины энергий электронов для резонансных пиков хорошо коррелируют с энергиями ионизации основных уровней вольфрама $5p$ и $5s$ [5].

Выход атомов Cs растет приблизительно линейно с ростом покрытия цезия до $\Theta \sim 0.9$, а затем проходит через пологий максимум. Наклон прямых $q(\Theta)$ возрастает с ростом энергии электронов и практически не зависит от толщины германиевой пленки.

Выход атомов Cs уменьшается с уменьшением температуры, но величина резонансных пиков при этом практически не изменяется. Также сохраняется положение порога и резонансных пиков.

Адсорбция цезия на поверхности германия сопровождается понижением работы выхода поверхности, причем атомы Cs распределяются равномерно по поверхности при $T = 300$ К [6,7], хотя могут занимать при этом различные адсорбционные места, так как в термодесорбционных спектрах наблюдается ряд резких пиков [7]. При низких покрытиях цезий адсорбируется в ионной форме, а при $\Theta > 0.5$ диполь-дипольное отталкивание приводит к ослаблению связи адсорбированных частиц с германием и металлизации адсорбированной пленки.

ЭСД атомов Cs, адсорбированных на поверхности пленки германия, напыленной на вольфрамовую ленту, может быть рассмотрена на основе модели Оже-стимулированной десорбции, которая была разработана для объяснения ЭСД атомов и ионов щелочных металлов из слоев, адсорбированных на поверхностях окисленного вольфрама и молибдена [8–11]. Согласно этой модели, основным каналом ЭСД атомов и ионов щелочных металлов является образование дырки на основном уровне кислорода $2s$ с энергией ионизации около 25 eV, которая определяет порог появления атомов и ионов щелочных металлов. Эта дырка заполняется электроном с уровня кислорода $2p$, вызывая Оже-процесс. Оже-электрон может либо покинуть адсорбционную систему, либо быть захваченным адионом щелочного металла. В результате Оже-процесса отрицательный ион кислорода становится положительным и, если Оже-электрон уходит из адсорбционной системы, начинает отталкивать положительный ион щелочного металла, что и приводит к ЭСД положительных ионов щелочных металлов. Если Оже-электрон нейтрализует положительный ион щелочного металла, а положительный ион кислорода восстанавливает отрицательный заряд

быстрее, чем реионизуется атом щелочного металла, то наблюдается ЭСД атомов щелочных металлов в результате перекрытия валентных орбиталей атома щелочного металла и отрицательного иона кислорода.

Германий достаточно хорошо изолирует адслои цезия от вольфрама, так как выход атомов Cs только слегка ниже, чем выход атомов Cs из слоя цезия, адсорбированного на окисленном вольфраме [9]. Порог появления выхода атомов Cs составляет ~ 30 eV, что хорошо согласуется с энергией ионизации уровня германия $3d$ и позволяет предположить, что в данном случае действует механизм ЭСД, аналогичный механизму для атомов щелочных металлов с окисленных W и Mo. Оже-электрон с энергией < 30 eV эффективно нейтрализует адсорбированный ион Cs^+ , а образовавшийся положительный ион германия быстро восстанавливает свой первоначальный заряд за счет электронов подложки.

Величина энергии Оже-электрона, вызывающего нейтрализацию анионов щелочного металла, имеет важное значение для реализации данного механизма ЭСД атомов щелочных металлов, так как эффективность нейтрализации аниона больше для медленных Оже-электронов [10,12].

Таким образом, впервые показано, что атомы Cs могут десорбироваться при электронном возбуждении германия.

Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 03–02–17523) и Российской государственной программы „Поверхностные атомные структуры“ (ГК № 1152).

Список литературы

- [1] Ageev V.N. // Progr. Surf. Sci. 1994. V. 47. P. 55.
- [2] Ageev V.N., Бурмистрова О.П., Кузнецов Ю.А. // ФТТ. 1987. Т. 29. В. 6. С. 1740.
- [3] Зандберг Э.Я., Ионов Н.И. Поверхностная ионизация. М.: Наука, 1969. 432 с.
- [4] Чайковский Э.Ф., Пятигорский Г.М., Деркач Ю.Ф. // Изв. АН СССР. Сер. Физ. 1974. Т. 38. В. 2. С. 376.
- [5] Анализ поверхности методами Оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии / Под ред. Д. Бриггса, М.П. Сиха. М.: Мир, 1987. С. 567–570.

- [6] *Weber R.E., Peria W.T. // Surf. Sci. 1969. V. 14. P. 13.*
- [7] *Surnev L., Tichov M. // Surf. Sci. 1979. V. 85. P. 413.*
- [8] *Ageev V.N., Burmistrova O.P., Yakshinskii B.V. // Surf. Sci. 1988. V. 194. P. 101.*
- [9] *Ageev V.N., Kuznetsov Yu.A., Potekhina N.D. // Surf. Sci. 1996. V. 367. P. 113.*
- [10] *Агеев В.Н., Кузнецов Ю.А., Потехина Н.Д. // ФТТ. 1997. Т. 39. В. 8. С. 1491.*
- [11] *Ageev V.N., Kuznetsov Yu.A. // Phys. Low-Dim. Structr. 1999. V. 1/2. P. 113.*
- [12] *Ageev V.N., Burmistrova O.P., Yakshinskii B.V. // Surf. Sci. 1990. V. 230. P. 295.*