

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики твердого тела

РАЗРАБОТКА ЭСКИЗНОГО ПРОЕКТА СОЗДАНИЯ
АВТОЭМИССИОННОГО КАТОДНОГО УЗЛА БЕЗНАКАЛЬНОГО
МАГНЕТРОНА НА ОСНОВЕ АЛМАЗОГРАФИТОВОГО
НАНОКОМПОЗИТА

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ
студента 4 курса
по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»
факультета нано- и биомедицинских технологий
Новикова Павла Евгеньевича

Научные руководитель

профессор, д.т.н.

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

Р.К. Яфаров

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

профессор, д.ф.-.м.н.

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

Д.А. Усанов

инициалы, фамилия

Саратов 2018

Введение. В настоящее время весьма перспективна разработка и модернизация устройств вакуумной микроэлектроники работающих на принципах полевой эмиссии электронов. Одним из таких устройств является магнетрон. Он применяется в ускорителях заряженных частиц, в передатчиках радиолокационных станций, для высокочастотного нагрева и в др. случаях. В результате взаимодействия потока электронов с электрической составляющей поля СВЧ в пространстве, где постоянное электрическое поле перпендикулярно постоянному магнитному полю, в магнетроне возникает генерация колебаний высокой частоты. На сегодняшний день большой интерес вызывают так называемые магнетроны с безнакальным автоэмиссионным запуском, использование которых позволяет создавать новую аппаратуру с более высокими характеристиками, как в экономическом, так и в техническом плане, чем у магнетронов с накалом. Однако при создании таких магнетронов возникает множество проблем, основным источником которых является несовершенство катода. А именно автоэмиссионных и вторично-эмиссионных катодов, которые после бомбардировки электронами и ионами меняют свои свойства или вовсе разрушаются, что приводит к выходу из строя самого магнетрона.

Актуальность. Основным недостатком термокатодов ЭВП является большая затрата времени на подогрев самого катода. На сегодняшний день, как правило, время готовности составляет несколько минут. В основном, это время затрачивается на прогрев катода. Таким образом, снизив время, затрачиваемое на прогрев катода можно значительно снизить время готовности ЭВП. Решить проблему предлагается с помощью внедрения катодного узла (КУ) с автоэмиссионным катодом (АЭК), основным преимуществом которого является высокая плотность автоэмиссионного тока и срок службы в условиях технического вакуума и практически мгновенное включение в рабочий режим.

Целью бакалаврской работы являлось изучение возможности создания автоэмиссионного катодного узла для безнакального магнетрона на основе алмазографитового нанокompозита.

Бакалаврская работа содержит 3 главы:

1. Устройство и принцип работы магнетрона

1.1. Разработка конструкции катодного узла безнакального магнетрона на основе алмазографитовой нанокompозитной пленки

2. Получение автокатодного узла на основе алмазографитовой нанокompозитной плёнки

2.1 Требования к материалу автоэмиссионных катодов

2.2 Механизм эмиссионной способности наноалмазографитовых материалов

2.3 Получение алмазографитовой нанокompозитной плёнки

2.4 Возможные области применения автокатодов на основе алмазографитовой нанокompозитной плёнки

3. Конструкция сильноточного автоэмиссионного катода на основе алмазографитовой нанокompозитной плёнки

3.1 Методика получения контактного слоя толщиной $0,1 \div 0,2$ мкм

3.2 Разработка технологии получения двухслойного автоэмиссионного катода на основе алмазографитовой нанокompозитной плёнки

3.3 Исследование двухслойного автоэмиссионного катода на основе алмазографитовой нанокompозитной плёнки

1. Устройство и принцип работы магнетрона. Описан магнетрон представляющий собой диод с анодом особой конструкции. На торцах катода расположены экраны, которые препятствуют движению электронов вдоль оси. Между катодом и анодом вакуумное пространство, которое называется пространством взаимодействия. Анод сделан в виде массивного медного

блока цилиндрической формы, в толще которого размещается чётное число резонаторов, которые представляют собой цилиндрические отверстия, соединённые щелью с пространством взаимодействия. Поскольку на стенках этой щели возникают переменные электрические заряды, то есть образуется электрическое поле, то можно считать, что щель выполняет функцию конденсатора. Роль индуктивности резонатора выполняет цилиндрическая поверхность отверстия, которая эквивалентна одному витку. Переменный магнитный поток каждого резонатора оказывает значительное влияние на соседние, что обеспечивает сильную связь между всеми резонаторами. Кроме того, резонаторы соединяют друг с другом через один посредством проводов, которые называются связками .

