

## МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ИОННОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ИОННЫХ КРИСТАЛЛАХ И ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Из электрических методов нами использованы методы изучения температурных зависимостей ионной электропроводности и диэлектрических потерь, так как изучение температурной зависимости величины ионной электропроводности (ИП) и диэлектрических потерь (ДП) позволяют определить температурную зависимость концентрации подвижных ионных дефектов и концентрации комплексных ионов, образованных из различных микродефектов в ионных кристаллах и полупроводниках.

При измерении ИП ввиду больших значений удельного сопротивления исследуемых кристаллов возникает необходимость измерения токов порядка  $10^{-14}$  А. Для фиксации токов, абсолютные значения которых меньше  $10^{-9}$  А, используют электронные усилители тока. Для измерения малых токов был использован электрометрический усилитель микрорентгенометра типа СП-1М («Кактус»). Пределы измерения тока  $10^{-14}$  А –  $10^{-8}$  А. Электрометр очень надежен в работе, обладает хорошей чувствительностью, малым дрейфом нуля.

Для измерения тангенса угла ДП существуют целый ряд методов. Применение того или иного метода определяется, в первую очередь, необходимым частотным диапазоном измерения. На звуковых частотах для измерения диэлектрических характеристик кристаллов наиболее часто используют мостовые цепи, низкочастотный предел которых ограничивается большим временем уравнивания моста, а высокочастотный предел определяется остаточным импедансом системы электродов.

Нами совместно с сотрудниками НИИ РФ Томского политехнического института была разработана установка для комплексного измерения электрофизических свойств кристалла, позволяющая на одном образце одновременно осуществлять измерения тангенса угла ДП ( $\operatorname{tg} \delta$ ) и ИП ( $\delta$ ). Установка, блок-схема которой представлена на рис. 1 предназначена для измерения ИП в интервале 20-400 С, а также для измерения величины ИП, система включает в себя измерительную вакуумную ячейку с устройством нагрева и контроля температуры. Коммутация каналов осуществляется переключателем специальной конструкции. В измерительной ячейке создается вакуум порядке  $10^{-2}$  мм рт. ст.

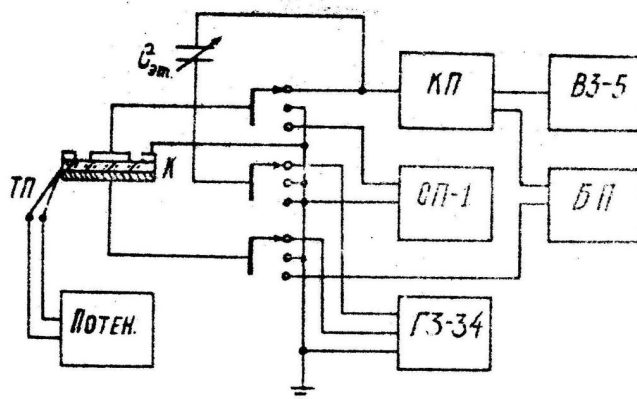


Рис.1

Вакуумная ячейка включает в себя систему крепления образца и электродов. Поверхность электродов никелирована. В нижнем электроде вмонтирована электрическая печь, позволяющая производить нагревание кристалла. Хромель-копелевая термопара

крепится к нижнему электроду в близости от образца. Для уменьшения погрешности измерения ДП и ИП все вводы и изоляционные прокладки выполнены из тефлона.

Исследуемый кристалл включается в измерительную цепь по трехэлектродной схеме: два основных электрода и охранное кольцо. Необходимость применения охранного кольца обусловлена следующими причинами:

1) В случае, когда охранное кольцо имеет потенциал, равной или близкой потенциалу измерительного электрода, краевая емкость устранилась, т.к. краевая емкость вносит прямую погрешность в измерение  $tg\delta$  ;

2) Охранное кольцо способствует выравниванию силовых линий напряженности электрического поля в измерительном объеме кристалле;

3) Более точно подчитать площадь  $S$  и объем  $V$  измеряемого кристалла.

В качестве источника напряжения выбран звуковой генератор типа ГЗ-34 с симметричным трансформаторным выходом и частотным диапазоном  $20\div 2\cdot 10^5$  Гц. Индикатор состоит из катодного повторителя и лампового милливольтметра типа ВЗ-5.

