

ТРИОД С АВТОЭМИССИОННЫМ КАТОДОМ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЙ-УГЛЕРОДНЫХ АЛМАЗОПОДОБНЫХ ПЛЕНОК ЛЕГИРОВАННЫХ МЕТАЛЛОМ

Емец В.М., Лыткин Л.К., Филатов Г.А., Цепилов Г.В.

ЗАО «Межрегиональное производственное объединение технического комплектования «Технокомплект», (ЗАО «МПОТК «Технокомплект»), (141981, Московская обл. г. Дубна, ул. Школьная д. 10-А), e-mail: nio@techo-com.ru.

Благодаря высокой механической и химической стабильности нового вида тонкопленочных материалов - алмазоподобных кремний-углеродных пленок, их применение в создании усилительных приборов таких, как триод, генераторы (как клистроны), рентгеновские трубки и электронные пушки для сканирующих электронных микроскопов является перспективным. В данной работе приведены результаты исследования вакуумного эмиссионного триода, использующего в качестве катода алмазоподобную кремний-углеродную пленку, легированную титаном. Изготовленные с использованием технологий магнетронного напыления и фотолитографии, элементы конструкции триода задают нужную геометрию и зазоры между электродами. При приложении напряжений к электродам возникают условия достаточные для автоэлектронной эмиссии. В результате измерений были получены зависимости анодного тока от напряжения на управляющем электроде. В ходе экспериментов было обнаружено изменение на поверхности алмазоподобной кремний-углеродной плёнки. На основе приведенных результатов делается вывод о перспективности использования алмазоподобных кремний-углеродных пленок в качестве автоэмиссионных эмиттеров для триодов и иных применений в высокочастотной электронике.

Ключевые слова: автоэлектронная эмиссия, автоэмиссионная структура, алмазоподобные пленки.

TRIODE WITH FIELD EMISSION CATHODE BASED ON SILICON-CARBON METAL-DOPED DIAMOND-LIKE FILMS

Emets V.M., Lytkin L.K., Filatov G.A., Tsepilov G.V.

JSC "MPOTK" Tekhnokomplekt ", Dubna, Moscow region. Russia (141981, Moscow region. Dubna, str. School, 10-a), e-mail: nio@techo-com.ru

Due to high mechanical and chemical stability of the new kind of diamond-like nanocomposite silicon-carbon thin films, their application have perspectives in making high-frequency electronics such as, triodes, amplifiers (klystron), x-ray tubes and electron guns for scanning electron microscopes. This paper presents the results of the research of the vacuum field emission triode using as cathode Ti doped diamond-like nanocomposite silicon-carbon thin film. Made with using magnetron sputtering and photolithography methods, triode structure elements determine required geometry and electrode gaps. Applying voltage to electrodes provides sufficient conditions for field emission. Measurements have shown that volt-ampere characteristics depend on the gate voltage. During the experiments, were detected changes on the surface of diamond-like nanocomposite silicon-carbon thin films. Based on obtained results, authors concluded about the prospects of using diamond-like nanocomposite silicon-carbon thin films in field emission emitters for triodes and for other applications in high-frequency electronics.

Keywords: field emission, field emission structures, diamond-like films.

Основными требованиями к вакуумному автоэмиссионному триоду являются: хорошая управляемость, работа при низком напряжении, высокая плотность тока эмиссии, малые размеры, совместимость с техникой микротехнологии [1]. На основе автоэмиссионных катодов возможно создание усилительных приборов таких, как триод [2], генератор электромагнитных колебаний (как клистроны), рентгеновских трубок [3] и электронных пушек для сканирующих электронных микроскопов.

Материал и цель исследования

Поскольку для получения заметного автоэлектронного тока у поверхности эмиттеров необходимы сильные электрические поля $\sim 10^7$ В/см, то с целью получения таких полей при не слишком высоких значениях прикладываемого напряжения, применяется особая геометрия эмиттера — чаще всего это поверхность с высокой кривизной: острия, лезвия, выступов, пленки и т.п. Для получения таких поверхностей сформировались две основные технологии их изготовления: из кремния и из тугоплавкого металла, например, молибдена или вольфрама.

Кроме того, в последнее время появился новый вид тонкопленочных материалов - алмазоподобные кремний-углеродные пленки (АКУП) [4, 5], являющиеся перспективными для применения в вакуумных эмиссионных приборах.

