

Особенности работы молекулярно-напыленных оксидных катодов в циклотронных защитных устройствах

Представлены результаты исследования влияния мощности СВЧ энергии на молекулярно-напыленные катоды в макетах малошумящих СВЧ приборов, работа которых основана на циклотронном резонансе электронного потока. Показано, что подача СВЧ мощности на вход прибора позволяет дополнительно активировать катод и стабилизировать эмиссию после существенного отравления катода в рабочем режиме.

Ключевые слова: СВЧ энергия, циклотронное защитное устройство (ЦЗУ), молекулярно-напыленный оксидный катод (МНК), недокальные характеристики, катодно-подогревательный узел (КПУ), активировка, магнитный электроразрядный насос (МЭН).

1. Введение

В приемных каналах современных РЛС необходимо обеспечить малый коэффициент шума порядка 2-3 дБ, достаточно необходимый коэффициент усиления и устойчивость к мощным импульсным СВЧ перегрузкам на входе приемных каналов, широкий динамический диапазон, амплитудную и фазовую линейность. Этим требованиям в значительной мере удовлетворяют ЦЗУ, разработанные и созданные в АО «НПП «Исток» им Шокина» [1]. В этих приборах используются оксидные молекулярно-напыленные катоды (МНК) с толщиной оксидного слоя 0,8-1 мкм. При этом, с эмиссионной поверхности размером 0,02x0,7 мм плотность отбираемого тока эмиссии составляет 3-5 А/см² при температуре 850-950°С с долговечностью несколько тысяч часов.

2. Нанесение покрытия в вакууме на kern катода

В отличие от стандартного оксидного катода, получаемого пульверизацией, катафорезом и другими способами, в котором плотность покрытия - 2,8-3 г/см³, шероховатость - 2-3 мкм, в МНК эмиссионное покрытие, получаемое ионно-плазменным методом, имеет плотность 3,9-4.5 г/см³[2]. Молекулярно-напыленное оксидное покрытие обладает гладкостью поверхности, высокой эмиссионной однородностью, хорошим сцеплением с kernом и отсутствием в покрытии органического вещества связки-биндера.

Процесс нанесения покрытий в вакууме ионно-плазменным методом зависит от многих параметров напыления и качества оксидной мишени с которой происходит распыление состава.

Толщина покрытия, получаемая распылением мишени состава (BaSrCa)CO₃ составляет 0,8-1 мкм. Время нанесения покрытия в смеси газов аргона и окиси углерода при давлении 8*10⁻³ мм.рт.ст. составляет 3 часа. Скорость нанесения покрытия на поверхность в существующей конструкции составляет 55-60 Å/мин.

Покрытие МНК является устойчивой на воздухе смесью карбонатов и окислов с соотношением щелочноземельных металлов (ЩЗМ) Ba, Sr, Ca в количестве 47%, 43%, 10% соответственно. Неровность такого покрытия на гладкой подложке около 0,05 мкм.

Температурная зависимость работы выхода таких катодов линейна в диапазоне температур (300-1100° К) и описывается уравнением:

$$\varphi_T = (1,12 \pm 0,02) + (4,4 \pm 0,3) 10^{-4} * T, (\text{эВ}). [2]$$

3. Установка катодов в прибор и проведение измерений

После напыления покрытия катоды устанавливались в катодно-подогревательные узлы (КПУ) макетов приборов, откачивались до $1 \cdot 10^{-8}$ - $5 \cdot 10^{-9}$ мм.рт.ст., после чего поступали на стенд тренировки эмиссии. На тренировочном стенде в статическом режиме снимались недокальные характеристики зависимости тока катода от тока накала (рис.1). По этим характеристикам с учетом рабочей температуры катода устанавливались рабочие токи накала $I_{\text{раб}}$.

