

$$E_x = \sin \frac{py}{2a} \sin \frac{pz}{2a} \left( \cos \frac{py}{2a} - \cos \frac{pz}{2a} \right), \quad E_y = \sin \frac{px}{2a} \sin \frac{pz}{2a} \left( \cos \frac{pz}{2a} - \cos \frac{px}{2a} \right),$$

$$E_z = \sin \frac{py}{2a} \sin \frac{px}{2a} \left( \cos \frac{px}{2a} - \cos \frac{py}{2a} \right), \quad -i\omega m \bar{H} = \text{rot} \bar{E},$$
(9)

а для добротности данного и для сравнения кубического резонатора с длиной ребра  $d$  на основном колебании получаются следующие выражения

$$Q = \frac{wma}{(3 + 4\sqrt{2})R_s}, \quad Q = \frac{wmd}{3R_s}.$$
(10)

Если резонаторы выполнены из одного материала, то, согласно полученным результатам, добротность первого тетраэдрического резонатора больше добротности двух других тетраэдрических резонаторов, но меньше добротности кубического резонатора при одинаковых частотах на основном колебании.

### Литература

1. Шубников А. В., Копчик В. А. Симметрия в науке и искусстве. – М. : Наука. 1972. – 339 с.
2. Рудницкий А. С. Расчет объемных калейдоскопических резонаторов методом разделения переменных с учетом свойств симметрии // Вестник Белорусского ун-та. – 1982. – № 1. – С. 29–34.
3. Рудницкий А. С., Хапалюк А. П. Точное решение волнового уравнения в тетраэдре с импедансными граничными условиями // Радиотехника и электроника. – 1987. – Т. 32, вып. 10. – С. 2207–2209.
4. Rudnitsky A. S., Semenchik V. G. Mode Numbers for Kaleidoscopic Resonators // Proceedings of the Fifth International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter, and Submillimeter Waves. – Kharkov, 2004. – V. 1. – P. 326–328.
5. Дроздов С. Н., Кухарчик П. Д., Рудницкий А. С. Селективные свойства тетраэдрических резонаторов // Вестник Белорусского ун-та. Сер. 1 – 2003. – № 1. – С. 25–29.
6. Никольский В. В. Электродинамика и распространение радиоволн. – М. : Наука, 1973. – 608 с.

*М. Ф. Прудник, А. М. Прудник*

## Лабораторный макет для изучения зависимости сопротивления проводников от температуры

Разработана электрическая схема и конструкция лабораторного макета для изучения зависимости сопротивления проводников от температуры.

Данный макет позволяет определить температурную зависимость сопротивления и удельного сопротивления проводников от температуры, коэффициент теплопроводности, изучать зависимость параметров позистора и термистора от температуры.

Основные технические данные изготовленного прибора приведены в таблице:

**Технические данные лабораторного макета**

Напряжения питания, В	220
Мощность, Вт	70
Максимальная температура нагрева камеры/образца, °С	100
Масса, кг	3

Структурная схема макета представлена на рис. 1.

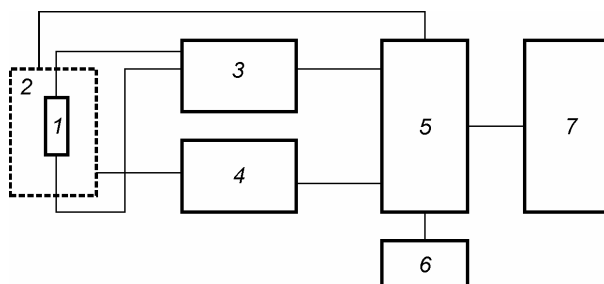


Рис. 1. Структурная схема прибора:

1 – экспериментальный образец; 2 – камера нагревателя; 3 – омметр; 4 – регулятор температуры; 5 – элементы коммутации; 6 – элементы индикации; 7 – блок питания

Передняя панель макета показана на рис. 2.

