

04;11;12

Влияние микротопографии и режима осаждения на автоэмиссионные свойства графитоподобных углеродных пленок

© С.А. Карасев, С.В. Симонов, С.Ю. Суздальцев, Р.К. Яфаров

Саратовское отделение Института радиотехники и электроники РАН
E-mail: pirpc@renet.ru

Поступило в Редакцию 13 марта 2002 г.

Установлены электротехнологические факторы, обеспечивающие управление процессами формирования микротопографии поверхности графитоподобных углеродных пленок, полученных в плазме микроволнового газового разряда паров этанола. Показано влияние режимов осаждения и величины шероховатости на электропроводность и эмиссионную способность таких пленок. Получены токи эмиссии с графитоподобных пленок с плотностью 0.3 A/cm^2 при напряженности электрического поля в зазоре $7 \text{ V}/\mu\text{m}$.

В настоящее время одной из актуальных задач является получение нанокристаллических углеродных пленочных материалов различного структурного состава для использования в качестве катодов на основе автоэлектронной эмиссии для плоских дисплеев и приборов вакуумной СВЧ-микроэлектроники [1]. Перспективность использования углеродных материалов в качестве катодов обусловлена устойчивостью к бомбардировке ионами остаточных газов, имеющих место в приборах, работающих в условиях технического вакуума и высоковольтного питания, а также возможностью снижения работы выхода электронов при определенных структурных модификациях, характерных как для алмазного типа гибридизации связей валентных электронов атомов углерода, так и для углеродных нанотрубок с графитовым типом структуры [2,3].

В связи с этим целью работы являлся поиск технологических способов получения необходимых электронных свойств пленочных графитоподобных нано- и микрокристаллических материалов с развитой микротопографией поверхности.

Осаждение углеродных пленок осуществлялось в плазме паров этанола в микроволновом газовом разряде с электронным циклотрон-

ным резонансом на стеклянную подложку в установке, описанной в работе [4]. Толщину осажденных пленок определяли с использованием эллипсометрического лазерного и интерференционного микроскопов. Детальное изучение микротопографии поверхности пленок осуществлялось с помощью сканирующего атомно-силового микроскопа (АСМ), их структуры — на установке рентгенофазового анализа ДРОН-3,0. Величина автоэмиссионного тока с поверхности пленок измерялась в условиях высокого вакуума (10^{-5} Па) на диодной структуре, способной изменять расстояние между электродами с точностью до $1 \mu\text{m}$. Диаметр рабочей поверхности анода, изготовленного из углеродного материала МПП-6, составлял 3 mm.

Пленки осаждались при давлении паров этанола 0.05 Па и различных ускоряющих потенциалах на подложкодержателе. Температура подложкодержателя составляла 350°C , СВЧ-мощность, вводимая в источник микроволновой плазмы, — 250 W. Осажденные пленки имели толщину $0.25\text{--}0.3 \mu\text{m}$. Рентгеноструктурный анализ свидетельствовал о преимущественном содержании в них мелкокристаллической фазы графита с межплоскостным расстоянием $d = 3.36 \text{ \AA}$ [5].

На рис. 1 приведены типичные зависимости тока эмиссии от напряженности электрического поля в диодной структуре на основе графитоподобных углеродных пленок, полученных при различных ускоряющих потенциалах в процессе синтеза. Расстояние между образцом и анодом составляло $120 \mu\text{m}$. Можно видеть, что наименьший порог эмиссии имели углеродные пленки, полученные при ускоряющем потенциале на подложкодержателе $+300 \text{ V}$.

Из приведенных зависимостей произведен расчет коэффициента усиления электрического поля в микродиоде К, представляющего собой отношение напряженности электрического поля на отдельном (усредненном) микровыступе в зазоре микродиода к средней величине напряженности электрического поля в том же зазоре, определяемой разностью потенциалов катод-анод и величиной зазора между ними без учета шероховатости в контактах: $K = E_1/E_2$ [6].

