Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный университет»

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ИЗУЧЕНИЯ КЛАСТЕРОВ,
НАНОСТРУКТУР
И НАНОМАТЕРИАЛОВ**

**PHYSICAL AND CHEMICAL ASPECTS
OF THE STUDY OF CLUSTERS,
NANOSTRUCTURES AND
NANOMATERIALS**

**FIZIKO-HIMIČESKIE ASPEKTY
IZUČENIÂ KLASTEROV,
NANOSTRUKTUR I NANOMATERIALOV**

МЕЖВУЗОВСКИЙ СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

выпуск 11

ТВЕРЬ 2019

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

Ф50

Рецензирование статей осуществляется на основании Положения о рецензировании статей и материалов для опубликования в Межвузовском сборнике научных трудов «Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов».

Официальный сайт издания в сети Интернет:

<https://www.physchemaspects.ru>

Ф50 Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов [Текст]. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2019. – Вып. 11. – 680 с.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 7747789 от 13.12.2011.

Издание составлено из оригинальных статей, кратких сообщений и обзоров теоретического и экспериментального характера, отражающих результаты исследований в области изучения физико-химических процессов с участием кластеров, наноструктур и наноматериалов физики, включая межфазные явления и нанотермодинамику. Сборник предназначен для научных и инженерно-технических работников, преподавателей ВУЗов, студентов и аспирантов. Издание подготовлено на кафедре общей физики Тверского государственного университета.

Переводное название: Physical and chemical aspects of the study of clusters, nanostructures and nanomaterials

Транслитерация названия: Fiziko-himičeskie aspekty izučeniâ klasterov, nanostruktur i nanomaterialov

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

Print ISSN 2226-4442

Online ISSN 2658-4360

© Коллектив авторов, 2019

© Тверской государственнй университет, 2019

УДК 538.971

Краткое сообщение

**ПОЛЕВАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ С
НАНОСТРУКТУРИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ
НАУГЛЕРОЖЕННОГО ИРИДИЯ**

Д.П. Бернацкий, В.Г. Павлов

ФГБУН «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук»

194021, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26

bernatskii@ms.ioffe.ru

DOI: 10.26456/pcascnn/2019.11.086

Аннотация: Исследованы характеристики полевой электронной эмиссии иридиевого острия, с различными углеродными образованиями на его поверхности. Обнаружено, что в ряде случаев покрытый углеродом эмиттер проявляет значительно большую стабильность эмиссии и устойчивость к воздействию остаточных газов при работе в недостаточно хороших вакуумных условиях по сравнению с металлическими эмиттерами.

Ключевые слова: электронная эмиссия, углерод, иридий, вакуум, поверхность.

Полевые эмиттеры электронов обладают уникальными свойствами для получения и фокусировки пучков с большой плотностью тока. Узкие потоки электронов с большой плотностью тока, получаемые из полевых эмиттеров, создают хорошие перспективы для использования их в электронной микроскопии, рентгеновском микроанализе и других видах электроннолучевых методик и технологий. Чаще всего используются электронные эмиттеры в форме острия из тугоплавкого металла. Такие эмиттеры достаточно просты в изготовлении, их легко очистить от объемных и поверхностных загрязнений высокотемпературным прогревом в вакууме. Металлические эмиттеры позволяют получать узкие электронные пучки с рекордно большой плотностью тока [1] и обладают рядом других достоинств. Однако они обладают и рядом недостатков. Адсорбция молекул остаточных газов на металлической поверхности приводит к изменению работы выхода, что приводит к значительному изменению плотности эмиссионного тока, которая экспоненциально зависит от работы выхода. Изменения тока полевой электронной эмиссии снижает стабильность работы эмиттера и во многих случаях делает невозможным практическое использование обладающих уникальными свойствами источников электронов.

Значительно большей стабильностью при работе в плохих вакуумных условиях обладают эмиттеры из углеродных материалов [2, 3]. Но изготовление острия, например, из графита или алмаза намного технологически сложнее, чем из металла. При исследовании полевой электронной эмиссии углеродных материалов использовался образец, состоящий из металлической подложки с нанесенным на нее углеродом.

В задачу данной работы входило изучение стабильности полевой

электронной эмиссии иридиевого эмиттера, на поверхности которого углеродное покрытие создано хорошо известным и достаточно простым методом термического разложения молекул бензола [4-6].

Исследования проводились в полевом эмиссионном микроскопе с детектором полевых электронных и ионных изображений поверхности, состоящим из двух микроканальных пластин диаметром 56 мм и люминесцентного экрана. Острие изготавливалось из иридиевой проволоки электрохимическим травлением в щелочном растворе и высокотемпературным отжигом в вакууме. Во время отжига происходила очистка и формирование кристаллической структуры эмиттера в виде острия с радиусом вершины порядка 500 нм. Процессы очистки и формирования острия формы отжига контролировались по полевым электронным изображениям.

Нанесение углеродного покрытия производилось выдержкой нагретого до $T=1700$ К острия в парах бензола при давлении $5 \cdot 10^{-5}$ Торр в течении. В результате каталитического разложения молекул бензола на поверхности иридиевого острия образовались графеновые и графитовые структуры. С помощью характеристик Фаулера-Нордгейма были вычислены работы выхода поверхности до и после экспозиции.

Рис. 1. Полевое электронное изображение иридиевого эмиттера с монокристаллом графита на вершине.

Свойства углеродного покрытия зависела от экспозиции эмиттера в парах бензола, и процессы образования углеродных структур отличались от процессов, происходивших при разложении молекул бензола на поверхности рения. При малых экспозициях образовывалась пленка графена на плотноупакованных гранях вершины острия и отдельные атомы или их скопления на скругленных участках. При больших экспозициях на вершине острия вырастал монокристалл графита.