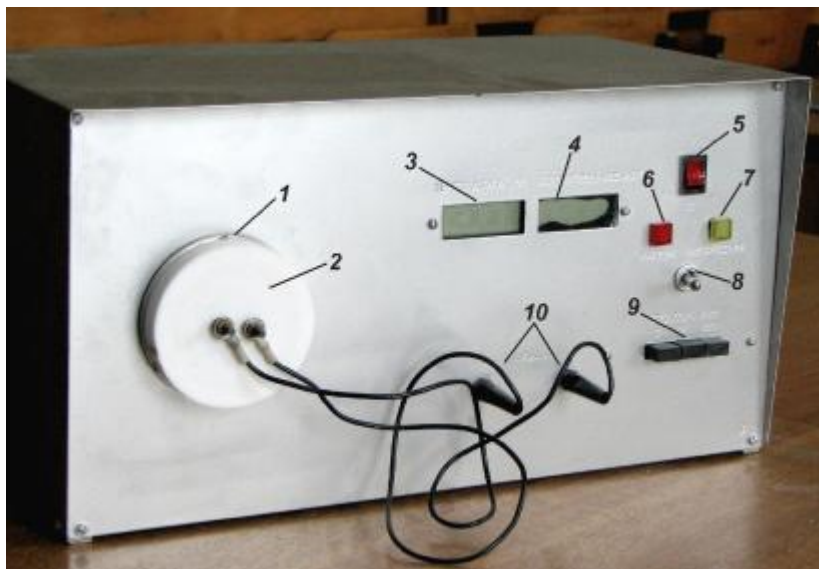


Рис. 2. Внешний вид передней панели макета:

1 – камера; 2 – крышка нагревателя; 3 – цифровой индикатор температуры; 4 – цифровой индикатор сопротивления; 5 – тумблер электропитания; 6 – индикатор нагревания камеры; 7 – индикатор охлаждения камеры; 8 – тумблер включения нагревания/охлаждения камеры; 9 – пределы омметра; 10 – клеммы омметра

К макету прилагается восемь образцов изготовленных из разных материалов различной длины и сечения (рис. 3).

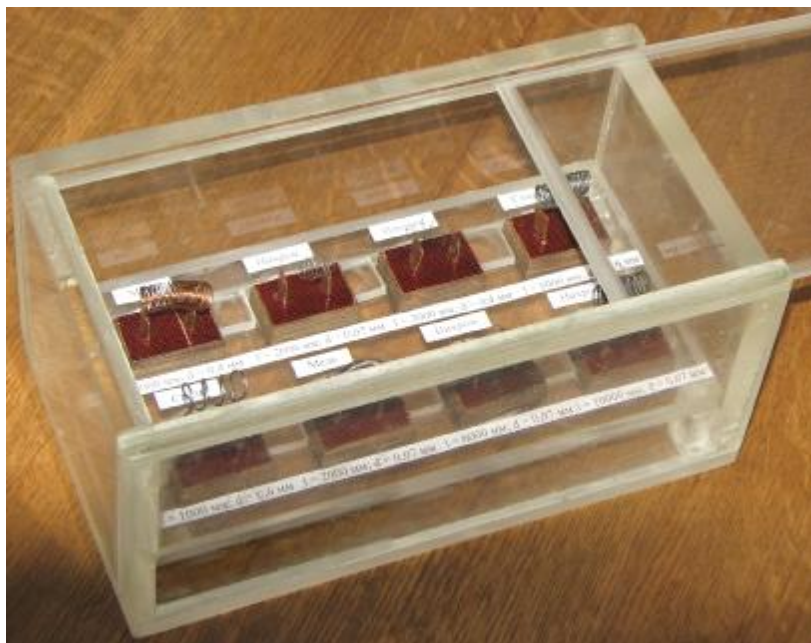


Рис. 3. Внешний вид пенала с лабораторными образцами

Порядок работы с макетом следующий:

- 1) подсоединить образец к клеммам крышки камеры нагревателя с внутренней стороны;
- 2) включить питание прибора;
- 3) выбрать диапазон измерения сопротивления;
- 4) произвести измерение сопротивления образца и его температуры.

Изготовленный макет может найти применение в учебном процессе, при постановке лабораторного практикума по дисциплинам «Физика», «Физика твердого тела», «Физико-химические основы микроэлектроники», «Материалы электронной техники», «Электрорадиоэлементы».