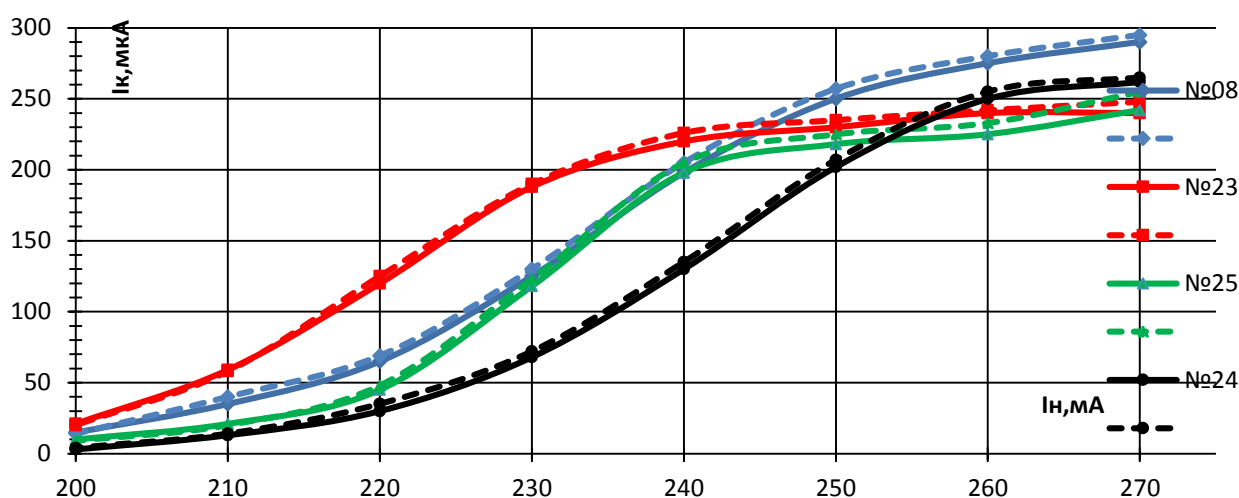


Рис. 1. Зависимость тока катода от тока накала во время тренировки МНК. Сплошные линии - недокальные характеристики, снятые до подачи СВЧ мощности на вход прибора, пунктирные - после подачи СВЧ мощности до достижения стабильного тока эмиссии.

В таблице 1 приведены значения рабочих токов накала при соответствующих температурах катодов для каждой характеристики.

Таблица 1. Значения токов накала при соответствующих температурах катодов.

№ прибора	$I_{\text{раб}}$, mA	T_k , °C
08	250	586
23	240	554
25	250	590
24	255	604

После тренировки приборов на вход ЦЗУ подавалась повышенная СВЧ мощность при включенном токе накала катода. При этом электронный луч, проходя через входной и выходной резонаторы, оседал в коллекторе. В приборах №08 и №23 подавалась СВЧ энергия в импульсном режиме мощностью $P_{\text{и}}=32$ Вт, скважность $Q=20$, длительность импульса $t_{\text{имп}}=40$ мкс. В приборах №24 и №25 на вход резонатора подавалось СВЧ излучение мощностью 10 Вт в непрерывном режиме.

Из рис.2 видно, что при подаче СВЧ мощности на вход резонаторов в приборах происходит резкое падение тока эмиссии катода, который постепенно восстанавливается в течении 80-130 минут. Повышение тока накала ускоряет процесс восстановления эмиссии. После восстановления эмиссии вновь снимались недокальные характеристики данных катодов. В накальных характеристиках, построенных по результатам измерений после воздействия СВЧ мощности заметен сдвиг влево по отношению к первоначальным, падения эмиссии не было, а в приборах, поставленных на долговечность ток эмиссии стабилен.

