

05;11;12

Эмиссия отрицательных ионов при полевой электронной эмиссии из аморфного углерода (α -C : H)

© Д.П. Бернацкий, А.В. Чернышев, В.И. Иванов-Омский,
В.Г. Павлов, Т.К. Звонарева

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург
E-mail: bernatskii@ms.ioffe.rssi.ru; *tag@pop.ioffe.rssi.ru

Поступило в Редакцию 15 февраля 2001 г.

При изучении полевой эмиссии электронов с плоской поверхности аморфного углерода в эмиссионном токе обнаружены отрицательные ионы водорода и углеводородов. Эмиссия ионов связывается с процессами образования и деградации локальных эмиссионных центров.

Явление полевой эмиссии электронов с плоских поверхностей материалов на основе углерода, таких как пленка алмаза, пленки на основе нанотруб углерода и аморфного углерода, представляет интерес как с практической точки зрения, ввиду перспективности создания плоских эмиссионных дисплеев, так и для фундаментальной науки. Однако, несмотря на возрастающее число работ, посвященных изучению полевой эмиссии электронов из углеродных материалов, в настоящее время отсутствует ясное понимание процесса формирования эмиссионных свойств эмиттеров [1]. Это не позволяет на микроскопическом уровне сформулировать требования к материалам, которые наиболее подходят к использованию в конкретных электронных приборах. В связи с этим в настоящее время детальное исследование полевой эмиссии электронов из плоских катодов на основе аморфного углерода является актуальным и перспективным.

В данной работе нами было проведено исследование эмиссии электронов с поверхности плоских катодов на основе пленок аморфного углерода на начальном участке вольт-амперной характеристики (ВАХ) в режиме малых токов, которую мы называем начальной стадией эмиссии. Для этой цели специально была разработана методика, позволяющая одновременно осуществлять регистрацию электрических токов эмиссии

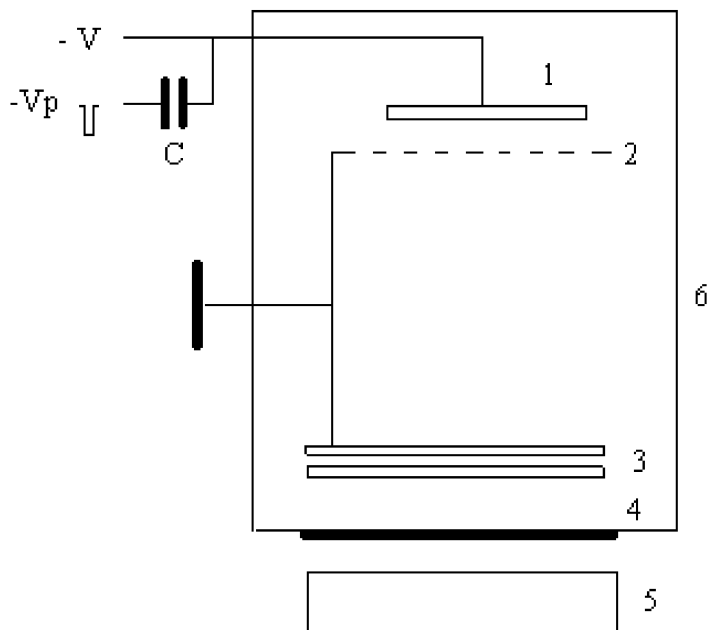


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки: 1 — образец (8×8 mm), 2 — сетка, 3 — микроканальные пластины диаметром 56 mm, 4 — люминесцентный экран, 5 — фотоэлектронный умножитель, 6 — вакуумная камера.

в цепи и визуально наблюдать распределение центров эмиссии по поверхности плоского эмиттера.

