

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ И ТЕРМО-Э.Д.С. МОНОКРИСТАЛЛОВ

 $Ag_3In_5Se_9$

А.Г.ГУСЕЙНОВ, Р.М.МАМЕДОВ

Бакинский Государственный Университет

inaure@yahoo.com

В статье исследованы температурная зависимость электропроводности и дифференциальная термо-э.д.с. монокристаллов $Ag_3In_5Se_9$. Определены энергии активации носителей заряда и глубины залегания примесных уровней. Установлено, что в области высоких температур в кристалле происходит фазовое превращение второго рода, а возрастание α с увеличением температуры обусловлено усилением некогерентных акустических волн.

В наших прошлых работах [1, 2] было показано, что механизм рассеяния носителей тока в электрической проводимости образцов в определенных интервалах температур по разному зависит от напряженности электрического поля. При низких температурах (100÷230 К) в ВАХ наблюдается насыщение тока, обусловленное полевой зависимостью подвижности проводящих электронов, возникновением акусто-электрического эффекта.

В данной работе приводятся результаты измерений электропроводности и дифференциальной термо-э.д.с. в интервале температур 200÷700 К. На рисунке 1 представлена типичная температурная зависимость электропроводности n-типа монокристаллических образцов $Ag_3In_5Se_9$. При измерении, напряженность электрического поля была подобрана таким образом, чтобы значение ее совпадало с линейным участком ВАХ, а сама ВАХ сохраняла характер линейности во всем интервале температур. На зависимости $\sigma(T)$, представленной в полулогарифмическом масштабе, видны три линейных участка, обусловленные генерацией свободных носителей тока. Первые два участка находятся в интервале температур 200÷250 К и 300÷500 К и соответ-

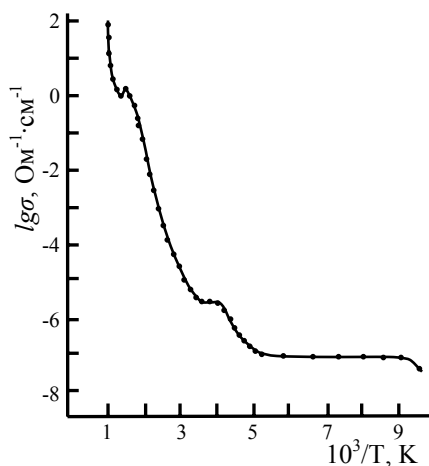


Рис.1. Температурная зависимость удельной электропроводности монокристаллов $Ag_3In_5Se_9$.

вуют ионизации донорных уровней с глубиной залегания 0,56 и 0,76 эВ от дна зоны проводимости, соответственно. В узком температурном интервале 625÷630 К с ростом температуры электропроводность образцов скачкообразно уменьшается. Это, видимо, обусловлено фазовым превращением второго рода в кристалле. Потому, что именно в этом интервале температур на термограмме $Ag_3In_5Se_9$ наблюдается экзотермический эффект, описывающий характер фазового превращения.

На дифференциальной записи термограммы четко выражена кинетика фазового перехода, который относится к переходу второго рода. Выше 630 К, рост температуры приводит к экспоненциальному увеличению электропроводности образца. Наклон третьего линейного участка в интервале 635÷700 К соответствует электронному переходу на 1,2 эВ. Несомненно, это является шириной запрещенной зоны $Ag_3In_5Se_9$. Это значение хорошо согласуется со значениями ΔE_g , найденными из фотоэлектрических и оптических измерений.

Дифференциальная термо-э.д.с. (α) в монокристаллах $Ag_3In_5Se_9$ измерялась в стационарном режиме при градиенте температур 10-12 К/см. На рисунке 2 представлены температурные зависимости термо-э.д.с. в двух монокристаллических образцах $Ag_3In_5Se_9$, выращенных методом горизонтального медленного охлаждения, при постоянном градиенте температуры, и Бриджмена-Стокбергера. Следует отметить, что кристаллы выращенные первым методом имели более низкую электропроводность по сравнению с кристаллами, выращенными вторым методом. Это связано с тем, что в процессе выращивания монокристалла первым методом в ампуле, где находился расплавленный сплав, создавали избыточное давление пара легколетучего компонента соединения – селенида. Результаты различных исследований монокристаллов типа $A_3^I B_5^{III} A_9^{VI}$, показали [4], что механизм электропроводности в них формируется в основном за счет анион-катионной вакансии кристаллической решетки кристалла. Вакансии селена в монокристаллах $Ag_3In_5Se_9$, являются ответственными за образование n-типа электропроводности образцов. Следует отметить, что все образцы монокристаллических слитков в исследованном интервале температуры, имели n-тип электропроводности. Температурные зависимости электропроводности и подвижности неосновных носителей тока исследованы в кристаллах $Ag_3In_5Se_9$, полученных первым методом выращивания монокристалла, а температурная

