

К ВОПРОСУ О ПЕРВОНАЧАЛЬНОМ ДВИЖЕНИИ ИОНОВ
ПРИ ЭЛЕКТРОННО-СТИМУЛИРОВАННОЙ ДЕСОРБЦИИВ.Н. А г е е в, О.П. Б у р м и с т р о в а,
А.М. М а г о м е д о в, Б.В. Я к ш и н с к и й

Впервые для хемосорбционной системы установлена возможность реверсивного движения ионов при ЭСД, которое обеспечивается за счет межатомного оже-процесса.

В последние годы существенно продвинулось понимание механизма электронно-стимулированной десорбции (ЭСД), однако многие важные аспекты этого процесса еще не ясны [1]. В частности, возможность первоначального смещения иона к поверхности, предшествующего его десорбции [2], остается дискуссионным моментом в механизме десорбции, стимулированной электронными возбуждениями. Этот эффект был обнаружен экспериментально только для физически адсорбированных слоев [3]. В настоящей работе такое смещение впервые зарегистрировано для хемосорбированной системы при ЭСД ионов лития Li^+ с вольфрама (W), покрытого монослойной пленкой кремния (Si), содержащей примеси фтора (F). Сверхвысоковакуумная установка содержала статический магнитный масс-спектрометр, совмещенный с энергоанализатором с задерживающим электрическим полем, и подробно описана ранее [4]. В качестве подложек использовались текстурированные W ленты с преимущественным выходом на поверхность грани (100). Источником кремния служил прямонакальный штабик из Si p -типа с концентрацией сурьмы $n_{SB} \approx 5 \cdot 10^{18}$ ат/см³, расположенный параллельно ленте-мишени. Напыление кремния производилось при температуре подложки $T=1500$ К, что обеспечивало создание на поверхности монокристаллической однородной пленки кремния [5]. Напыление лития производилось при температуре подложки 300 К из прямонакального испарителя путем восстановления Li_2O алюминием.

При бомбардировке подготовленной поверхности электронами наблюдалась эмиссия ионов Li^+ и F^+ вследствие наличия на поверхности малых примесей F , присутствовавшего в штабике Si . Концентрация F на поверхности могла быть уменьшена на несколько порядков (без существенного изменения концентрации Li) при облучении поверхности электронами с энергией $E_p=200$ эВ в течение нескольких минут при токе эмиссии $I_p=100$

На рис. 1 представлены графики зависимостей выхода g^+ ионов Li^+ от энергии E_p бомбардирующих поверхность электронов в присутствии фтора (кривая 1) и после удаления фтора с поверхности (кривая 2). Шкала энергий электронов скорректирована на контактную разность потенциалов между эмиттером электронов и мишенью. Концентрация напыленного Li составляла $N \sim 2 \cdot 10^{14}$ ат/см², что соответствует максимальному выходу ионов Li^+ . Видно, что десорбция ионов Li^+ при $E_p < 130$ эВ связана с присутствием на поверх-

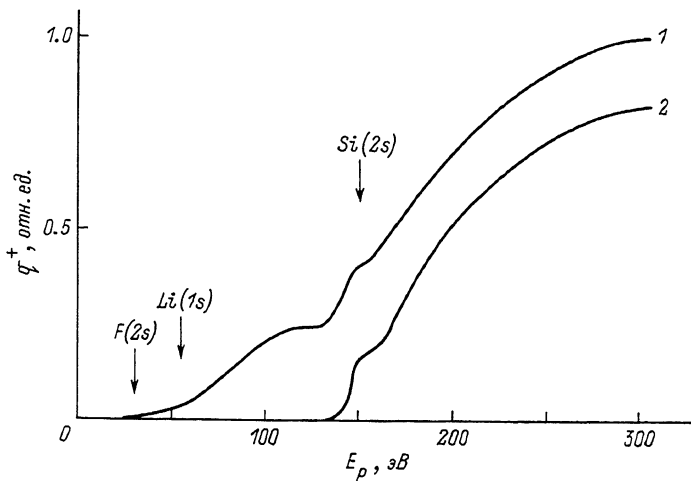


Рис. 1. Зависимости q^+ выхода ионов Li^+ от энергии E_p бомбардирующих электронов в присутствии F (1) и после удаления F с поверхности (2).

ности фтора, т.к. после его удаления с поверхности (кривая 2) десорбция ионов Li^+ в этом интервале энергий E_p прекращается. При наличии фтора порог появления ЭСД ионов Li^+ близок к 30 эВ, что соответствует энергии ионизации уровня $2sF$ [6]. За этим порогом на зависимости $q^+(E_p)$ наблюдается перегиб при $E_p \sim 56$ эВ, связанный с увеличением скорости выхода ионов Li^+ с ростом E_p . Положение этой особенности близко к энергии ионизации уровня $1sLi$ [6].

На рис. 2 представлены нормированные кривые задержки $i^+(E)$ ионов Li^+ при энергиях бомбардирующих электронов $E_p = 40$ эВ и $E_p = 100$ эВ (кривые 1 и 2 соответственно). Видно, что средняя энергия ионов Li^+ при $E_p = 100$ эВ больше, чем при $E_p = 40$ эВ. Изотопический эффект, т.е. отношение сечений десорбции ионов изотопов падает от $\sigma(^6Li^+, ^7Li^+) = 1.12 \pm 0.02$ при $E_p = 40$ эВ до $\sigma = 1.08 \pm 0.02$ при $E_p = 100$ эВ.