На рис. 2 приведены зависимости коэффициента усиления электрического поля в диодной структуре, измеренных поверхностных электросопротивлений и средней высоты микровыступов от величины ускоряющего потенциала в процессе синтеза. Средняя высота микровыступов определялась для трех различных участков поверхности пленок с применением программных средств обработки данных, имеющихся

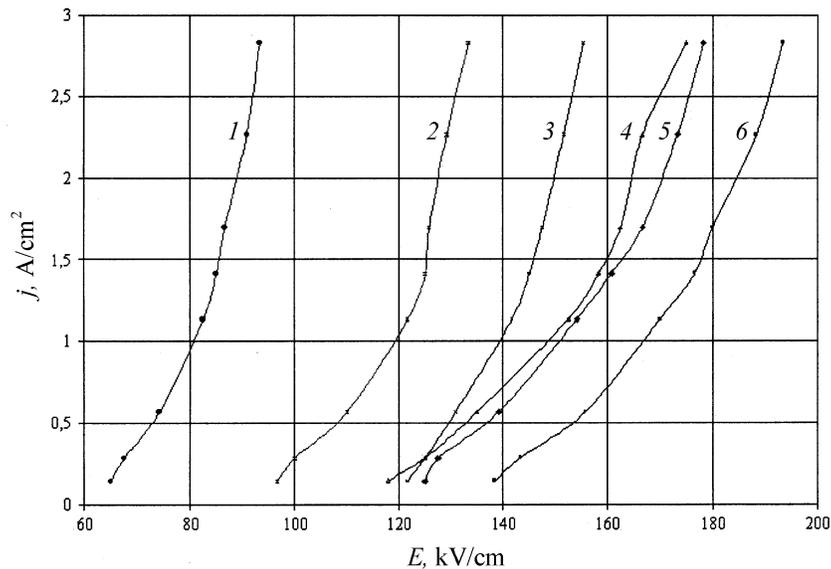


Рис. 1. Типичные зависимости тока эмиссии от напряженности электрического поля в диодной структуре с зазором $120\mu\text{m}$ на основе графитоподобных углеродных пленок, полученных при различных ускоряющих потенциалах в процессе синтеза: 1 — +300 В; 2 — +200 В; 3 — +100 В; 4 — -100 В; 5 — -300 В; 6 — -200 В.

в составе АСМ. Из рис. 1 и 2 можно видеть, что пороговые значения напряженностей электрических полей тем ниже, а коэффициенты усиления поля на остриях эмитирующих структур тем больше, чем более развитой микротопографией и большим поверхностным электросопротивлением обладают полученные пленки. Объяснение того, что улучшение эмиссионной способности графитоподобных углеродных пленок может происходить одновременно с ухудшением их электропроводности, состоит в следующем.

В работе [7] нами показано, что скорость осаждения и развитие шероховатости углеродных пленок в условиях высоковакуумного микроволнового плазменного воздействия определяется в значительной степени энергией и видом ионов, бомбардирующих пленку в процессе ее роста. При невысоких отрицательных потенциалах на

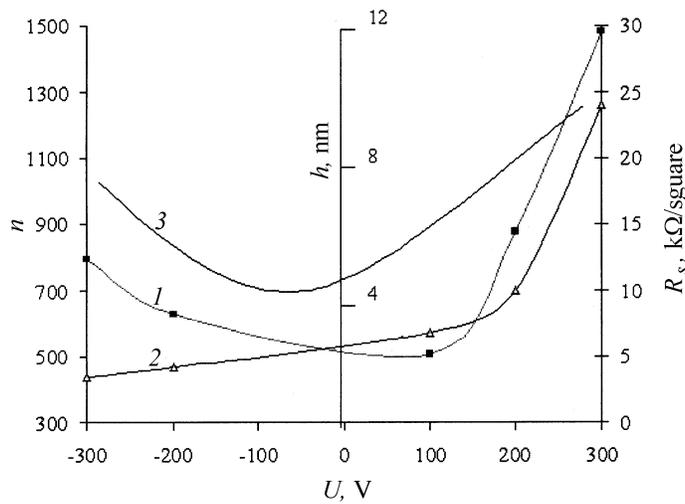


Рис. 2. Коэффициент усиления поля n (1) в микродиоде с величиной зазора $120 \mu\text{m}$, электросопротивление R_s (2) и средняя высота микровыступов h (3) на поверхности углеродных пленок, полученных при различных ускоряющих потенциалах на подложкодержателе.