1.1 Разработка конструкции катодного узла безнакального магнетрона на основе алмазграфитовой нанокompозитной пленки.

Рассмотрен уже известный магнетрон с безнакальным катодом, который содержит анод и коаксиально размещённый внутри него безнакальный катод, включающий керн из тугоплавкого металла с экранами и расположенные на нём автоэлектронные эмиттеры в виде шайб из танталовой фольги и термо-вторично-электронные эмиттеры в виде втулок, которые выполнены из прессованной пористой губки, в состав которой входит эмиссионно-активный сплав палладия с барием и тугоплавкий металл (W, Ta, Nb).

Было установлено, что основной причиной низкой надёжности магнетронов с безнакальным катодом является отсутствие стабильной и долговечной эмиссии с автоэлектронных эмиттеров.

В данном разделе предлагается заменить автоэлектронные эмиттеры в виде дисков из танталовой фольги, дисками из поликора с осажденной с обеих сторон алмазграфитовой нанокompозитной плёнкой.

В предложенной конструкции катодного узла безнакального магнетрона (рис. 1), вывод его в рабочее состояние будет осуществляться

следующим образом. При подаче на магнетрон импульса напряжения, автоэлектронные эмиттеры 3 эмитируют электроны. Под действием скрещенных электрического и магнитного полей электроны движутся по циклоидальным траекториям и образуют пространственный заряд, закручиваясь вокруг катода. Электроны, которые забирают энергию у высокочастотного поля, возвращаются с определённой скоростью на вторично-электронные эмиттеры 4, тем самым выбивают вторичные электроны, что приводит к увеличению вторично-электронной эмиссии.