Экспериментальная высоковакуумная установка (рис. 1) содержит плоский эмиттер (1), сетку (2), две микроканальные пластины (МКП) (3), флуоресцентный экран (4). Регистрация изображений производилась фотоаппаратом или видеокамерой. Для измерения эмиссионного тока со всего экрана или выбранной с помощью диафрагмы области использовался сменный фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) (5). Коэффициент усиления двух МКП (шевронная сборка) составлял 10^7 , что позволяло реализовать чувствительность установки, достаточную для регистрации отдельных заряженных частиц (как электронов, так и ионов).

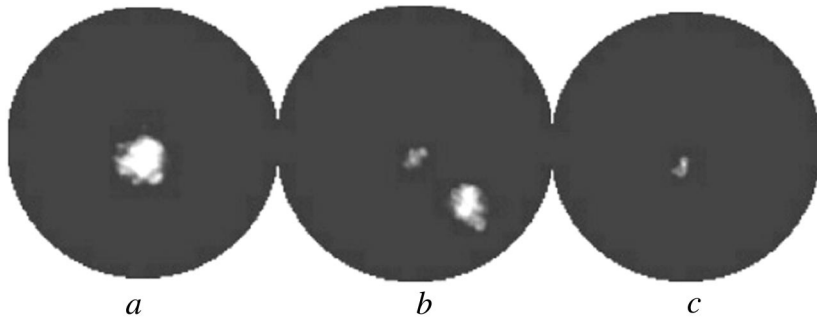


Рис. 2. Изображение распределения эмиссионного тока образца (*b* и *c* — с приложением внешнего поперечного магнитного поля).

Используемая методика позволяет также измерять время пролета заряженных частиц от катода до микроканальной пластины и тем самым определять массовый состав эмитированных частиц. Для этого на электрод (*I*) дополнительно к приложенному постоянному напряжению через конденсатор *C* подавался импульс напряжения V_p длительностью 10 ns и амплитудой 1–2 kV. Одновременно синхроимпульс, совпадающий по времени с V_p , запускал развертку запоминающего осциллографа, на вход которого подавался сигнал с выхода ФЭУ. По получаемым осциллограммам измерялось время между импульсом V_p и приходом на детектор вызванных им импульсов эмиссии заряженных частиц различной массы.

В качестве объекта исследования были выбраны пленки аморфного углерода *a*-C:H толщиной 500–700 Å, полученные методом реактивного магнетронного распыления графитовой мишени на постоянном токе [2]. Слои *a*-C:H наносились на подложки из сильнолегированных кремниевых пластин марки КЭС-0.01 с Ni подслоем, нанесенным с обратной стороны подложки. Варьирование технологических условий позволяло получать слои с различными характеристиками, такими как содержание H, гибридизация связей, толщина и др.

Эмиссия электронов проявлялась на люминесцентном экране (*4*) в виде светлых пятен (рис. 2, *a*). Нижний порог напряженности электрического поля, при котором появлялась эмиссия, составлял $1.5 \cdot 10^4$ V/cm. Этот порог зависел от нескольких факторов, из которых определяющими

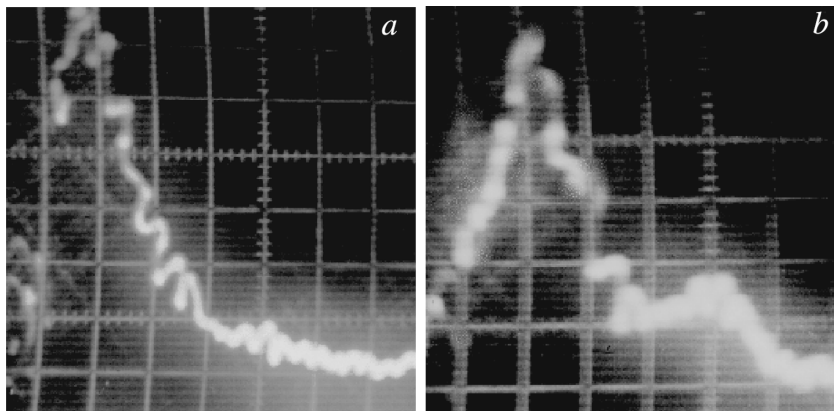


Рис. 3. Примеры осциллограмм эмиссионного тока (развертка 20 пс/дел): *a* — спектр содержит только электроны; *b* — в спектре присутствуют отрицательные ионы (H^-), задержанные по времени пролета относительно электронов на $6 \cdot 10^{-8}$ с.

