

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра физики твердого тела

**Разработка автоэмиссионного катодного узла распределенного усилителя
на основе алмазграфитового нанокompозита**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 201 группы

направления 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»

факультета нано- и биомедицинских технологий

Новикова Павла Евгеньевича

Научный руководитель

профессор, д.т.н.

должность, уч. степень, уч. звание

Зав. кафедрой

профессор, д.ф.-.м.н.

должность, уч. степень, уч. звание

Р.К. Яфаров

инициалы, фамилия

А. В. Скрипаль

инициалы, фамилия

Саратов 2020

Введение. В настоящее время весьма актуальной задачей является создание сильноточных автоэмиссионных катодов для элементной базы вакуумной микроэлектроники, а также приборов генерации и обработки сигналов СВЧ- и субтерагерцового диапазонов, поскольку устройства, принцип работы которых основан на явлении автоэлектронной эмиссии, отличаются высокой радиационной стойкостью, быстродействием и экономичностью, обусловленной отсутствием накала катода. В роли одного из таких устройств выступает усилитель с распределенным усилением (УРУ), который является весьма перспективным и наиболее сложным типом широкополосных усилителей, принцип работы которого основан на сложении мощностей высокочастотных генераторов на бегущей волне [1].

Распределенный усилитель находит свое применение как в роли усилителя напряжения в измерительной технике, так и в областях радиочастотных систем ускорителей элементарных частиц и широкодиапазонных радиопередатчиков. Одной из главных особенностей областей применения УРУ является необходимость в высоком уровне выходной мощности. В связи с этим весьма актуальной задачей становится повышение энергетической эффективности усилителя [2,3].

В настоящее время большой интерес вызывают наноуглеродные пленочные структуры, которые находят свое применение при создании подобного типа устройств. В работах показано, что наноалмазографитовые автокатоды могут обеспечить плотность автоэмиссионного тока, в импульсе микросекундной длительности, порядка 100А/см^2 , при этом порог полевой эмиссии электронов составляет 4-6 В/мкм.

Актуальность. Актуальной задачей является согласование режимов эксплуатации полевых источников электронов с рабочими характеристиками устройств, в состав которых они входят. Наиболее значимыми характеристиками являются величины автоэмиссионных токов, интервалы

рабочих напряжений и входное сопротивление. Поэтому необходимы такие сильноточные полевые источники, которые бы удовлетворяли различным схемотехническим требованиям.

Целью бакалаврской работы являлось исследование возможностей управления рабочими диапазонами напряжений, предельными значениями автоэмиссионных токов, крутизной вольтамперных характеристик сильноточных полевых источников электронов на основе тонкопленочных наноалмазграфитовых структур и разработка с их использованием микроэлектронного распределённого усилителя СВЧ и субтерагерцового диапазонов.

Магистерская работа содержит 2 главы:

1. Получение и исследование вольтамперных характеристик автоэмиссионного катода на основе алмазграфитовой нанокompозитной пленки

1.1 Требования к материалу автоэмиссионных катодов

1.2 Механизм эмиссионной способности наноалмазграфитовых материалов

1.3 Получение алмазграфитовой нанокompозитной плёнки

1.4 Технология изготовления торцевого автоэмиссионного катода на основе наноалмазграфитовой пленочной структуры

1.5 Возможные области применения автокатодов на основе алмазграфитовой нанокompозитной плёнки

1.6 Разработка устройства стабилизации автоэмиссионного тока

2. Разработка эскизного проекта создания катодного узла распределенного усилителя на основе алмазграфитового нанокompозита

2.1 Прототипы микроэлектронных приборов, в основе работы которых лежит явление автоэлектронной эмиссии (литературный обзор)

2.2 Устройство и принцип действия распределённого усилителя

2.3 Конструкция катодного узла распределённого усилителя на основе лезвийного автокатода

2.4 Разработка программы для расчета основных параметров микроэлектронного распределённого усилителя с автоэмиссионными катодами

2.5 Расчет основных параметров микроэлектронного распределённого усилителя с автоэмиссионными катодами

1 Получение и исследование вольт-амперных характеристик автоэмиссионного катода на основе алмазграфитовой нанокompозитной пленки

1.1 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 [4].

1.2 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.

1.3 Получение алмазографитовой 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°C [5, 6].

1.4 Технология изготовления торцевого автоэмиссионного катода на основе наноалмазографитовой пленочной структуры. В данном разделе была разработана технология получения автоэмиссионного катода на основе алмазографитовой нанокompозитной плёнки.

Алмазографитовый нанокompозит осаждался на установке СВЧ вакуумно-плазменного осаждения углеродосодержащих плёнок <<Пума-2>>. 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 автокатода 7×10^3 мкм.

1.5. Исследование вольт-амперных характеристик автоэмиссионного катода на основе алмазографитовой нанокompозитной пленки. Проведены

исследования сильноточной полевой эмиссии электронов в торцевых автокатадах на основе нанокompозитных алмазографитовых пленочных структур в вакуумной камере при остаточном давлении $3 \cdot 10^{-7}$ мм рт. ст. В экспериментах использовался источник питания постоянного тока с пошаговым подъёмом напряжения и выдержкой на каждом напряжении по 5-10 мин в случаях, когда величина тока была нестабильной. Так же исследована возможность повышения равномерности эмиссии путем разделения эмитирующей области автокатада на несколько участков с помощью технологии лазерной резки.

