

13

Полевая эмиссионная микроскопия поверхности полевого эмиттера на основе Ir—C—Cs

© Д.П. Бернацкий, В.Г. Павлов

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург
E-mail: bernatskii@ms.ioffe.rssi.ru

Поступило в Редакцию 21 июня 2013 г.

Методами полевой электронной и полевой десорбционной микроскопии исследованы эмиссионные свойства иридиевого полевого эмиттера с различными формами углерода (хемосорбированный углерод, двумерные графитовые структуры) и адсорбированного цезия на поверхности. Получены полевые электронные и полевые десорбционные изображения эмитирующей поверхности, соответствующие различным фазовым состояниям углерода. Обнаружено, что двумерные графитовые структуры преимущественно растут в области граней (100) и (111) иридия.

В данной работе приводятся результаты исследований эмиссионных свойств поверхности полевого эмиттера из иридия при адсорбции атомов цезия на чистую поверхность иридия, на поверхность иридия с хемосорбированным углеродом и при образовании на поверхности эмиттера двумерных графитовых структур (графена).

Для изучения эмиссионных процессов (полевой эмиссии электронов и ионов цезия с поверхности полевого эмиттера) использовался полевой электронный и десорбционный микроскоп с широкоугольным атомным зондом [1]. Метод позволял не только получать количественные данные об изменении работы выхода поверхности и величине эмиссионных токов, но и визуально наблюдать в нанометровом масштабе изменения эмиссионных изображений монокристаллической поверхности при изменении фазового состава углерода на поверхности эмиттера.

Образец в виде острия изготавливался из иридиевой проволоки путем электрохимического травления в щелочном растворе. Далее следовал отжиг при $T = 2500$ К, который приводил к формированию на вершине острия кристалла равновесной формы (острие формы отжига

с радиусом закругления вершины порядка 500 nm) с центральной гранью (100), что контролировалось по появлению характерного полевого электронного изображения поверхности иридиевого полевого эмиттера. Получение двумерной графитовой структуры (графена) и пленки хемосорбированного углерода на поверхности эмиттера осуществлялось при пиролизе паров бензола [2]. В случае пиролиза паров бензола монослойная графитовая структура на поверхности иридия образуется при $T = 1700$ К и работа выхода поверхности составляет 4.4 eV [3]. Такое значение работы выхода получается и при хемосорбции углерода. Изменения работы выхода поверхности вычислялись из уравнений Фаулера–Нордгейма для токов полевой электронной эмиссии.

На рис. 1, *a* приведено полевое электронное изображение поверхности иридиевого полевого эмиттера при адсорбции моноатомного слоя цезия. При этом напряжение эмиссии снизилось с 15 kV (чистая поверхность иридия) до 2.9 kV (монослой атомов цезия), что соответствовало снижению работы выхода с 5.0 до 1.6 eV. Из полученного полевого электронного изображения видно, что эмиссия электронов идет с контура центральной верхней грани (100) и с линий, соединяющих углы граней {100} иридия. Полевая эмиссия ионов цезия с поверхности эмиттера имеет характер, свойственный для металлических поверхностей [4]. Вначале при увеличении напряжения на полевом эмиттере происходит лавинообразная вспышка эмиссионного тока (десорбция ионов цезия) со всей поверхности вершины острия. При последующем небольшом уменьшении напряжения на полевом эмиттере ионный ток стабилизируется с контура одной из ступеней грани (100) иридия (рис. 1, *b*) вследствие диффузии атомов цезия в неоднородном электрическом поле на вершину острия [5].