Конкретном случае для измерения  $tg\delta$  в комплексной установке используется дифференциальной неуравновешенный мост с трансформаторными плечами. Две его плеча «эс» и «св» состоит из вторичной обмотки трансформатора звукового генератора со средней заземленной точкой. Одновременно с помощью трансформатора осуществляется питание моста. Плечо «вд» представляет собой эталонный конденсатор переменной емкости, а в плечо «ад» включается объект измерения. Диагональ «cd» моста измерительная. Преимуществом подобного моста по сравнению с другими методами измерения  $tg\delta$  является простота определения  $tg\delta$  , мост частотно-независим. Вследствие того, что в плечо «ад» включено комплексное сопротивление (образец), в плечо «вд» можно считать чисто реактивным, мост полностью уравновесить невозможно. Но изменением емкости эталонного конденсатора можно добиться такого состояния, при котором напряжение и измерительной диагонали достигает минимального значения.

В этом случае, как следует из теории мостов подобного типа, емкость  $C_x$  и тангенс угла ДП  $tg\delta$  образца приближенно определяются следующими соотношениями:

$$C_x \approx C_{\text{эталон}}, \quad tg\delta = \frac{4U_{cd}}{U_{av}}.$$

Для правильного измерения необходимо, чтобы входной импеданс индикатора в измерительной диагонали моста стремился к бесконечности, т.е. чтобы  $R_{ex} \rightarrow \infty$  и  $C_{ex} \rightarrow 0$ . Для выполнения этого условия в качестве согласующего устройства между измерительными приборами и местом используется специальный каскадный катодный повторитель. В системе измерения применен также метод двойной экранировки. Благодаря этому  $R_{ex}$  достигает  $10^{10}$  Ом, а  $C_{ex}$  становится меньше 5 пФ. Коэффициент передачи по напряжению указанного катодного повторителя равен примерно единицы.

Для удобства отсчета на мост подается с генератора напряжение 40 вольт. Тогда значение  $tg\delta$  численно равно показанию милливольтметра, деленному на 10. Тангенс угла ДП рассчитывается по формуле:

$$tg\delta = \frac{4U_{cd}}{U_{av}}$$

Где  $U_{cd}$  - напряжение в измерительной диагонали (в вольтах)

$U_{av}$  - напряжение питания моста (в вольтах).

Тогда  $tg\delta = N_{mv} \cdot 10^{-4}$  . где  $N_{mv}$  - показание лампового милливольтметра ВЗ-5.

Для измерения удельной объемной проводимости был использован электрометр с трехзажимным включением образца (измерительный электрод, высоковольтный электрод и охранное кольцо).

Объемная ИП кристаллов определялась по следующей формуле:

$$\sigma_v = Id/US \text{ (ом}^{-1}\text{, см}^{-1}\text{)}$$

где d-толщина образца, S- площадь напыщенного измерительного электрода, U- напряжение подаваемое на образец, I- ток, проходящий через образец. Для нанесения электродов на кристаллы была использована платинирующая установка. Система электродов расположена в вакуум-колокоде. Распыляемый металл (платина) является катодом (К). Анод (А) представляет собой заземленный дюралюминиевый столик. Расстояние между электродами равнялось примерно  $\approx 5\text{см}$  для избежание разогрева кристаллов. На катод подается высокое выпрямленное напряжение от высоковольтного выпрямителя (ВВВ). Разрядный ток в цепи регистрировался с помощью миллиамперметра (mA). Интенсивность распыления при равных условиях регулируется величиной приложенного напряжения. Непрозрачный слой платины на образцы наносился при следующем режиме платинирования: напряжение между электродами – (1, 1÷2.0) кВ; разрядный ток -2,5 mA; вакуум в ячейке  $-5 \cdot 10^{-2}$  мм рт.ст.; время напыления -1,5 часа. Как показали намерения, ионная электропроводность платинированных кристаллов больше, чем у неплатинированных. Это свидетельствует о надежном контакте прижимных электродов с образцом благодаря промежуточному напыленному слою платины.

Рассмотренные выше методы в комплексе были использованы для изучения особенностей и механизма релаксационных процессов в радиационно окрашенных чистых и примесных кристаллах. Комплексное применение оптических и электрических методов позволило получить ряд новых экспериментальных результатов и сделать некоторые новые выводы о механизмах релаксационных процессов и взаимопревращения радиационных микродефектов в ЩГК