

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЭМИССИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Филипп А.Р., (БГУ), Кулешов А.К., (БГАТУ), г. Минск

Проблема, с которой неизбежно сталкиваются разработчики холодильных устройств, работающих на эмиссионном принципе, это необходимость учитывать взаимоисключающие требования – малое расстояние между катодом и анодом при одновременной электрической и тепловой изоляции их друг от друга. До сих пор не предложена удовлетворительная конструкция ячейки «теплоэлектронного» преобразователя энергии, нет и общепринятой методики оценки эффективности использования углеродных материалов в таких холодильных устройствах.

Основной параметр, которым определяется работоспособность холодильного устройства – мощность охлаждения. Зададим ее на уровне 0,5-1 Вт для панели размером 50х50 мм. Конечно, такая мощность далека от требуемой для коммерческого использования, но вполне удовлетворительна для экспериментальной модели устройства. Принимая во внимание, что работа выхода электронов в вакуум из углеродного материала составляет 1 эВ [1], получается, что ток эмиссии должен составлять величину 0,75 А, а плотность тока эмиссии – 300 А/м². Оценки, проведенные для материала, описанного в [2], показали, что такая плотность тока из лучших образцов углеродных пленок, предназначенных для использования в телевизионных устройствах, достигается при напряженности электрического поля на уровне 10⁷ В/м. Если зазор анод-катод ограничен толщиной слюдяной пластинки – 50 мкм (легко реализовать в экспериментальном устройстве), то напряжение на устройстве составит 500 В – оптимальное значение с точки зрения опасности электрического пробоя и простоты конструкции.

Исследуемый образец имеет площадь поверхности 8х5 мм, что позволяет крепить его на стандартном криостате. Мощность охлаждения и ток эмиссии составят 17 мВт и 12мА, соответственно. Мощность тепловыделения на аноде при этом составляет: $P = UI = 500 \cdot 0,012 = 6 \text{ Вт}$

Достаточно большая цифра для устройства размером 8х5 мм и следует поэтому ожидать его разогрева до высоких температур, что приведет к нагреву эмиссионного катода и уменьшению к.п.д. всего холодильного устройства. Обычно в таких случаях применяют импульсный метод включения, чтобы уменьшить время разогрева и температуру нагретой поверхности. Если же предполагается проведение измерений в постоянном режиме, то необходимо организовать хороший отвод тепла. С этой целью в установке анод плотно прижат к площадке криостата и

температура его наружной поверхности близка к температуре жидкого азота $T_N = 80$ К (с поправкой на переходную теплопроводность и нелинейные эффекты).

Температура поверхности анода, обращенной к катоду, составляет: $T = \frac{I_q l}{\chi} + T_N$

где $I_q = P/S$ – поток тепла, приносимый на анод эмитированными электронами (S- площадь анода), l – толщина анода (2 мм), χ – коэффициент теплопроводности материала анода. При использовании электрокерамики, эта температура не превысит 100-110 К.

Тогда обратный тепловой поток от анода к катоду, связанный с излучением, вычисляется по формуле: $P = \sigma \cdot (T - T_N)^4 S$

где σ – постоянная Стефана-Больцмана, S- площадь нагретой поверхности

анода.

Расчет дает значение $P < 3 \cdot 10^{-4}$ Вт = 0,3 мВт, что пренебрежимо мало по сравнению с мощностью охлаждения холодильного устройства и не сказывается на результатах измерений. Еще один обратный канал потока тепла обусловлен теплопроводностью элементов конструкции, в первую очередь, слюдяной шайбы. В условиях лаборатории трудно изготовить шайбу, площадь поверхности которой, соприкасающаяся с катодом, будет меньше, чем 0,01S. Учитывая, что теплопроводность слюды в 100 раз меньше теплопроводности керамики, а ее толщина – 50 мкм, получим, что мощность теплового потока от нагретого анода в направлении катода, связанная с теплопроводностью, составит 20-30 мВт, что по порядку величины соответствует «полезному» потоку в обратном направлении.

На рисунке 1 представлена схема метода и картина потоков тепла в измерительном устройстве.

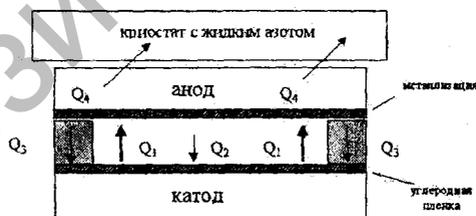


Рис. 1 Схема экспериментального устройства для методики оценки эффективности охлаждения эмитирующей электроны углеродной пленки.

Q_1 – «полезный» поток» тепла, уносимый с катода эмитируемыми электронами

Q_2 – радиационное излучение нагретого анода.

Q_3 – обратный поток тепла через слюдяную шайбу.

Q_4 – поток тепла к криостату, охлаждающий анод.

Мы предлагаем способ измерения, который позволяет исключить влияние этого «паразитного» потока без значительного усложнения конструкции. Для этого применяем в качестве анода кремниевую пластину, нижняя (обращенная к катоду) поверхность которой металлизирована и имеет два электрических контакта для подключения к источнику постоянного тока.

Пропуская через металлизированный слой электрический ток в одном случае и эмиссионный ток электронов – в другом, мы с помощью такого дифференциального метода можем измерить величину «холодильного эффекта», поскольку во втором случае, при сохранении всех тепловых потоков в неизменном виде, к ним добавляется отток тепла, уносимого электронами с катода. По уменьшению температуры катода, измеряемой чувствительным термометром, можно судить об эффективности холодильного устройства.

Важно только, чтобы джоулева мощность электрического тока, пропускаемого вдоль металлизированного слоя анода, была равна мощности, приносимой на анод эмитированными электронами.

Литература

1. F.Y. Chuang, C.Y. Sun, I.N. Lin //Appl. Phys. Lett. –1996. – V.68. – P.1666.
2. Филипп А.Р., Кулешов А.К. Исследование эмиссионных свойств углеродных (см. Материалы данной конференции).