Полевое электронное изображение эмиттера с хемосорбированным углеродом и с монослоем цезия на поверхности отличается от предыдущих и имеет вид, приведенный на рис. 1, *c*. Из полученного полевого электронного изображения следует, что эмиссия электронов идет с поверхности кристалла иридия, за исключением мест, где расположены плоские низкоиндексные грани. Полевая эмиссия ионов цезия также имеет характер, свойственный для металлических поверхностей. После лавинообразной десорбции цезия и последующего снижения приложенного к эмиттеру напряжения получается стабильное полевое десорбционное изображение поверхности (рис. 1, *d*). Из сравнения полученных полевых электронных и полевых десорбционных изображений видно,

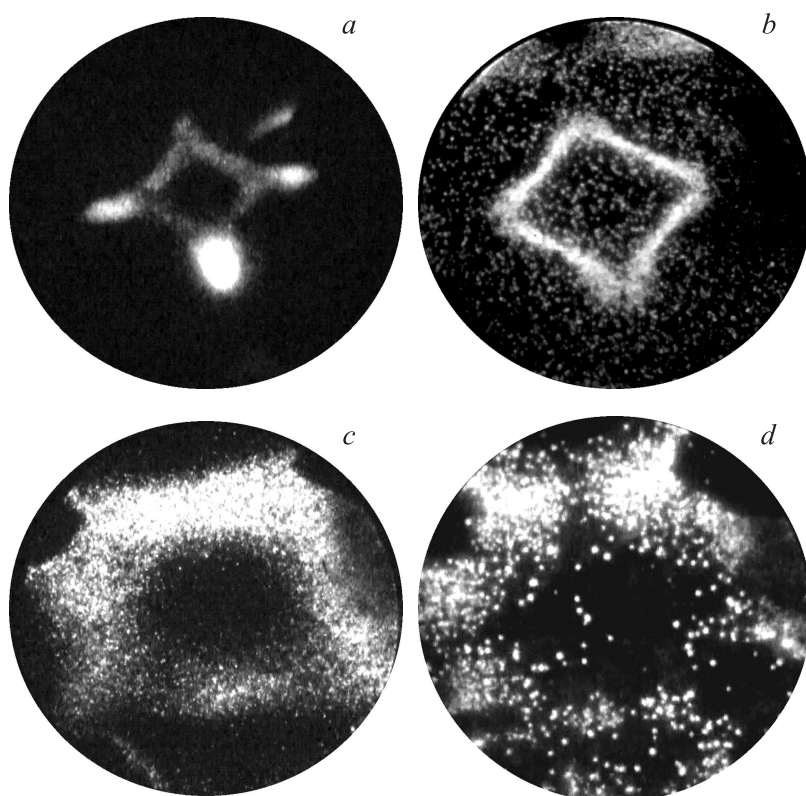


Рис. 1. Полевое электронное (*a, c*) и десорбционное (*b, d*) изображения иридиевого полевого эмиттера с монослоем цезия (*a, b*) и с хемосорбированным углеродом и монослоем цезия (*c, d*).

что полевая эмиссия электронов и полевая эмиссия ионов происходят с одних и тех же мест на поверхности эмиттера.

При создании графитовой монослойной структуры (графена) на поверхности эмиттера эмиссионные свойства существенно изменяются. При монослойном и субмонослойном покрытии цезием полевая эмиссия электронов идет только с мест на поверхности эмиттера, где расположены грани (100) и (111) иридия (рис. 2, *a*). Было замечено, что

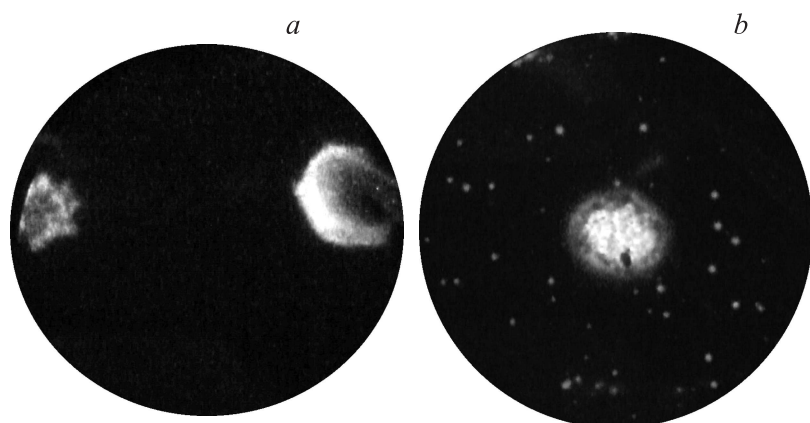


Рис. 2. *a* — полевое электронное изображение иридиевого эмиттера (изображение смещено влево), грань (100) слева, грань (111) справа, *b* — полевое десорбционное изображение эмиттера.