АКУП обладают свойствами близкими к традиционным алмазоподобным пленкам, но во многом превосходят их. Металлосодержащие АКУП являются электропроводящими нанокompозитами. Структура пленок позволяет вводить в них металлы в концентрациях до 50 атомных процентов, при сохранении аморфности и однофазности. При использовании карбидообразующего металла, в нанокompозите образуются кристаллические наночастицы его карбида. Металлы выбираются из ряда имеющих стабильные карбиды, таких как гафний, ниобий, тантал, титан, цирконий. Главным фактором, определяющим выбор легирующего металла, являющегося основой нанопазы нанокompозитной алмазоподобной пленки эмитирующей электроны, является величина работы выхода электрона с поверхности материала нанопазы. Варьируя вид легирующего металла можно в широких пределах менять порог эмиссии, что расширяет возможности применения катодного узла для различных автоэмиссионных приборов.

Высокая механическая и химическая стабильность алмазоподобных пленок обеспечивает надежность, долговечность и стабильность работы триода.

Для получения автоэмиссионного триода разработан и изготовлен автоэмиссионный катод на основе АКУП легированной титаном. АКУП получена путем осаждения на подложку в вакууме из двух одновременно работающих источников - плазмотрона и магнетрона по технологии, описанной в [1, 2]. На основе полученного катода собирается автоэмиссионный триод.

На рисунке 1 изображена схема и 3-D модель автоэмиссионного триода. По данной схеме была разработана конструкция триода с катодом на основе АКУП легированных металлом.

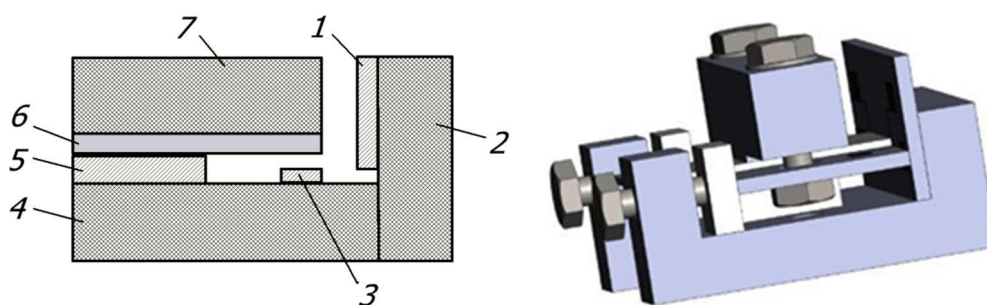


Рис.1. Схема и 3-D модель автоэмиссионного триода

Конструкция автоэмиссионного триода содержит: анод 1, представляющий собой слой металла, напыленный на диэлектрическую подложку 2, управляющий электрод 3 (модулятор) так же представляет собой слой металла, напыленный на подложку из диэлектрика 4, слой металла 5 выполняющий роль спейсера и контакта к автоэмиссионному катоду. Катод 6 представляет собой АКУП легированную титаном, осажденную на подложку 7. Катод устанавливается на металлический контакт 5. Разница в толщинах напыленных слоев спейсера 5 и управляющего электрода 3 задает величину зазора катод – управляющий электрод. Таким же образом задается зазор анод – катод.

При изготовлении элементов конструкции триода используются хорошо отработанные технологии магнетронного напыления и фотолитографии, что позволяет с высокой точностью реализовать геометрию и заданные расстояния между электродами. На рисунке 2 представлена фотография триода.

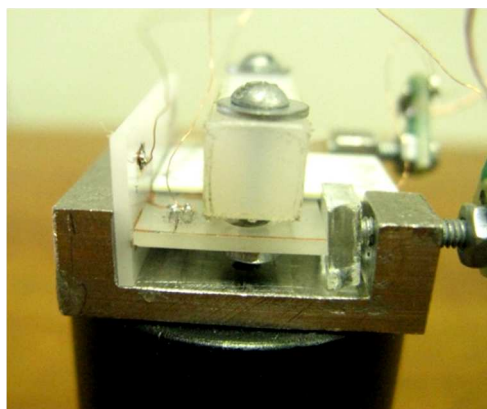


Рис.2. Макет триода

Методы исследования

Для исследования макета триода применяется испытательный стенд, принципиальная схема, которого изображена на рисунке 3.