Напыление щелочных металлов на покрытый графитом иридий приводило к понижению рабочих напряжений эмиттера [7-8], а, в определенных случаях, к локализации эмиссии на небольшой площади поверхности эмиттера. На рис. 1 приведен пример полевого электронного

изображения, а на рис. 2, график 3 – характеристика Фаулера-Нордгейма, соответствующая рис. 1.

Рис. 2. Вольт-амперные характеристики Фаулера-Нордгейма, соответствующие: 1 – чистому иридию, 2 – рис. 1, 3 – рис. 3 а.

Эти состояния эмиттера были получены в результате напыления атомов цезия на поверхность графитового покрытия и последующего прогрева при температуре $T=500$ К. При таком прогреве часть атомов цезия десорбировалась с поверхности, а часть атомов цезия перешла в интеркалированное состояние внутри графита. Как видно на рис. 3 а эмиссия электронов идет только с области поверхности над гранью (001) исходного иридиевого острья. Форма пятна эмиссии зависела от исходного состояния графитового покрытия. В одних случаях получалось квадратное пятно, а в других (при других экспозициях в парах бензола) форма пятна была близка к кругу (см. рис 3 а).

На рис. 1 приведено его полевое электронное изображение, а на рис. 2, характеристики Фаулера-Нордгейма чистого иридиевого острья (график 1) и выросшего на нем кристалла графита (график 2). Эмиссионное изображение и эмиссионные характеристики такого эмиттера (иридиевое острие, покрытое графитом) было устойчивым по отношению к адсорбции остаточных газов. Они не изменялись после выдержки эмиттера в течение нескольких суток в вакуумной камере без откачки (давление возрастало до 10^{-3} Торр). В течение месяца на одном и том же покрытом графитом эмиттере проводились эксперименты с напылением щелочных металлов. Прогрев эмиттера для удаления напыленных адсорбатов возвращал его к исходному состоянию (см. рис. 1 и график 2 на рис. 2).

Эмиссия из небольших областей на поверхности эмиттера представляет определенную ценность для электронно-лучевых

изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2017. – Вып. 9. – С. 89-93.

8. **Бернацкий, Д.П.** Влияние углерода на диффузию цезия по поверхности рения / Д.П. Бернацкий, В.Г. Павлов // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2018. – Вып. 10. – С. 93-98.

References:

1. **Fursej, G.N.** Field emission / G.N. Fursej. – SPb: Izd-vo «Lan'», 2012. – 320 p.
2. **Forbes, R.G.** Low-macroscopic-field electron emission from carbon films and other electrically nanostructured heterogeneous materials: hypotheses about emission mechanism / R.G. Forbes // Solid-State Electronics. – 2001. – V. 45. – I. 6. – P. 779-808.
3. **Wu, Y.H.** Two-dimensional carbon nanostructures: Fundamental properties, synthesis, characterization, and potential applications / Y.H. Wu, T. Yu, Z.X. Shen // Journal of Applied Physics. – 2010. – V. 108. – I. 7. – P. 071301-1-071301-38.
4. Physics and applications of grapheme – Experiments / ed. by S. Mikhailov. – Rijeka, Croatia: InTech, 2011. – 540 p.
5. **Liao, Ch.** High-voltage electric-field-induced growth of aligned «cow-nipple-like» submicro-nano carbon isomeric structure via chemical vapor deposition / Ch. Liao, Yu. Zhang, Ch. Pan // Journal of Applied Physics. – 2012. – V. 112. – I. 11. – P. 114310-1-114310-8.
6. **Rut'kov, E.V.** Equilibrium nucleation, growth and thermal stability of graphene on solids / E.V. Rut'kov, N.R. Gall // In: Physics and applications of grapheme – Experiments; ed. by S. Mikhailov. – Rijeka, Croatia: InTech, 2011. – P. 209-292.
7. **Bernatskii, D.P.** Field desorption of cesium atoms from nanostructured rhenium surface / D.P. Bernatskii, V.G. Pavlov // Physical and chemical aspects of the study of clusters, nanostructures and nanomaterials. – 2017. – I. 9. – P. 89-93. (In Russian).
8. **Bernatskii, D.P.** The effect of carbon on the diffusion of cesium on the rhenium surface / D.P. Bernatskii, V.G. Pavlov // Physical and chemical aspects of the study of clusters, nanostructures and nanomaterials. – 2018. – I. 10. – P. 93-98. (In Russian).

Short communication

FIELD ELECTRON EMISSION FROM NANOSTRUTURED SURFACE OF CARBONIZED IRIDIUM

D.P. Bernatskii, V.G. Pavlov

Ioffe Institute, Saint Petersburg, Russia

DOI: 10.26456/pcascnn/2019.11.086

Abstract: The characteristics of the field electron emission of the iridium tip with different carbon formations on its surface are investigated. It was found that in some cases, compared to metal emitters the carbon-coated emitter exhibits significantly greater emission stability and resistance to residual gases when operating in insufficiently good vacuum conditions.

Keywords: *electron emission, carbon, iridium, vacuum, surface.*

Бернацкий Дмитрий Петрович – к.ф.-м.н., старший научный сотрудник ФГБУН «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук»

Павлов Виктор Георгиевич: – д.ф.-м.н., старший научный сотрудник ФГБУН «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук»

Dmitrii P. Bernatskii – Ph.D., Senior Researcher, Ioffe Institute

Victor G. Pavlov – Dr. Sc., Senior Researcher, Ioffe Institute

Поступила в редакцию/received: 05.08.2019; после рецензирования/revised: 20.10.2019; принята/accepted 15.11.2019.