## Литература

1. Савельев, И. В. Курс общей физики / И. В. Савельев. – М. : Астрель-АСТ, 2007.
2. Справочная книга радиолюбителя-конструктора / под ред. Н. И. Чистякова. – М. : Радио и связь, 1990.
3. Справочник по электротехническим материалам / под ред. Ю. В. Корицкого. – Л. : Энергоатомиздат, 1988. – Т. 3.

*И. Ю. Рахманько*

## Исследование электрохимического осаждения платины

Платина обладает уникальными свойствами. Платиновые покрытия стойки в химически агрессивных средах и не окисляются при нагревании до 1100 °С [1, 2]. Платину используют для создания низкоомных электрических контактов. Значительный научный и практический интерес имеет использование платины в качестве каталитически активных покрытий. В настоящее время активно исследуются возможности использования платины как катализатора в водородных и метаноловых топливных элементах. Использование пористого кремния (ПК) в качестве электродов для топливных элементов в сочетании с осаждением платины может значительно увеличить активную площадь электродов при низком расходе платины.

Основным из методов получения пленок металлов с высокими температурами плавления, таких как платина и родий, является электрохимическое осаждение. Принципиальным преимуществом этого способа является возможность контролировать толщину покрытия в процессе осаждения с точностью до долей микрона. Кроме того, варьирование параметров осаждения, таких как температура, кислотность и плотность тока, может приводить к получению осажденного металла с различной структурой.

Целью настоящего исследования являлось получение платиновых покрытий на пористом кремнии. Известно, что катодное восстановление платины возможно как в кислой, так и в щелочной среде, однако использование пористого кремния определяет необходимость применения только растворов, имеющих кислую реакцию.

На данный момент авторам не известно ни одной работы по осаждению платины на пористый кремний. Для получения платиновых покрытий на монокристаллическом кремнии чаще всего используются электролиты на основе хлорплатината аммония [3, 4], хлорплатината калия или натрия [5, 6] и платинохлористоводородной кислоты [3, 6]. Указанные электролиты характеризуются достаточно сложными составами либо используются для получения каталитических покрытий (черное платинирование) и, следовательно, не позволяют получать блестящие осадки. В работе [7] приведен простой по составу электролит на основе диаминонитрита платины. Указано, что при плотности тока 5–6 мА/см<sup>2</sup> и температуре 20–70 °С на металлических катодах могут быть получены покрытия толщиной до 15 мкм. Выход по току в этом электролите может достигать до 40 % при температуре раствора 70 °С, повышается при увеличении концентрации платины и ортофосфорной кислоты и снижается при увеличении плотности тока.

Диаминонитрит платины был приготовлен смешиванием растворов хлорида платины и нитрита натрия в соотношении 1:3 при нагреве до 40–50 °С. К полученному раствору был добавлен аммиак и расчетное количество ортофосфорной кислоты. Кислотность готового раствора находилась в пределах 0,8–1,0.

С целью оптимизации режима осаждения платины был проведен ряд исследований качества осадка на медной проволоке в зависимости от режимов осаждения. Осаждение производилось в гальваностатическом режиме. В качестве анода использовалась платиновая спираль. Благодаря электрохимическому растворению анода, обеднения раствора не происходило. Плотность тока задавалась при помощи потенциостата ПИ-50-1.1 от 5 до 40 мА/см<sup>2</sup>. Температура менялась в диапазоне 20–65 °С.

В результате экспериментов установлено, что в приготовленном электролите при комнатной температуре может быть получено только черное покрытие, независимо от плотности тока. Блестящие платиновые покрытия удалось получить только при повышении температуры до 50–65 °С. При температуре 65 °С был достигнут наибольший выход по току: около 20 %, причем выход по току был ниже при больших плотностях тока. Осадки обладали высокими внутренними напряжениями, поэтому сплошные пленки толщиной более 1,5 мкм получить не удалось (происходило их отслаивание от поверхности катода).

Выбранные режимы были проверены на пористом кремнии. Для приготовления пористого кремния были использованы пластины КЭС-0.01. Толщина слоя ПК составляла 0,5 мкм, пористость около 30 %.