являлись аллотропный и химический состав пленок. Пространственное распределение, яркость и размер светящихся пятен менялись при изменении электрического поля. Вольт-амперные характеристики токов эмиссии в координатах Фаулера–Нордгейма имели отклонения от линейности.

С ростом поля до 10^5 В/см и более в некоторых образцах наблюдалось лавинообразное нарастание тока эмиссии, после чего на поверхности эмиттера образовывались новые локальные центры эмиссии.

Было обнаружено, что в эмиссионном токе присутствует несколько составляющих: основными частицами являлись электроны, испускаемые поверхностью образца в сильном электрическом поле. Приложение внешнего поперечного магнитного поля позволяло легко отклонять потоки испускаемых электронов (рис. 2, *b*) и при определенных условиях позволяло выводить их за пределы экрана и системы регистрации эмиссионного тока (при этом электроны полностью исключались из тока, который регистрируется в измерительной цепи и отображается на экране) (рис. 2, *c*). Однако при этом на экране оставались светлые пятна, на положение которых магнитное поле практически не влияло, т.е. в плоскопараллельном детекторе продолжали регистрироваться

частицы, на движение которых очень слабо влияет магнитное поле. Это свидетельствовало о вкладе ионов отрицательной полярности в измеряемый ток. Плотность ионного тока увеличивалась с ростом электрического поля. При этом следует отметить, что ионная составляющая обнаруживалась в более высоких полях ($6 \cdot 10^4$ V/cm), чем порог эмиссии электронов.

Приложение импульсного электрического поля позволило оценить массовый состав носителей заряда, дающих вклад в эмиссионные токи. Осциллограммы эмиссионного тока имеют ярко выраженную структуру (рис. 3). Анализ осциллограмм [3] показал, что помимо собственно электронной составляющей обнаруживаются отрицательные ионы водорода (H^- и H_2^-), а также более тяжелые ионы с массами в интервале 10–20 (предположительно C^- и CH_n^-). Присутствие ионной составляющей эмиссионного тока указывает на сложный характер процессов, протекающих на поверхности и в приповерхностной области пленок аморфного углерода во время отбора тока и формирования эмиссионных центров. Отрицательные ионы углерода и углеводородов неоднократно наблюдались ранее [4]. Механизм образования отрицательных ионов в нашем случае не ясен, но весьма вероятно, что их появление связано с процессами, приводящими к появлению и деградации центров эмиссии электронов.

Изучение обнаруженного эффекта эмиссии отрицательных ионов поможет в понимании механизмов активировки и эмиссии плоских катодов на основе аморфного углерода, что позволит улучшить технологию их изготовления и расширить возможности применения.

Работа поддержана грантом РФФИ № 00-02-17004 и Российской государственной программой "Поверхностные атомные структуры" — проект № 3.14.99.

Список литературы

- [1] *Robertson J.* // Proc. XI Int. Vacuum Microelectronics Conference (IVMC 98). 1998. Asheville, USA. P. 162–163.
- [2] *Аверьянов В.Л., Звонарева Т.К., Чернышев А.В.* и др. // ФТТ. 1991. Т. 33. В. 11. С. 3410–3412.
- [3] *Бернацкий Д.П., Власов Ю.А., Павлов В.Г.* // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. В. 13. С. 806–808.
- [4] *Зандберг Э.Я., Палеев В.И.* // ЖТФ. 1972. Т. XLII. В. 4. С. 851–854.