Эти экспериментальные факты находят объяснение в рамках предложенной нами ранее модели ЭСД [7, 8]. Фтор на поверхности $W-Si-Li$ находится в виде ионов F^- , а литий - в виде ионов Li^+ . Ионизация уровня $2sF$ электронным ударом и последующий внутриатомный оже-распад вакансии приводят к образованию ионов F^+ , что немедленно в результате кулоновского расталкивания ионов F^+ и Li^+ приводит к удалению с поверхности ионов Li^+ . В этом случае десорбция лимитируется временем жизни τ иона фтора F^+ , в течение которого десорбирующийся ион Li^+ наберет кинетическую энергию, достаточную для преодоления потенциального барьера притяжения к поверхности после восстановления на фторе отрицательного заряда.

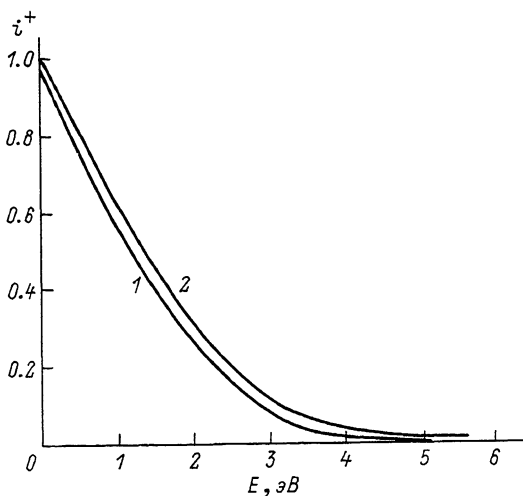


Рис. 2. Нормированные кривые задержки $i^+(E)$ при $E_p=40$ эВ (1) и $E_p=100$ эВ (2).

С другой стороны, если вакансия образуется на уровне $1sLi$, то ион Li^+ превращается в ион Li^{2+} и начинает притягиваться к поверхности под действием сил зеркального изображения. При сближении с поверхностью ион Li^{2+} в результате межатомного оже-процесса превращается в ион Li^+ , а соответствующий ион F^- — в ион F^+ . До момента межатомного оже-процесса ион Li^{2+} успевает набрать кинетическую энергию ΔE , сместившись на расстояние $\Delta X = X_0 - X^*$ (где X_0 — равновесное расстояние между ионами F^- и Li^+ ; X^* — расстояние, на котором произошел межатомный оже-процесс). Поэтому, прежде чем начать удаляться от поверхности вследствие возникшего после оже-процесса кулоновского отталкивания, ион Li^+ продолжает дальнейшее смещение к поверхности до расстояния X^{**} , где полностью теряет запас кинетической энергии ΔE , приобретенной им до межатомного оже-процесса. С этого момента, оказавшись на расстоянии $X^{**} < X_0$, ион Li^+ начинает десорбироваться, причем, как и в первом случае, десорбция лимитируется временем жизни фтора в состоянии F^+ . Вследствие такого многоступенчатого характера десорбции изменяется вероятность выхода ионов Li^+ из-за уменьшения расстояния X^{**} по сравнению с X_0 , что приводит к сокращению критического расстояния $X_{кр}$, на котором ион Li^+ успевает набрать достаточную для десорбции кинетическую энергию и, соответственно, к возрастанию максимальной энергии десорбированных ионов [8]. Уменьшение расстояния между ионами F^+ и Li^+ приводит также и к снижению отношения сечений десорбции изотопов лития, т.е. величины \mathcal{G} . Расчет, проведенный в соответствии с изложенной схемой, позволил определить следующие параметры. Равновесное расстояние $Li-F$ в такой системе $X_0 \approx 1.96$ Å, расстояние F

до поверхности W равно $\sim 3.53 \text{ \AA}$, $\tau \approx 1.1 \cdot 10^{-14} \text{ с}$, $\chi^* \approx 1.90 \text{ \AA}$ и $\chi^{**} \approx 1.86 \text{ \AA}$. При этом значение изотопического эффекта $\sigma/E_p = 100_{\text{эВ}} = 1.105$ оказалось несколько завышенным по сравнению с экспериментом, это может быть связано с изменением τ при движении иона Li^+ к поверхности за счет смещения уровней F^+ в поле Li^+ в сторону больших энергий связи, что препятствует электронному обмену с зоной проводимости вольфрама.

Таким образом, впервые для хемосорбционной системы обнаружено как прямое, так и реверсивное движение ионов при ЭСД в зависимости от реализации кулоновского „взрыва“ через внутриатомный или межатомный оже-процесс.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Агеев В.Н., Кузнецов Ю.А. В сб.: „Проблемы физической электроники“, Л.; ФТИ им. А.Ф. Иоффе АН СССР, 1987. С. 18-54.
- [2] Antoniewicz P.R. // Phys. Rev. B. 1980. V 21. P. 3811-3815.
- [3] Zhang Q.J., Gomer R., Bowman D.R. // Surf. Sci. 1983. V. 129. P. 535-562.
- [4] Агеев В.Н., Джалилов С.Т., Ионов Н.И., Потехина Н.Д. // ЖТФ. 1976. Т. 46. С. 1019-1029.
- [5] Агеев В.Н., Афанасьева Е.Ю., Галль Н.Р., Михайлов С.Н., Рутыков Е.В., Тонтегоде А.Я. // Поверхность. 1987. Т. 5. С. 7-14.
- [6] Бриггс Д., Сиха М.П. Анализ поверхности методами оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. М.: Мир, 1987. 567 с.
- [7] Агеев В.Н., Якшинский Б.В. // ФТТ. 1985. Т. 27. С. 99-105.
- [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 апреля 1989 г.