**Исследование композиционных катодных материалов для катодных систем электровакуумных приборов двойного назначения**

Руководитель НИР: кандидат физико-математических наук А.И. Гайдар

В современных электровакуумных приборах в качестве источников электронов используют эффективные катоды: металлосплавные, металлопористые, оксидные. Высокая эффективность электронной эмиссии этих катодов обусловлена наличием на их поверхности слоя активного вещества, имеющего низкие значения работы выхода электрона. Слой активного вещества образуется в процессе активирования катода и непрерывно возобновляется в течение всего срока службы прибора путем диффузии атомов активного металла из объема к поверхности.

Основой современных эффективных металлосплавных катодов служат сплавы на основе металлов платиновой группы (Pt, Pd, Ir) c присадками щелочно-земельных металлов (Ba, Ca, Sc и др.), которые позволяют существенно повысить долговечность и мощность электровакуумных СВЧ-приборов. Среди современных генераторов СВЧ колебаний особый интерес представляют магнетроны с безнакальным запуском (с «холодным катодом»), отличающиеся большой долговечностью и малым временем готовности (не более 0,5 сек). Катодные узлы таких магнетронов представляют собой сборку из чередующихся катодов с различными видами эмиссии – автоэлектронной и вторично-электронной [6]. Мгновенный выход магнетрона в режим генерации инициируется током автоэмиссии, возникающим одновременно с подачей на анод высокого напряжения. Необходимый уровень эмиссионной активности обоих катодов достигается только после их активирования – технологической операции для снижения работы выхода электрона за счет изменения элементно-фазового состава эмиссионной поверхности.

В настоящее время в качестве вторично- термоэлектронных катодов магнетронов широко применяются металлосплавные палладий-бариевые катоды, обладающие высокой стойкостью к ионной и электронным бомбардировкам. Активный металл – барий – входит в состав активирующей фазы – интерметаллического соединения Pd5Ba. Для изготовления Pd-Ba катодов широко применяют методы порошковой металлургии.

Катоды на основе интерметаллидов до активирования характеризуются значительной эмиссионной неоднородностью, что негативно сказывается на эксплуатационных характеристиках электровакуумных приборов. Термическое активирование Pd-Ba катода производят путем кратковременного нагрева катода до температуры, превышающей рабочую температуру. При этом происходит термическая диссоциация фазы Pd5B:

Pd\_5 Ba→5Pd+Ba

Образующиеся потоки атомов активного металла Ba диффундируют в объеме спеченного катода и выходят на поверхность поликристаллической Pd матрицы, где окисляются кислородом, содержащемся в составе остаточных газов вакуумной атмосферы прибора. Высокая эмиссионная активность Pd-Ba катода обеспечивается слоем BaО, который формируется на эмиссионной поверхности при активировании катода. В связи с тем, что при температуре активирования фаза ВаО имеет относительно высокую скорость испарения, длительность активирования является регламентируемым параметром, влияющим на уменьшение массы оксидного слоя.

В процессе работы прибора слой активного вещества на эмиссионной поверхности катода постепенно разрушается из-за потерь за счет испарения, ионной и электронной бомбардировок, отравления остаточными газами. В то же время, за счет диффузии атомов Ba из объема катода слой BaO воспроизводится на поверхности вплоть до исчерпания запасов Ba.

Несмотря на достаточно длительное применение металлосплавных Pd-Ba катодов, до сих пор нет полного представления о механизме формирования эмиссионных участков на их поверхности, нет единого мнения по поводу распределения активного металла по поверхности.

Исследование физических процессов, протекающих при активировании катода и перестраивающих поверхность в эмиссионно-активное состояние, изучение влияния каждого из них на формирование эмиссионно-активного слоя, изучение влияния тонкой структуры кристаллической подложки на эти процессы – все эти вопросы являются актуальными задачами в области эмиссионной электроники. Понимание диффузионных процессов, приводящих к формированию и распространению слоя Ba-O на поверхности поликристаллической Pd матрице, имеет не только научное, но и практическое значение. Оно позволит научно обоснованно формировать оптимальную структуру поликристаллической матрицы катода и выбирать температурно-временные режимы процесса активирования катода, для достижения минимальной работы выхода электрона и максимальной эмиссионной однородности поверхности.

В ходе выполнения работы методами растровой электронной микроскопии и электронно-зондового микроанализа с высоким пространственным разрешением получен большой объем экспериментальных данных о распространении эмиссионно-активного вещества BaO по поверхности палладий-бариевого катода при различных температурно-временных режимах вакуумного изотермического отжига.

Анализ элементно-фазового состава поверхности после экспериментальных вакуумных отжигов при температурах: 750 0С, 850 0С, 950 0С и 1050 0С с продолжительностью от 15 минут до 1 часа позволил выбрать температурно-временной режим, при котором происходит максимальное покрытие поверхности слоем Ba-O.

Количественной оценка площади поверхности, покрытой эмиссионно-активным слоем, проводилась по электронным микрофотографиям с использованием программ обработки изображений по разработанной методике.

Экспериментально установлено, что максимальное распространение слоя Ba-O по эмиссионной поверхности наблюдается при температуре вакуумного отжига Т=850 0С и времени отжига t=30 минут.

Впервые исследована корреляция распределения эмиссионно-активного вещества по поверхности катода с особенностями зеренной структуры палладиевой матрицы и с физическими механизмами массопереноса атомов активного металла Ba из объема на поверхность.

Показано, что основной массоперенос атомов активного металла Ba из внутренних источников на поверхность происходит путем диффузии по границам и тройным стыкам зерен, с дальнейшим распространением Ba по поверхности зерна.

Выявлено влияние морфологии частиц порошка Pd на зеренную структуру матрицы Pd-Ba катода.

Предложен метод количественной оценки параметров зеренной структуры матрицы по электронным микрофотографиям с применением программы обработки изображений ImageJ. Количественная оценка этих параметров необходима для возможности создания матриц, с требуемой зеренной структурой.

Рекомендован следующий режим активирования прессованного Pd-Ba катода: температуре вакуумного отжига Т=850 0С, время отжига t=30 минут.

Рекомендовано для повышения однородности элементно-фазового состава катодного материала, полученного методом твердофазного спекания, применение трехступенчатого смешивания исходных порошковых компонентов Pd и Pd5Ba с общей продолжительностью смешивания 3,0 часа: по 1 часу на каждой ступени.