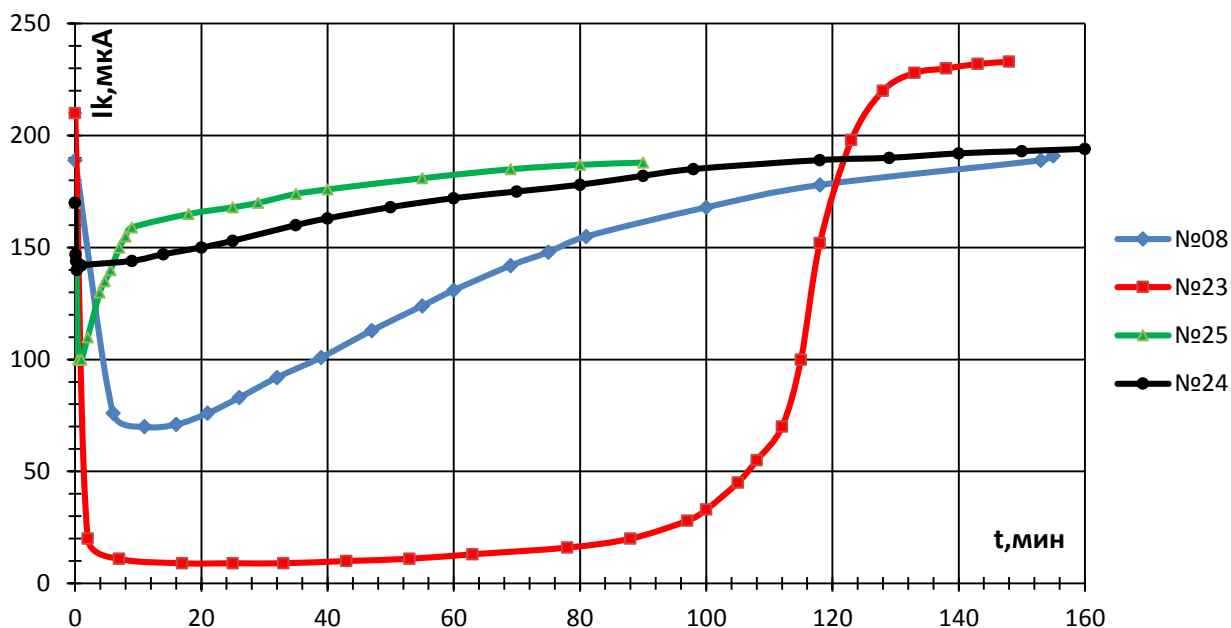


Рис. 2. Зависимость тока катода от времени при подаче входной СВЧ мощности.

4.Обсуждение результатов

Начальная активировка катода в приборе происходит уже на этапе окончания откачки прибора, когда происходит прогрев катода до температуры около 1000°K . Во время процесса откачки прибора происходит удаление газов CO , CO_2 , O_2 , CH_4 [3]. В [4] показано, что на этапах активирования оксидного катода (ОК) в покрытии находятся квазисвободные ионы кислорода, которые перемещаются по поверхности зерен оксида за счет диффузии с энергией активации около $0,6$ эВ при воздействии электрического поля.

После активировки катода большая часть квазисвободных ионов кислорода удаляется из оксидного покрытия. Часть из них абсорбируется стенками внутренней оболочки прибора, электродами, геттером. При подаче СВЧ мощности во входной резонатор происходит электронная бомбардировка внутренних стенок прибора, а также вторичная электронная эмиссия. В результате этих процессов происходит десорбция молекул кислорода и других газов и их ионизация. Положительные ионы с внутренней оболочки и электродов осаждаются на химически активную поверхность катода и вызывают изменение поверхностных доноров, ответственных за эмиссию, вследствие этого происходит резкое падение эмиссии. Если ток накала не выключается, то постепенно происходит активировка – восстановление барьера на поверхности катода, уход сорбированных ионов из слоя. С увеличением СВЧ мощности интенсивность электронной бомбардировки и соответственно

отравления катода возрастают. Это коррелирует с глубиной падения тока при подаче СВЧ сигнала мощностью 32 Вт и 10 Вт. На скорость отравления катода влияют также степень предварительной термической обработки и очистки поверхностей внутри прибора а также вакуумные условия в приборе. Из таблицы 1 и рис.2 следует, что чем большую рабочую температуру имеет катод прибора, тем с меньшей скоростью будет происходить его отравление и тем быстрее он восстановится. В то же время, известно, что с увеличением температуры катода в вакуумном приборе уменьшается его долговечность а значит работоспособность прибора, из-за увеличения скорости испарения оксидного покрытия.

При повторной подаче СВЧ сигналов на вход приборов после восстановления эмиссии катода, существенного падения тока катода уже не происходит.

Отсюда можно предложить способ дополнительной очистки внутренней поверхности резонаторов и стабилизации эмиссии путем подачи СВЧ мощности в процессе тренировки (и, возможно, откачки) прибора. При этом желательно использовать магнитный электроразрядный насос (МЭН) в ЦЗУ для удаления десорбированных ионов из прибора.

В настоящее время идет технологическая отработка оптимального уровня мощности СВЧ энергии, которую необходимо подавать на входной резонатор, для предотвращения необратимых явлений отравления в катоде.

5. Заключение

Описанные выше эффекты изменения тока эмиссии МНК при подаче СВЧ мощности на вход ЦЗУ необходимо учитывать в технологическом процессе изготовления приборов. Представленные результаты являются начальными и несомненно требуют тщательного изучения, проведения ряда дополнительных экспериментов, совершенствования и отработки технологических процессов с учетом полученных данных.

Библиографический список

1. Будзинский Ю.А., Быковский С.В., Голеницкий И.И., Калина В.Г. Становление, развитие и перспективы СВЧ-приборов на циклотронном резонансе электронного потока. // Электронная техника. СВЧ-техника. Труды юбилейной конференции, посвященной 70-летию ФГУП «НПП «Исток». Ч.1. Фрязино. 2013. С.136-141.
2. Дружинин А.В., Кондрашенков Ю.А. Новый эффективный термокатод. «Радиотехника и электроника», 1973, т.18, №7, с.1531.
3. Черепнин Н.В. Основы очистки, обезгаживания и откачки в вакуумной технике. М. «Советское радио», 1967.
4. Дудкин В.Н., Киселев А.Б., Ворожейкин В.Г. Влияние электропереноса ионов на термоэлектронную эмиссию и электропроводность оксидного катода. АН СССР, серия «Физическая», 1974, т.38, №2, с.402-406.