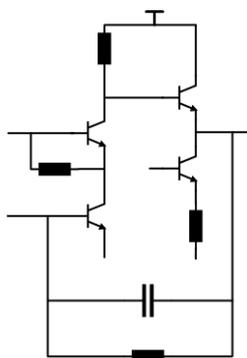
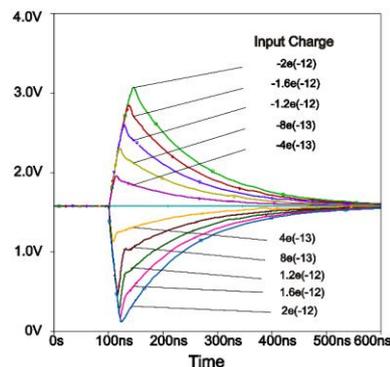


была упрощена (рисунок 1, а) и оптимизированы режимы работы ее транзисторов за счёт выбора сопротивлений резисторов и эмиттерных площадей транзисторов.

Результаты схемотехнического моделирования представлены на рисунке 1, б).



а)



б)

а – электрическая схема; б – выходное напряжение при подаче на вход коротких токовых сигналов с зарядом от  $-2\text{пКл}$  до  $2\text{пКл}$ .

Рисунок 1 – Модернизированный ЗЧУ:

**Список использованных источников:**

1. О.В. Дворников, В.А. Чеховский, В.Л. Дятлов, С.А. Мовчан, Н.Н. Прокопенко. Базовый структурный кристалл МН2ХА020 для создания быстродействующих многоканальных микросхем ядерной электроники.

## АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ЗОНЫ ПЛАЗМООБРАЗОВАНИЯ В МАГНЕТРОННОЙ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Шекелевский В.В., Бездников М.С.

Котов Д.А. – канд. техн. наук, доцент

В работе представлена методика определения равномерности формируемого покрытия исходя из количественной оценки эффектов и процессов магнетронного распыления и конденсации на подложке. Выполнена верификация результата расчетов с экспериментальными данными.

В современном промышленном производстве изделий микро-, нано- и оптоэлектроники самым распространенным методом нанесения тонкопленочных покрытий является магнетронное распыление. Несмотря на то, что метод используется уже много десятилетий, в настоящее время является актуальным разработка методики определения равномерности формируемого покрытия исходя из количественной оценки эффектов и процессов магнетронного распыления и конденсации на подложке.

Магнетронное распылительное устройство состоит из электрической, магнитной, охлаждающей, газораспределительной систем. Система электродов нужна для создания разности потенциалов, магнитная – для создания магнитной ловушки, охлаждающая – для предотвращения перегрева магнитной системы и других элементов конструкции, газораспределительная – для подачи рабочего вещества в разрядной зоне.

В магнитной системе силовые линии магнитного поля замыкаются между полюсами над поверхностью мишени, где создается магнитная ловушка аркообразной формы. Наличие замкнутого магнитного поля над поверхностью мишени позволяет локализовать плазму непосредственно у мишени, ионы которой распыляют мишень [1].

Таким образом определение зоны плазмообразования, зависящее от геометрии магнитной системы и условий в камере, позволит рассчитать область зоны эрозии мишени, а знание ее позволяет определить коэффициент использования мишени, являющимся важным параметром при промышленном применении, и определить распределение распыленного материала мишени на подложке.

Для определения зоны плазмообразования необходимо знать конфигурацию линий индукции и величину магнитного поля. Для расчета магнитной системы нами использовался программный

комплекс Comsol Multiphysics студенческой версии. На рисунке 1 показана конфигурация линий индукции магнитной ловушки над поверхностью мишени, полученная нами в результате расчетов.

