

11;12

## Автоколебательные эффекты при полевой десорбции щелочных металлов

© Д.П. Бернацкий, В.Г. Павлов

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

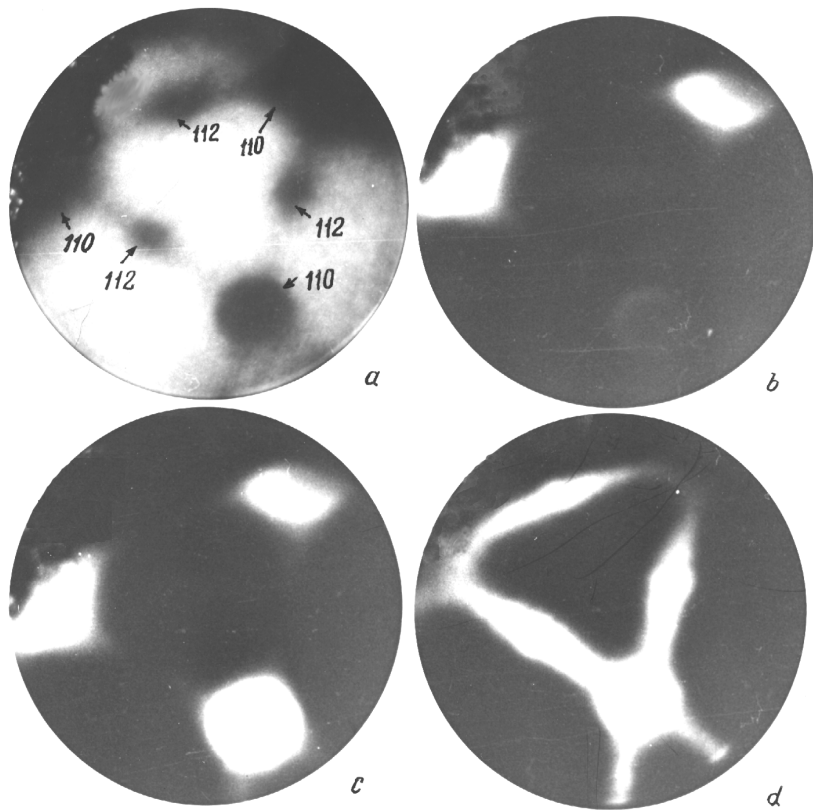
Поступило в Редакцию 30 октября 1999 г.

Обнаружены автоколебательные эффекты в процессе непрерывной полевой десорбции щелочных металлов (K, Cs) с вольфрама, покрытого пленкой золота. Получены микроскопические изображения поверхности в ионах щелочных металлов в полевом десорбционном микроскопе, отражающие различные стадии процесса.

Исследована полевая десорбция щелочных металлов (K, Cs) с вольфрама, покрытого пленкой золота толщиной от долей до нескольких монослоев. Исследования проводились в сверхвысоковакуумном полевом эмиссионном микроскопе [1], работающем в режиме полевой десорбционной микроскопии, полевой электронной микроскопии и масс-анализа десорбируемых ионов. Напыление золота и щелочных металлов на вольфрамовое острие контролировалось по полевым электронным изображениям.

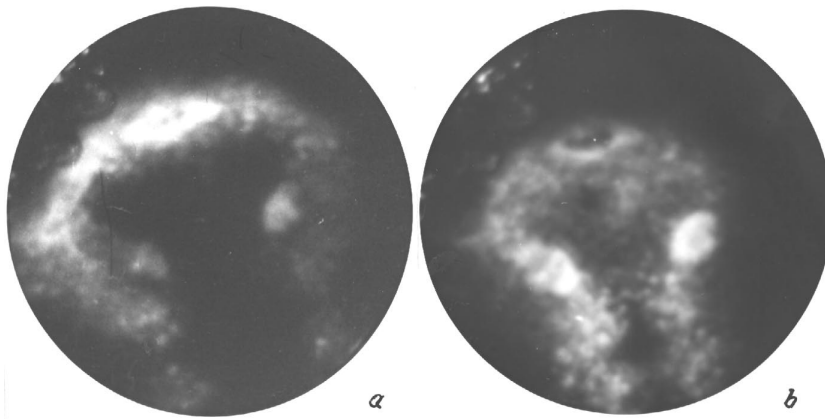
В работах [1–3] была обнаружена стационарная полевая десорбция щелочных металлов с вольфрама и получены полевые десорбционные изображения поверхности в непрерывном режиме. В этом режиме адатомы в зону десорбции поставляются путем поверхностной диффузии адсорбата с боковой поверхности острия. В данной работе при полевой десорбции щелочных металлов (K и Cs) с вольфрама с нанесенной на него пленкой золота были обнаружены автоколебательные эффекты, проявляющиеся в периодическом изменении десорбционного изображения при постоянных условиях эксперимента.

Автоколебательные эффекты возникали в определенном интервале электрических полей и температур при десорбции электрическим полем адсорбированных атомов щелочных металлов с вершины острия. Для калия автоколебательные эффекты наблюдались при непрерывной полевой десорбции в интервале электрических полей  $F = (1.4–3.2) \cdot 10^7$  V/cm и температур  $T = 500–800$  K и для цезия



**Рис. 1.** Полевое электронное изображение вольфрамового острья после отжига при  $T = 2500$  К (*a*); полевые десорбционные изображения в ионах  $\text{Cs}^+$  того же острья, покрытого золотом при  $F = 1.3 \cdot 10^7$  В/см и  $T = 540$  К (*b, c*) и  $T = 460$  К (*d*).

в интервале  $F = (1-2) \cdot 10^7$  В/см и  $T = 300-550$  К. Период колебаний составлял от долей до десятков секунд. Изменения изображения были разнообразного характера: периодические изменения яркости отдельных частей изображения, исчезновение, появление и передвижение зон десорбции.