эмиссионный контраст граней (100) и (111) неодинаковый, но он выравнивается при определенной работе выхода поверхности с изменением концентрации атомов цезия на поверхности эмиттера. Полевая эмиссия ионов цезия с поверхности эмиттера имеет сложный характер. При увеличении напряжения на эмиттере вначале (при напряжении 9.6 kV) проявляется эмиссия ионов цезия с контура, расположенного в области грани (100) иридия. Затем при дальнейшем увеличении электрического поля (напряжение составляет 10.3 kV) скачком происходит смена полевого десорбционного изображения (низкополевая фаза десорбции). Площадь эмиссии ионов цезия увеличивается по поверхности эмиттера, за исключением мест, где расположены низкоиндексные грани иридия. При дальнейшем увеличении напряжения на эмиттере на полевого десорбционном изображении можно наблюдать, что эмиссия ионов цезия уходит к краям экрана и исчезает. Это связано с тем, что с ростом напряжения резко возрастает скорость десорбции цезия, его концентрация на поверхности в области более сильного поля уменьшается, а диффундирующий по поверхности цезий десорбируется не доходя до вершины острия. При последующем существенном увеличении электрического поля наблюдается лавинообразная десорбция ионов

цезия с областей, где расположены грани (100) (рис. 2, *b*, напряжение на эмиттере 21 kV) и (111) иридия (высокополевая фаза десорбции) [6]. При этом работа выхода поверхности составляет ~ 4.4 eV, что говорит об отсутствии атомов цезия на поверхности эмиттера.

Появление высокополевой фазы десорбции ионов цезия с поверхности полевого эмиттера можно объяснить в предположении образования графеновых структур (островков) в области граней (100) и (111) иридия и интеркалировании их атомами цезия. Атомы цезия достаточно легко проникают под графеновый слой (даже при температуре $T = 400$ K), но высвобождение атомов цезия из-под островков графена в случае термической десорбции происходит при высоких температурах вместе с разрушением островков [7]. В случае приложения электрического поля разрушения графеновых островков после полевой десорбции цезия не наблюдается. После повторного напыления атомов цезия результаты с полевой десорбцией цезия воспроизводятся. Следует отметить, что с других участков поверхности исследованного полевого эмиттера высокополевая фаза полевой десорбции цезия не наблюдалась, что может быть следствием преимущественного роста двумерных графитовых структур в области плоских низкоиндексных граней иридия.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 11-08-00561-а).

Список литературы

- [1] Бернацкий Д.П., Павлов В.Г. // Изв. РАН. Сер. физ. 2009. Т. 73. № 5. С. 713–715.
- [2] Rut'kov E.V., Gall N.R. // Physics and applications of graphene — experiments / Ed. S. Mikhailov. Publisher: InTech, 2011. P. 293–326.
- [3] Gall N.R., Rut'kov E.V., Tontegode A.Ya. // Int. J. Mod. Phys. B. 1997. V. 11. P. 1865–1911.
- [4] Бернацкий Д.П., Власов Ю.А., Павлов В.Г. // ЖТФ. 1987. Т. 57. В. 11. С. 2257–2261.
- [5] Ageev V.N., Bernatskii D.P., Kuznetsov Yu.A., Pavlov V.G., Potekhina N.D., Yakshinskii B.V. // Phys. Low-Dim. Struct. 1994. V. 7. P. 51–61.
- [6] Бернацкий Д.П., Павлов В.Г. // Письма в ЖТФ. 2011. Т. 37. В. 24. С. 35–41.
- [7] Галль Н.Р., Лавровская Н.П., Рутьков Е.В., Тонтегоде А.Я. // Письма в ЖТФ. 2004. Т. 74. В. 2. С. 105–109.