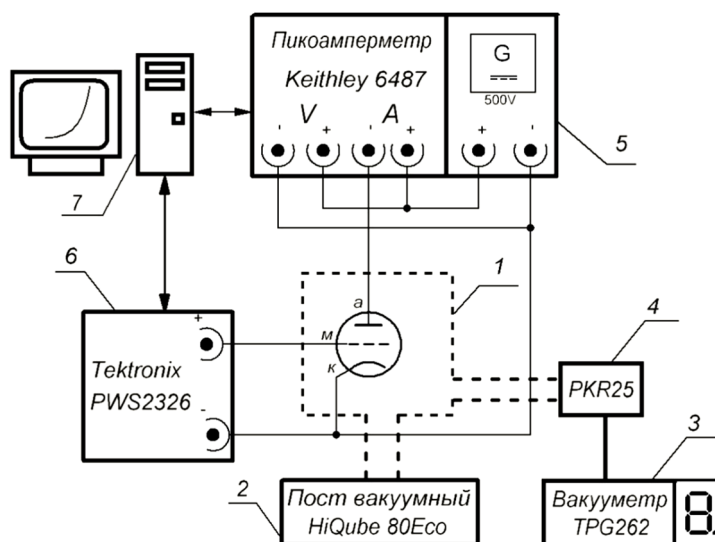


Рис.3. Схема стенда:

1 – вакуумная камера, 2 – вакуумный пост HiQube 80, 3 – вакуумметр TPG262, 4 – датчик вакуумметра, 5 – пикоамперметр со встроенным источником напряжения Keithley 6487, 6 – источник постоянного тока Tektronix PWS2326, 7 – ПК

При приложении напряжения между катодом и анодом и при наличии положительного, относительно катода, напряжения на управляющем электроде на кромке автоэмиссионного катода возникают условия, достаточные для автоэлектронной эмиссии, а именно, напряженность электрического поля превышает порог эмиссии.

Были выполнены измерения параметров и характеристик автоэмиссионного триода.

В результате проведенных измерений были получены зависимости анодного тока макета автоэмиссионного триода от напряжения на управляющем электроде (модуляторе). Зависимость представлена на рис. 4.

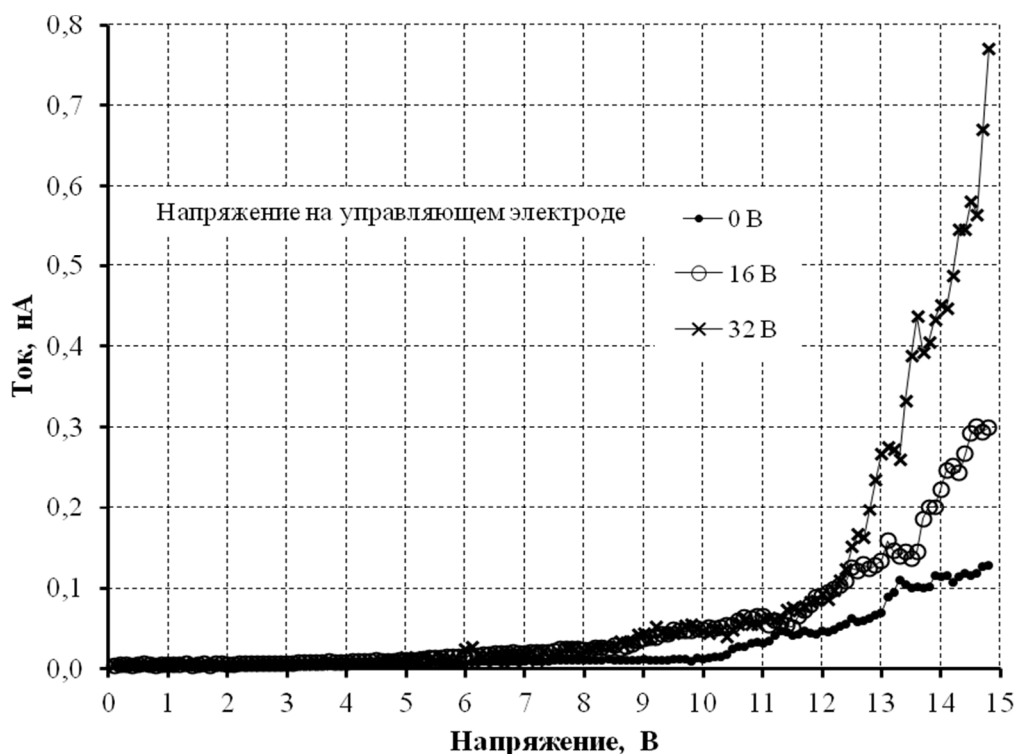


Рис.4. ВАХ при различных напряжениях на модуляторе

Как видно из приведенных графиков, величина анодного тока зависит от напряжения на управляющем электроде: при увеличении напряжения на модуляторе от 0 до 32В ток анода изменяет свое значение от 0,17нА до 0,77нА.