**Рис. 2.** Полевые десорбционные изображения в ионах  $K^+$  вольфрамового острия, покрытого золотом при  $F = 2.1 \cdot 10^7$  V/cm и  $T = 630$  К.

На рис. 1 и 2 приведены фотографии полевых десорбционных изображений в непрерывном режиме, отражающих различные стадии автоколебательных процессов. На рис. 1, *a* приведено полевое электронное изображение чистого вольфрамового острия с обозначением наблюдаемых кристаллографических граней. На рис. 1, *b* и *c* показаны крайние стадии автоколебательного процесса при полевой десорбции цезия с вольфрамового острия с субмонослойным покрытием Au. Процесс состоит в следующем. На полевом десорбционном изображении в виде светлых областей отображаются две верхние грани типа (110) (рис. 1, *b*, эмиссия ионов  $Cs^+$  идет только с этих двух плоскостей). Третья нижняя грань (110) появляется на изображении примерно на 0.5 s (рис. 1, *c*), и затем эмиссия ионов цезия с нее исчезает. Период повторения составляет 5–15 s. При изменении режимов десорбции ( $F$ ,  $T$ ) изменяется характер автоколебательного процесса. При понижении  $T$  появляются светлые лучи (зонные линии  $\langle 111 \rangle$ ), соединяющие грани треугольником (рис. 1, *d*), которые тоже участвуют в колебательном процессе, имеющем сложный характер изменения яркости изображения. Повышение  $T$  приводит к полному исчезновению десорбции ионов цезия с нижней грани (110). Повышение поля  $F$  вызывает увеличение времени десорбции с нижней грани (110). После дополнительного нанесения

цезия на поверхность острия происходит инверсия: десорбция ионов цезия с нижней грани (110) идет постоянно, а с двух верхних граней десорбция возникает периодически.

На рис. 2 приведен пример автоколебательного процесса другого вида, полученный при полевой десорбции калия. Процесс состоит в постепенном наплывании светлого фона (зона десорбции калия) от краев (рис. 2, *a*) к центру (рис. 2, *b*) изображения вершины острия и быстрого возвращения назад к состоянию рис. 2, *a*. Период повторения этого процесса составляет 1–2 с.

Обнаруженные автоколебательные эффекты не ограничивались приведенными примерами. В зависимости от режима десорбции ( $F$ ,  $T$ , количество Au, K, Cs) наблюдались как периодические изменения полевых десорбционных изображений, так и стационарные изображения, характерные для непрерывной полевой десорбции щелочных металлов с чистых металлов [1,2]. Без золота на поверхности острия наблюдались только стационарные полевые изображения; автоколебания на десорбционных изображениях возникали лишь при наличии золота, даже в незначительных количествах (доли монослоя).

Обнаруженные автоколебательные эффекты при полевой десорбции обусловлены, по-видимому, сложным характером зависимости десорбирующего поля от поверхностной концентрации адсорбированных атомов щелочного металла. Роль золота в возникновении этих автоколебаний, связанных, вероятнее всего, с периодическим изменением концентрации атомов щелочного металла, пока недостаточно ясна. Однако можно высказать некоторые предположения о причинах обнаруженного явления.

Эффект автоколебаний может быть обусловлен спецификой адсорбционной системы золото–щелочной металл. Характерными для этой системы являются химическая реакция золота со щелочными металлами с образованием полупроводниковой пленки соединения [4] и диффузия атомов щелочного металла в золото и в пленку соединения [5]. В результате могут происходить периодические изменения концентрации атомов щелочного металла на определенных местах поверхности при протекании конкурирующих процессов поверхностной миграции, полевой десорбции, химической реакции (связывания атомов щелочного металла) и диффузии их в пленку золота или соединения. Изменение концентрации атомов щелочного металла сильно сказывается на изменении работы выхода поверхности и скорости десорбции ионов, формирующих полевое изображение.

С другой стороны, роль золота может сводиться к созданию определенных физических условий, в частности к созданию определенного распределения работы выхода по поверхности и ее зависимости от концентрации щелочного металла. В сочетании с процессом поверхностной диффузии это может приводить к такой концентрационной зависимости десорбирующего поля, при которой могут возникнуть наблюдаемые эффекты.

Обнаруженный эффект может носить достаточно общий характер и проявляться на других поверхностях с аналогичными свойствами. Его следует учитывать в полевой десорбционной микроскопии, в технологии ионных источников на основе непрерывной полевой десорбции. Дальнейшее исследование эффекта позволит лучше понять процессы полевой десорбции, поверхностной диффузии и взаимодействия атомов на поверхности.

Авторы выражают благодарность В.И. Палееву за полезные консультации при проведении работы и обсуждение полученных результатов.

Работа выполнена при поддержке Российской государственной программы "Поверхностные атомные структуры", проект № 3.14.99.

## Список литературы

- [1] *Бернацкий Д.П., Власов Ю.А., Павлов В.Г.* // ЖТФ. 1987. Т. 57. В. 11. С. 2257–2261.
- [2] *Bernatskii D.P., Pavlov V.G.* // Phys. Low-Dim. Struct. 1997. V. 7. P. 93–98.
- [3] *Мюллер Э.В., Цонг Т.Т.* Полевая ионная микроскопия, полевая ионизация и полевое испарение. М.: Наука, 1980.
- [4] *Spicer W., Sommer A.H., White J.C.* // Phys. Rev. 1959. V. 115. N 1. P. 57–62.
- [5] *Кнатко М.В., Лапушкин М.Н., Палеев В.И.* // Письма в ЖТФ. 1998. Т. 24. В. 10. С. 48–54.