1.6 Разработка устройства стабилизации автоэмиссионного тока.

Разработано устройство для стабилизации автоэмиссионного тока и предотвращения пробоев, приводящих к разрушению структуры катода.

2. Разработка эскизного проекта создания катодного узла распределенного усилителя на основе алмазографитового нанокompозита

2.1 Прототипы микроэлектронных приборов, в основе работы которых лежит явление автоэлектронной эмиссии (литературный обзор). Кратко описано современное состояние приборов генерации и обработки сигналов СВЧ- и субтерагерцового диапазонов. Проведен анализ известных распределенных усилителей. Выявлены основные факторы, которые не позволяют расширять диапазон рабочих частот и увеличить выходную мощность устройств с распределенным усилением.

2.2 Устройство и принцип действия распределённого усилителя.

Рассмотрен принцип действия и устройство усилителя с распределенным усилителем на примере простейшей схемы на триодах. В схеме распределённого усилителя осуществляется сложение коэффициентов усиления

дискретных триодов, поэтому практически при любой полосе частот возможно добиться значение коэффициента усиления больше единицы. Такое свойство усилителя дает возможность для его широкого применения даже в тех случаях, когда полоса усиливаемых частот достигает нескольких десятков гигагерц.

2.3 Конструкция катодного узла распределённого усилителя на основе лезвийного автокатода. Рассмотрен уже известный распределенный усилитель на основе лезвийного катода. Описаны практические конструктивные ограничения.

Было установлено, что для стабильной работы распределенного усилителя нужно создать лезвие или торец плёночной структуры на основе алмазографитового нанокompозита, которые смогли бы обеспечить ток порядка 1 мА с одного миллиметра торца [7, 8].

2.4 Разработка программы для расчета основных параметров микроэлектронного распределённого усилителя с автоэмиссионными катодами. Для модели распределенного усилителя описанной в разделе 2.2 была написана программа для ЭВМ для расчета основных выходных характеристик, таких как: коэффициент усиления, распределённая крутизна, критическая частота, выходная мощность, пространственное распределение напряжения и физических (оптимальная длина усилителя) параметров в одномерном приближении.

2.5 Расчет основных параметров микроэлектронного распределённого усилителя с автоэмиссионными катодами. Рассчитано оптимальное значение величины распределённой крутизны составляет порядка 0,011 См/мм. Рассмотрена динамика изменения характеристик распределённого усилителя при изменении параметра расстояния между сеткой и анодом [9-11].

Заключение. В результате проделанной работы были исследованы возможности управления характеристиками сильноточных полевых источников электронов на основе тонкопленочных планарно-торцевых наноалмазографитовых структур, удовлетворяющих различным схмотехническим требованиям, а также причины возникновения неуправляемых режимов эксплуатации, приводящих к изменению их ВАХ и ограничивающих максимальную величину автоэмиссионных токов, стабильность и долговечность сильноточной полевой эмиссии. Разработано устройство для стабилизации автоэмиссионного тока и предотвращения пробоев, приводящих к разрушению структуры катода.

Разработана конструкция распределённого усилителя на основе лезвийного наноалмазографитового автокатода, а также создана программа для расчета основных параметров микроэлектронного распределённого усилителя с автоэмиссионными катодами.

Испытания автоэмиссионного катода на основе алмазографитового нанокompозита показали, что данную структуру возможно использовать в качестве полевого источника электронов в распределенном усилителе. Поскольку такой торцевой автокатод способен обеспечить необходимую величину тока. Однако равномерность эмиссии является перспективной темой для развития.

Список литературы.

1. Шапиро Л. Я., Усилители с распределенным усилением, "Связь", 1965.
2. Кулешов Ю. Г., Некоторые вопросы распределенного усиления, Кандидатская диссертация, Киев, 1955.
3. Sosin B. M., Wideband technique applied to h. f. transmitters station equipment, "Proc. Instn. Electr. Engrs.", 1963, v. 110, № 8.

4. Фурсей Г.Н., Поляков М.А., Кантонистов А.А. и др. // ЖТФ. 2013. Т. 83. № 6.С. 71–77.
5. Яфаров Р.К. Физика СВЧ вакуумноплазменных нанотехнологий. М.: Физматлит, 2009. 216 с.
6. Усанов Д. А., Яфаров Р. К. Методы получения и исследования самоорганизующихся наноструктур на основе кремния и углерода. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2011. 126 с.
7. Kosmahl H.G. A wide-bandwidth high-gain small-size distributed amplifier with field-emission triode (FETRODE's) for the 10 to 300 GHz frequency range. //IEEE Transactions on Electron Devices, 1989, vol. 36., N 11.
8. Warren H.P., Wiltsey T.J., Chou E.C., Wong F.C., Luhmann N.C., Jr. 1 to 25 GHz vacuum FET distributed amplifier analysis. // Department of Electrical Engineering University of California, Los Angeles, California 90024.
9. Ковалев И. С. Основы теории и расчета устройств СВЧ. Радиоволноводы и резонансные системы. Минск: Наука и техника, 1972. 254 с.
10. Волгов В. А. Детали и узлы радиоэлектронной аппаратуры. М.: Энергия, 1977. 656 с
11. Трубецков Д. И., Рожнев А. Г., Соколов Д. В. Лекции по СВЧ вакуумной микроэлектронике. Саратов.: ГосУНЦ «Колледж», 1996.