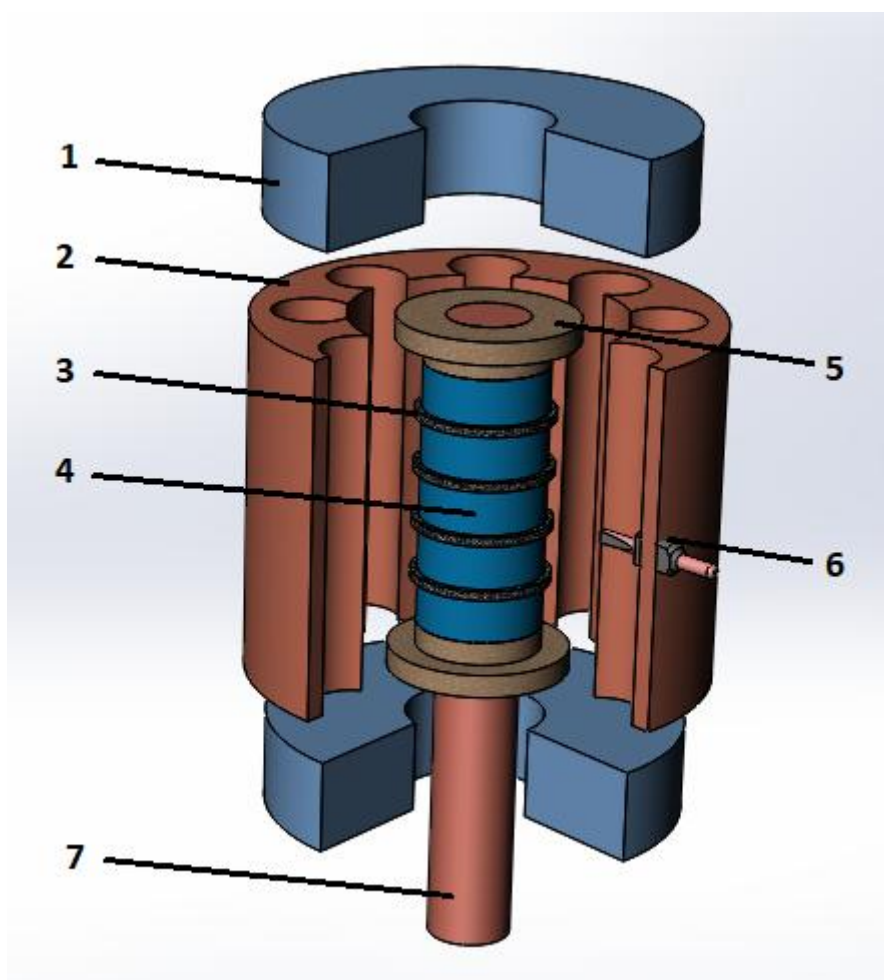


Рис. 1. Конструкция катодного узла на основе алмазграфитовой нанокompозитной плёнки: 1 – магнит. 2 – анод. 3 – автоэлектронные эмиттеры в виде колец. 4 – вторично-электронные эмиттеры в виде втулок. 5 – экран. 6 – петля связи (антенна).

2 Получение автокатодного узла на основе алмазграфитовой нанокompозитной плёнки .

2.1 Требования к материалу автоэмиссионных катодов. Рассмотрены наноуглеродные материалы, которые весьма перспективны для автокатодов. Поскольку углерод устойчив к бомбардировке ионами остаточных газов, которые могут быть в приборах, работающих в условиях технического вакуума. Также возможно снижение работы выхода электронов при определённых структурных модификациях, характерных для алмазного типа гибридизации связей валентных электронов атомов углерода.

Такие недостатки алмазных материалов, как невысокая плотность тока и высокое пороговое напряжение автоэлектронной эмиссии могут быть устранены получением композитных наноалмазных эмиттеров, которым присущи как традиционные свойства алмаза, так и квантовые эффекты, характерные для низкоразмерных систем.

2.2 Механизм эмиссионной способности наноалмазграфитовых материалов. В данном разделе показано, что наноалмазы в гетерофазной углеродной матрице могут быть центрами предпочтительной автоэлектронной эмиссии (эмиссия из «металлического алмаза»), обеспечивая более высокую плотность тока при более низком напряжении, по сравнению с монокристаллическими или дефектными алмазными пленками.

2.3 Получение алмазграфитовой нанокompозитной плёнки. Рассматривается плазмохимическое осаждение углеродных структур, которое проводится в вакуумной установке с использованием СВЧ ионно-плазменного источника на частоте 2,45 ГГц. Мощность СВЧ-излучения и индукция магнитного поля составляют 250 Вт и 875 Гс. Величина магнитного поля, в данном случае, обеспечивает выполнение условий электронного циклотронного резонанса, при котором степень ионизации

плазмы составляет около 5%. Осаждение на подложки осуществляется с использованием в качестве рабочего вещества паров этанола при давлении от 0,05 Па до 1,0 Па. Также подложки должны иметь температуру около 300°С.

2.4. Возможные области применения автокатодов на основе алмазграфитовой нанокompозитной плёнки. В данной работе предлагается создание автоэлектронных эмиттерных колец для безнакального магнетрона на основе алмазграфитовой нанокompозитной плёнки. Возможно также создание вторичноэлектронных эмиттеров на основе алмазграфита, что значительно удешевит себестоимость магнетрона.

3. Конструкция сильноточного автоэмиссионного катода на основе алмазграфитовой нанокompозитной плёнки. Первоначально автокатод планировалось изготавливать на подложке поликора толщиной 500 мкм. Для увеличения эффективной плотности автоэмиссионного тока с каждой стороны подложки требовалось осадить по два слоя алмазграфитовой тонкой пленки толщиной 100 нм. Между слоями планировалось осаждавать диэлектрические пленки оксида кремния и металлические контактные слои для подачи потенциалов на алмазграфитовые слои, выполняющие роль эмиттеров электронов

3.1. Методика получения контактного слоя толщиной 0,1÷0,2 мкм.