Также было обнаружено, что поверхность катода после проведения серии однородных экспериментов изменила свою структуру (рис. 5).

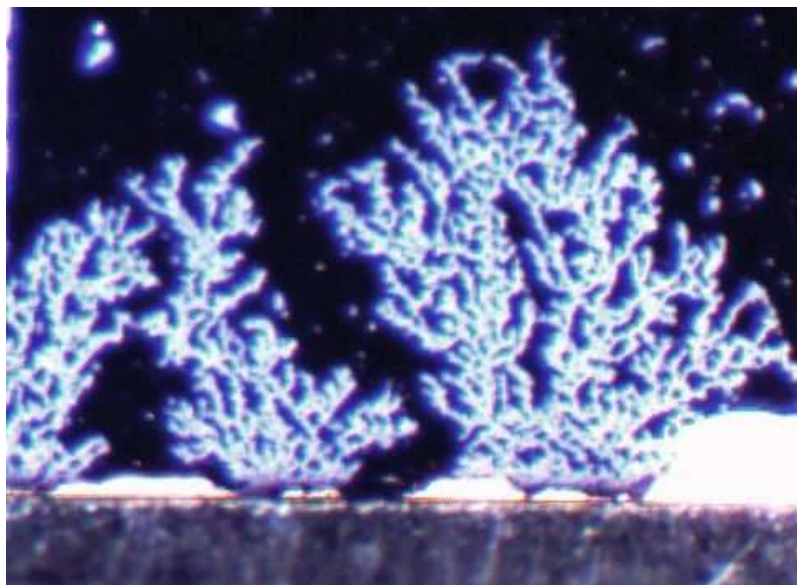


Рис.6. Фотография катода после серии экспериментов

В результате многочисленных пробоев поверхность АКУП претерпела эрозионное разрушение с характерными следами дендритного пробоя. Данное явление обусловлено

неровностями поверхности края катода, что приводит к неравномерной эмиссии и, как следствие, пробую в локальных областях катода.

Заключение

По результатам проведенных исследований показана возможность применения катодов на основе АКУП легированных металлами для создания автоэмиссионных триодов. Приводится описание разработанной в рамках проведения исследовательских работ конструкция триода и результаты экспериментальных исследований вольтамперных характеристик полученного триода. На основе полученных результатов можно сделать вывод о перспективности использования АКУП в качестве автоэмиссионных эмиттеров для триодов и иных приложений в вакуумной эмиссионной микроэлектронике.

Исследования автоэмиссионного триода проводится в рамках работы по разработке перспективных технологий и конструкций изделий интеллектуальной силовой электроники для применения в аппаратуре промышленного назначения и в специальных системах (триод с автоэмиссионным катодом на основе алмазоподобных пленок) при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках государственного контракта № 14.429.11.0001 от 03 октября 2013 г.

Список литературы

1. Викулов Н., Кичаева Н. Электроника НТБ. 2008. № 5. С. 70–74.
2. Ильичев Э.А., Кулешов А.Е., Полторацкий Э.А., Рычков Г.С. Вакуумный эмиссионный триод на основе умножителя-концентратора электронов. Письма в ЖТФ, 2010, том 36, вып. 20.
3. Ерошкин П.А., Шешин Е.П. Электронная пушка для рентгеновской трубки с автоэмиссионным катодом. Труды МФТИ. 2014. Том 6, № 1. С. 46-53.
4. Шупегин М.Л. Осаждение пленок металлсодержащих нанокompозитов с кремний-углеродной матрицей. «Заводская лаборатория. Диагностика материалов», №2. 2013. Том 79. С. 28-32.
5. Шупегин М.Л., Пархоменко Ю.В., Малинкович М.Д., Скрылева Е.А. Технология получения, структура и свойства металлсодержащих нанокompозитов с кремний-углеродной матрицей. Изв. Вузов. Материалы электронной техники. 2005. №3. С.12-16.

Рецензенты:

Иванов В.В., д.ф.-м.н., старший научный сотрудник (доцент), главный научный сотрудник, Лаборатория информационных технологий, Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна;

Крянев А.В., д.ф.-м.н., профессор Национального исследовательского ядерного университета
«МИФИ», г. Москва.