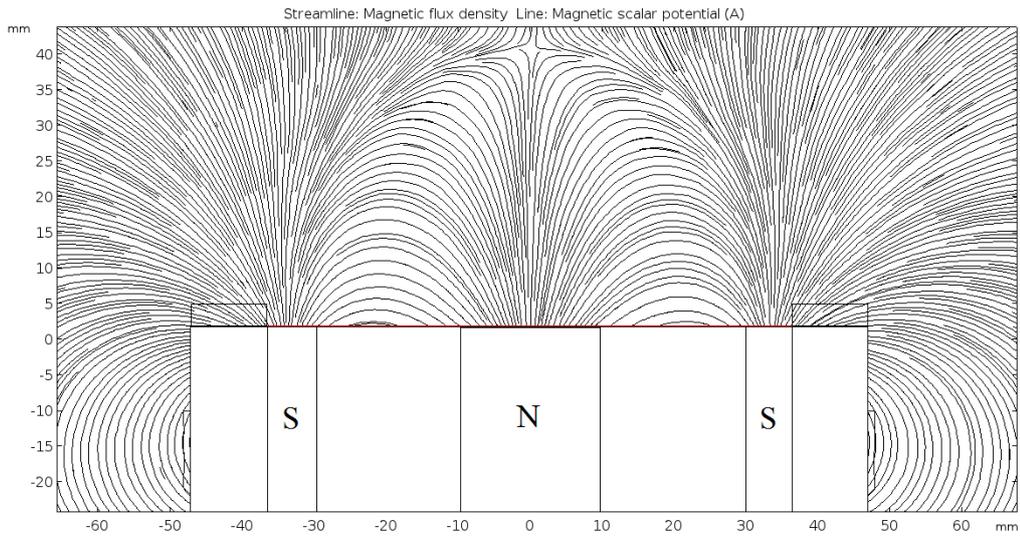


Рисунок 1 – Визуализация результатов расчета магнитного поля в программе Comsol Multiphysics

Исходя из расчета магнитного поля в программе Comsol Multiphysics мы получили значение индукции магнитного поля при котором еще имеется циклоидальное движение электронов и определили верхнюю границу зоны плазмообразования, которая составила 8 мм. На рисунке 2 показана схематично магнетронная система, и, исходя из нее, рассчитываются остальные параметры плазменного «кольца» [2].

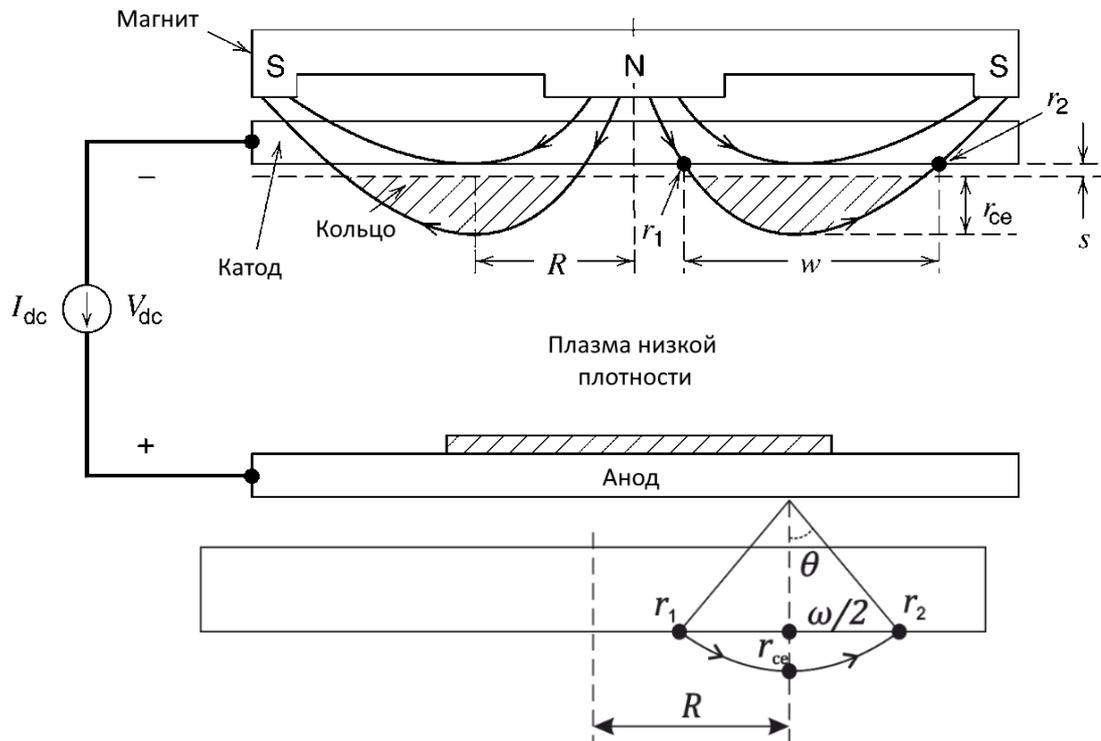


Рисунок 2 – Схема магнитного поля при магнетронном распылении

Верхняя граница плазменного «кольца» находится из формулы расчета ларморовского радиуса для электронов движущихся циклоидально. Ширина зоны распыления мишени рассчитывается исходя из ларморовского радиуса и геометрии магнитного поля. Плотность тока ионов рассчитывается используя полученные значения ларморовского радиуса и ширины зоны распыления

