

11

Импульсы ионного тока при полевой десорбции цезия с графена на иридии

© 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 29 июня 2012 г.

Обнаружены импульсы тока ионов Cs^+ при полевой десорбции в постоянном электрическом поле с иридиевого острия, покрытого пленкой графена. Импульсы длительностью менее 0.1 с наблюдались после напыления атомов цезия на графен и последующего удаления цезия с поверхности. Во время импульса на экране полевого десорбционного микроскопа наблюдалась вспышка, занимающая всю поверхность изображения граней $\{001\}$ и $\{111\}$. Рассматриваются возможные механизмы образования вспышек с привлечением модели интеркаляции цезия слоем графена и выхода атомов Cs из-под пленки под действием электрического поля.

С помощью полевой десорбционной микроскопии непрерывного режима [1] исследована полевая десорбция ионов цезия с поверхности иридиевого эмиттера с монослойной пленкой графена. Полевой эмиттер представляет собой острие с радиусом вершины порядка 500 nm. Формирование острия, очистка поверхности, получение пленки графена и изучение эмиссионных свойств осуществлялись в сверхвысоковакуумной камере полевого эмиссионного микроскопа. Полевые электронные и ионные изображения поверхности эмиттера регистрировались с помощью двух микроканальных пластин и люминесцентного экрана.

Моноатомная пленка графена формировалась на иридиевом образце методом пиролиза бензола [2] при давлении паров бензола $p = 10^{-7}$ Торр и температуре острия $T = 1770$ К. Образование пленки графена контролировалось по изменению работы выхода поверхности. Изменения работы выхода определялись из уравнений Фаулера–Нордгейма для токов полевой электронной эмиссии чистого эмиттера (5.4 eV) и эмиттера с нанесенной углеродной пленкой. Основным критерием получения двумерной графитовой пленки служило снижение работы выхода до величины, равной $\phi = 4.4$ eV [3].



Рис. 1. Полевое электронное изображение иридиевого острья с пленкой графена после напыления цезия ($V = 1.8 \text{ kV}$).

Напыление примерно одного моноатомного слоя атомов цезия вызвало снижение работы выхода до 2.5 eV . На рис. 1 приведено полевое электронное изображение иридиевого эмиттера с адсорбированным цезием, где видны две грани иридия $\{100\}$ внизу и $\{111\}$ вверху. Электронная эмиссия наблюдалась с области центральной грани $\{100\}$ и с четырех симметрично расположенных граней $\{111\}$ иридия.

Полевая десорбция цезия с графена при $T = 300 \text{ K}$ проявлялась вначале как однородная эмиссия отдельных ионов цезия со всей поверхности вершины острья [4]. Однако после удаления адсорбированного цезия с поверхности графена полевая десорбция цезия не пропадает. Цезий с поверхности удалялся с помощью кратковременного нагрева. После такого прогрева работа выхода увеличивалась с 2.5 до 4.2 eV , т.е. практически возвращалась к работе выхода графеновой пленки на иридии до нанесения на нее цезия. В этом случае эмиссия ионов локализована на краях низкоиндексных граней $\{100\}$ и $\{111\}$. Эмиссия ионов цезия начинается с нескольких точек на краях граней (рис. 2, *a* и *c*). Положение этих точек не изменялось при повторных экспериментах. При подъеме напряжения количество эмиссионных центров увеличивалось.

При дальнейшем подъеме напряжения начиналась эмиссия со всего контура грани и ее интенсивность увеличивалась, а затем при еще более