С использованием установки ВУП-4М (рис. 6) был проведён ряд исследований, в целях обнаружения оптимального режима напыления. В качестве напыляемого металла был выбран никель(Ni). Р (остаточном давлении в вакуумной камере) = 10^{-2} Па. I (сила тока, проходящего через нагревательный стержень) = 150 А. С помощью профилометра "Dektak 150" (рис. 7) были измерены толщины получившихся слоёв. Результаты приведены в таблице 1. Стоит отметить метод под номером 3, и метод нескольких слоёв 4-7.

3.2. Разработка технологии получения двухслойного автоэмиссионного катода на основе алмазографитовой нанокompозитной плёнки. В данном разделе была разработана технология получения двухслойного автоэмиссионного катода на основе алмазографитовой нанокompозитной плёнки.

Алмазографитовый нанокompозит осаждался на установке СВЧ вакуумно-плазменного осаждения углеродосодержащих плёнок <<Пума-2>> (рис. 9). В качестве плазмообразующего вещества использовались пары этанола.

На алмазографитовые нанокompозитные покрытия осаждались контактные слои никеля толщиной 0,1-0,2 мкм с отступом от края эмитирующей стороны автокатада $1,5 \times 10^3$ мкм.

3.3 Исследование двухслойного автоэмиссионного катода на основе алмазографитовой нанокompозитной плёнки. С помощью импульсного высоковольтного генератора <<Эрбий - 7176>> для исследования автоэмиссионных устройств (рис. 11) и вакуумной установки (рис. 12), был установлен оптимальный диапазон напряжений, построена зависимость силы тока от напряжения, а также проведены испытания на долговременность.

Заключение.

Испытания двухстороннего автоэмиссионного катода на основе алмазографитового нанокompозита показали, что данную структуру возможно использовать в качестве эмиттерных дисков для безнакального магнетрона. Поскольку такие диски способны обеспечить необходимую величину стартового тока для быстрого первичного введения магнетрона в номинальный режим. Кроме того, предлагаемая структура обладает высокой радиационной стойкостью (устойчивостью к ионному распылению и температуре), что в данном случае является большим преимуществом по сравнению с танталовой фольгой.

Список литературы.

- 1) Фурсей Г.Н. Автоэлектронная эмиссия. // Соросовский образовательный журнал, 2000. т. 6. № 11. С. 96 – 103.
- 2) Жеребцов, И.П. Основы электроники; Энергоатомиздат - Москва, 2003. - 352 с.
- 3) Копылов М.Ф., Бондаренко Б.В., Махов В.И., Назаров В.А. Магнетрон. Патент РФ № 2007777, приоритет от 15 апреля 1992 г.
- 4) Я.Л Вирин, Б.Ч. Дюбуа. Материал металлопористого катода. Авторское свидетельство №1160872, приоритет от 20 января 1984 г.
- 5) Б.Ч. Дюбуа. Металлосплавной <<холодный>> и вторично-эмиссионный катод. Вопросы прикладной физики. Вып. 11, 2004 г., с. 102.
- 6) Махов В.И., Бондаренко Б.В., Копылов М.Ф. СВЧ-прибор М-типа. Патент ЗФ № 2040821, приоритет от 11 апреля 1991 г.
- 7) Яфаров Р.К., Котина Н.М. Получение нанокпозиционных углеродных материалов для сильноточных полевых источников электронов // Фундаментальные проблемы современного материаловедения, 2016, том 13, №4, 534-539.
- 8) Образцов А.Н., Павловский И. Ю., Волков А.П. // ЖТФ. 2001.Т.71. В.11. С. 89- 95.
- 9) Яфаров Р.К. Получение наноалмазных композиционных материалов в плазме микроволнового газового разряда низкого давления. ЖТФ. 2006. Т.76. Вып.1. С.42 - 48.