$$J_i = \frac{I_{dc}}{2\pi R\omega} \quad (1)$$

Толщина темного катодного пространства (ТКП)  $s$  рассчитывается из формулы плотности ионного тока в разрядных системах [2]

$$J_i = \frac{4}{9} \varepsilon_0 \left( \frac{2e}{M} \right)^{1/2} \frac{V_{dc}^{3/2}}{s^2} \quad (2)$$

Используя выбранную конфигурацию магнитной системы и используя рабочее напряжение порядка 600 В установлено, что ширина зоны распыления должна составлять 28 мм. Подставляя полученные значения в формулу для плотности тока получим, что  $J_i \approx 40$  мА/см<sup>2</sup>. Отсюда толщина ТКП порядка 0.5 мм. Полученные значения ширина зоны распыления соответствуют экспериментальным результатам, а расчетные значения плотности тока превышают значения полученные на эксперименте.

Таким образом проведен расчет области зоны плазмообразования для дальнейшего расчета профиля зоны эрозии, который зависит от плотности тока ионов в плазме, и, используя законы распределения распыляемых атомов, можно получить распределение потока распыленных частиц на подложке.

**Список использованных источников:**

1. Данилин, Б.С. Магнетронные распылительные системы / Б.С. Данилин, В.К. Сырчин – М.: Радио и связь, 1982. - 72с.
2. Lieberman, A. Principles of Plasma Discharges and Materials Processing / A. Lieberman, J. Lichtenberg. – John Wiley & Sons, Inc. 2-ed, 2005, 757 p.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМИССИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАНАРНО-ТОРЦЕВЫХ ПОЛЕВЫХ СТРУКТУР

Кукуть Ю.М.

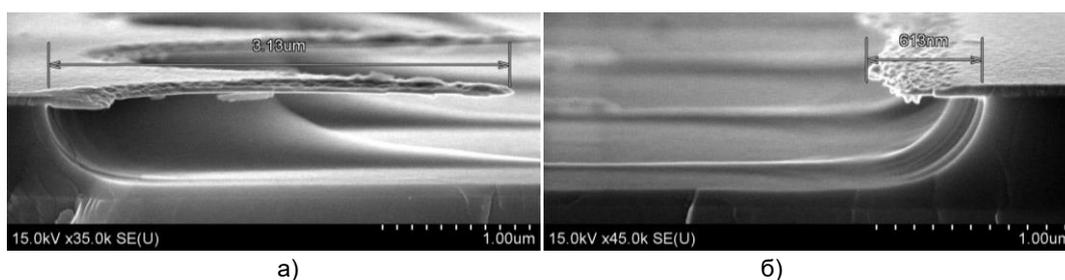
*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Лабунов В. А. – д-р техн. наук, профессор*

В данной работе исследованы и проанализированы вольт-амперные характеристики планарных лезвийных и острых полевых эмиссионных катодов.

Экспериментальное наблюдение эффекта полевой эмиссии требует создания напряженности электрического поля между катодом и анодом превышающего 10<sup>7</sup> В/см. Для достижения таких величин напряженности поля, могут быть использованы системы катод-анод различной геометрии выполненные по технологии микроэлектроники.

Были исследованы созданные ранее планарная лезвийная и острая [1] структуры. На рисунке 1 представлено их поперечное сечение (Si/SiO<sub>2</sub>/Mo). Эмитирующим слоем является молибденовая металлизация. Расстояние катод-анод для острых структур составляет 2,3 мкм, для лезвийных – 1,8 мкм. Катод и анод лезвийной структуры (рисунок 1б) выполнены симметричными.



а) б)  
Рисунок 1 – Планарная острая структура: а) катод, б) анод