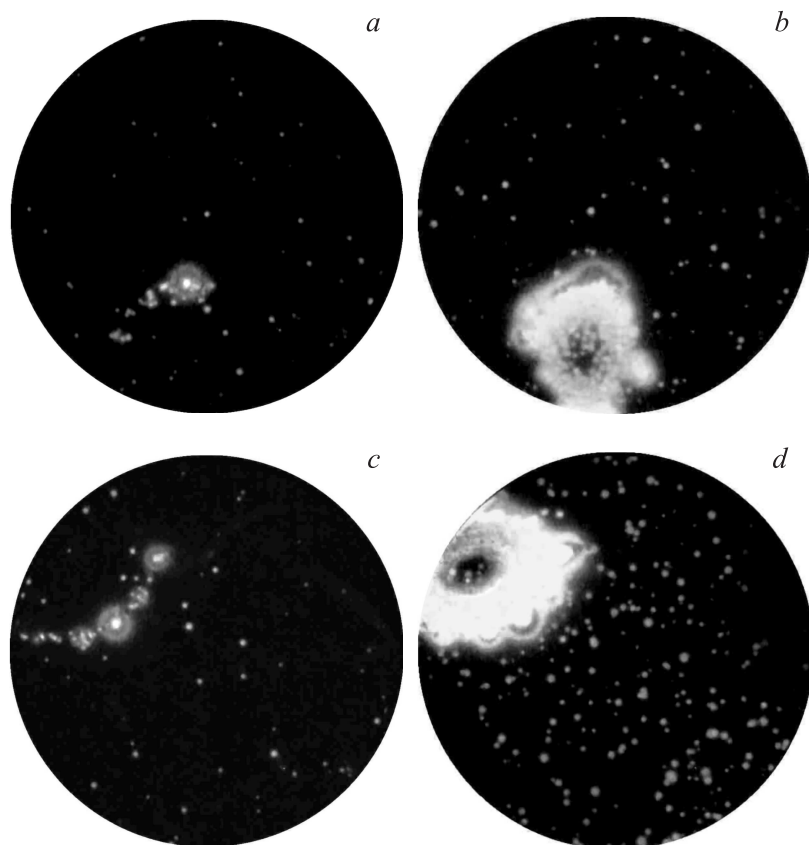


Рис. 2. Полевые десорбционные изображения после удаления цезия с поверхности графена: эмиссия ионов Cs^+ с единичных точечных центров вокруг граней a — (100) и c — (111); вспышки с граней b — (100) и d — (111). Изображения получены при постепенном подъеме напряжения на эмиттере: a — 9.2 kV, b — 9.3 kV, c — 11.5 kV, d — 11.6 kV.

высоком напряжении происходил импульс ионного тока длительностью менее 0.1 s с одной из граней. В этом случае на экране микроскопа наблюдалась вспышка. При дальнейшем подъеме напряжения вспышки последовательно происходили со всех плоских граней. На рис. 2 пока-

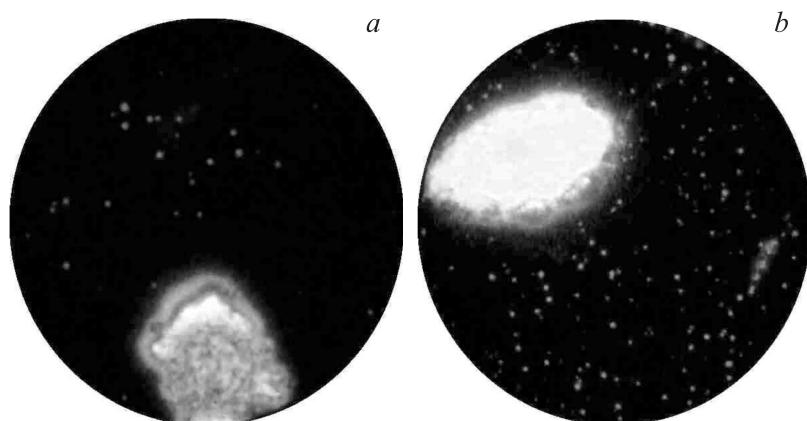


Рис. 3. Вспышки с граней: a — (100), b — (111).

заны вспышки ионов цезия на полевых десорбционных изображениях с области грани (100), b и с области грани (111) c последовательно во времени при увеличении напряжения на эмиттере.

В результате вспышки ионного тока на экране формируется яркое пятно, занимающее изображение всей грани (рис. 3) или всей грани, за исключением небольшой области в ее центре (рис. 2, b , c). После вспышек со всех граней $\{001\}$ и $\{111\}$ полевая десорбция цезия прекращалась: при повторных снижениях и подъемах напряжения эмиссии ионов не было. Однако если после вспышки снова нанести атомы цезия и удалить их с поверхности нагреванием, то описанная выше последовательность вспышек повторялась.