подложкодержателе (от 0 до -200 V , рис. 2) реализуются условия, близкие к идеальным для „слоевого“ механизма роста графитовых пленок, обусловленные отсутствием пересыщения атомарного углерода в газовой фазе и высокой его поверхностной подвижностью, инициированной изменением энергетического рельефа поверхности при бомбардировке ее низкоэнергетичными ионами плазмы. Косвенно это подтверждается тем, что графитоподобные пленки, которые были получены при отрицательных напряжениях на подложкодержателе и имели более высокую электропроводность, но низкую эмиссионную способность, имели также и лучший металлический блеск, характерный для монокристаллического графита.

При бомбардировке поверхности электронами и отрицательными ионами, включая ионы углерода, при потенциале на подложкодержателе выше $+100 \text{ V}$ за счет более интенсивного поступления атомов и ионов углерода и большего коэффициента прилипания последних, по сравнению с нейтральными атомами, рост графитоподобной пленки становится более хаотичным. Это выражается в увеличении размеров

отдельных кристаллов, разориентированных относительно „слоевого“ направления роста. В связи с анизотропией электропроводности графита это приводит к увеличению электросопротивления пленки.

При достаточно больших отрицательных ускоряющих потенциалах (больше -200 V) увеличение шероховатости графитоподобной углеродной пленки обусловлено ее травлением ионизированным и атомарным водородом, поступающими из плазмы паров этанола, и его проникновением в приповерхностные слои. Процессы травления (эрозии) начинают развиваться на местах первоначально присутствующих дефектов поверхности роста [8]. В качестве таких дефектов могут выступать, например, атомные вакансии или ступени. Там, где одна или несколько связей углерода оборваны, водород легче вступает в химическую реакцию и образует летучее углеводородное соединение. При этом атомы углерода верхнего слоя удаляются и, таким образом, формируется шероховатость, атомы углерода по границам которой становятся потенциальными центрами электронной эмиссии. Отметим, что при таком механизме формирования шероховатости углеродной пленки анизотропия электропроводности графита не нарушается. Поэтому при высоких отрицательных потенциалах на подложкодержателе при синтезе графитоподобной пленки в плазме микроволнового газового разряда повышение эмиссионной способности коррелирует только с шероховатостью при неизменной или убывающей величине поверхностного электросопротивления пленки (рис. 2).

Список литературы

- [1] Бобков А.Ф., Давыдов Е.В., Зайцев С.В. и др. // ЖТФ. 2001. Т. 71. В. 6. С. 95–103.
- [2] Образцов А.Н., Павловский Ю.И., Волков А.П. // ЖТФ. 2001. Т. 71. В. 11. С. 89–95.
- [3] Saito Y., Nataguchi K., Nata K. et al. // Nature. 1997. V. 389. P. 555.
- [4] Былинкина Н.Н., Муштакова С.П., Олейник В.А. и др. // Письма в ЖТФ. 1996. Т. 22. В. 6. С. 43–47.
- [5] Уббелоде А.Р., Льюис Ф.А. Графит и его кристаллические соединения. М.: Мир, 1965. С. 185.
- [6] Елинсон М.И., Васильев Г.Ф. Ненакаливаемые катоды. М.: Наука, 1974. С. 278.
- [7] Суздальцев С.Ю., Яфаров Р.К. // Письма в ЖТФ. 2001. Т. 27. В. 15. С. 77–83.
- [8] Вакар З., Денисов Е.А., Компаниец Т.Н. и др. // ЖТФ. 2001. Т. 71. В. 6. С. 133–138.