Объяснение наблюдаемых процессов может быть основано на явлении интеркаляции пленки графена на металлической подложке атомами цезия [5]. Атомы цезия проникают под пленку графена и остаются там при нагревании эмиттера, при котором цезий удаляется с поверхности. При приложении десорбирующего цезий электрического поля атомы цезия выходят из-под пленки через определенные места на ее границах (дефекты) и десорбируются в виде ионов. Эти места (клапаны для выхода атомов цезия) изображаются на экране десорбционного микроскопа в виде ярких точек (рис. 2, a , c).

Объяснение происхождения всплесков ионного тока с плоских граней вызывает трудности. Можно рассмотреть несколько возможных механизмов возникновения всплесков.

В условиях, предшествующих появлению всплесков, цезия на поверхности графеновой пленки нет, что следует из большой работы выхода и отсутствия полевой десорбции при тех же и более высоких напряжениях, при которых эмиссия ионов наблюдалась непосредственно после напыления цезия. Можно предположить, что при повышении десорбирующего поля атомы цезия выходят из-под пленки и переходят на поверхность пленки на гранях, накапливаются там, а затем практически одновременно десорбируются. Лавинообразный механизм полевой десорбции щелочных металлов существует, что связано с усилением интенсивности полевой десорбции при уменьшении поверхностной концентрации атомов щелочного металла [6]. Однако остается не вполне понятным первый этап предполагаемого механизма — накопление атомов на поверхности, так как цезий должен был бы десорбироваться с грани уже в самом начале накопления при малых покрытиях, и соответственно при меньших значениях напряженности десорбирующего поля. Эту десорбцию мы и наблюдаем, но не с графеновой пленки на гранях, а в местах предполагаемого выхода цезия из-под пленки (рис. 2, *a, c*).

Другим возможным механизмом могло быть мгновенное удаление (срыв) пленки графена с грани с освобождением находящихся под пленкой атомов цезия, что наблюдалось, например, в случае полевой десорбции цезия с графитовых нанокластеров в аморфном углероде [7]. Это предположение не соответствует экспериментальным данным, так как после нового напыления цезия после всплесков происходят процессы, полностью идентичные первоначальным до всплесков, что свидетельствует о сохранении пленки графена на поверхности. Можно предположить, что электрическое поле отрывает часть пленки или ее края, например на контуре грани, освобождая цезий, а затем пленка после мгновенной десорбции цезия с грани возвращается на место. В пользу этого механизма могло бы свидетельствовать сохранение темного пятна в центре грани (рис. 2, *b, d*) на десорбционных изображениях, полученных во время всплесков, т. е. в центре грани пленка остается на поверхности, препятствуя десорбции, в то время как на краях пленка приподнимается, освобождая атомы цезия для десорбции. Однако такие темные пятна наблюдаются не во всех случаях. Часто ионы цезия во время всплески десорбируются со всей поверхности грани (рис. 3).

Таким образом, обнаружены импульсы ионного тока при полевой десорбции цезия с поверхности иридиевого эмиттера, покрытого монокристаллической пленкой графена. На полевых десорбционных изображениях непрерывного действия импульсы проявляются в виде коротких вспышек с плотноупакованных плоских граней. Для выяснения природы вспышек требуются дальнейшие исследования.

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

Список литературы

- [1] *Бернацкий Д.П., Павлов В.Г.* // Известия РАН. Сер. физ. 2009. Т. 73. С. 713.
- [2] *Зандберг Э.Я., Рутков Е.В., Тонтегоде А.Я.* // ЖТФ. 1975. Т. 45. С. 1884.
- [3] *Gall N.R., Rut'kov E.V., Tontegode A.Ya.* // Int. J. Mod. Phys. B. 1997. V. 11. P. 1865.
- [4] *Бернацкий Д.П., Павлов В.Г.* // Письма в ЖТФ. 2011. Т. 37. В. 24. С. 35.
- [5] *Rut'kov E.V., Gall N.R.* // Physics and applications of graphene — experiments / Ed. S. Mikhailov. Publisher: InTech, 2011. P. 293–326.
- [6] *Бернацкий Д.П., Власов Ю.А., Павлов В.Г.* // ЖТФ. 1987. Т. 57. С. 2257.
- [7] *Бернацкий Д.П., Иванов-Омский В.И., Павлов В.Г.* // Труды 2-го Международного междисциплинарного симпозиума „Физика низкоразмерных систем и поверхностей“. Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ АПСН, 2010. С. 37.