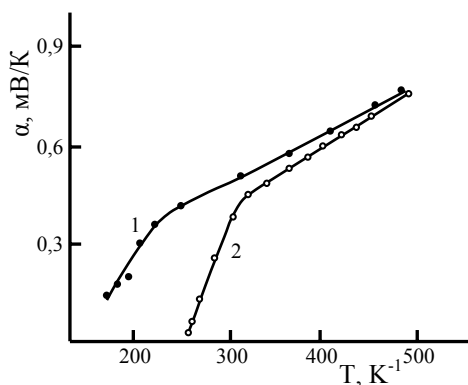


Рис.2. Температурная зависимость дифференциальной термо-э.д.с. в монокристаллах $Ag_3In_5Se_9$. 1 и 2 соответствуют различным образцам

зависимость α в кристаллах, выращенных обоими методами. Как видно из рисунка (для кривой 1), в диапазоне температур 250÷500 К, α линейно увеличивается с ростом температуры. Подобный характер зависимости, присущ электрон-фононному взаимодействию, однако, эта зависимость не описывается простым соотношением [3], для случая слабого электрон-фононного взаимодействия:

$$\alpha = \frac{v_s \ell}{\mu_n \Delta T}.$$

Здесь v_s - скорость звука в кристалле, ℓ - длина свободного пробега фонона, μ_n - подвижность электронов. С повышением температуры амплитуда колебаний атомов в решетке увеличивается и возрастает роль ангармонизма, что приводит к уменьшению длины свободного пробега между фонон-фононными взаимодействиями. В работе [2] показано, что выше 230 К подвижность электронов сильно уменьшается и исчезает акустоэлектрический эффект. По видимому при 230 К в кристалле количество мод акустических фононов увеличивается и волны становятся некогерентными и электроны больше увлекаются фононами. Поэтому следует предполагать, что зависимость $\alpha(T)$ в интервале 250÷330 К выражает переходный участок от слабого электрон-фононного взаимодействия к сильному. Из зависимости $\sigma(T)$ в интервале 250÷280 К незначительное уменьшение σ с ростом T , объясняется также уменьшением μ_n с ростом температуры. Однако дальнейший рост концентрации электронов с повышением температуры обуславливает увеличение термо-э.д.с. в $Ag_3In_5Se_9$. Сравнение температурных зависимостей α высокоомного (кривая 2) и низкоомного (кривая 1) образца, также свидетельствует об увеличении α с ростом концентрации основных носителей заряда.

Исследование температурной зависимости подвижности неосновных носителей тока в низкоомных кристаллах $Ag_3In_5Se_9$ (рис. 3), показало, что в области температур 150÷250 К, рассеяние неравновесных дырок происходит в основном на акустических колебаниях решетки, в области температур $T > 250$ К, подвижность дырок остается почти постоянной, а при 300 К она равна $320 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$. По данным работы [1] подвижность основных носителей заряда электронов проводимости в $Ag_3In_5Se_9$ при 300 К равна $120 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$. Значит, неравновесные дырки в $Ag_3In_5Se_9$, в области температуры 200÷450 К более подвижны, чем электроны проводимости. Следовательно, при сравнимых концентрациях электронов проводимости и дырок, электропроводность будет обуслов-

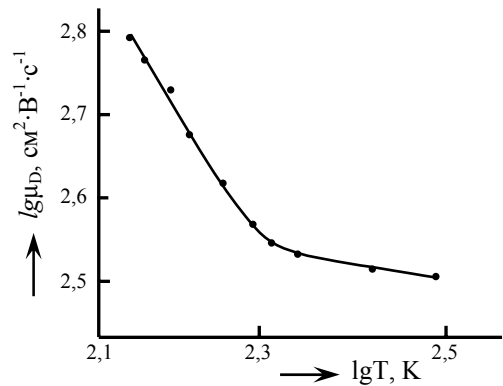


Рис.3. Температурная зависимость подвижности неосновных носителей тока в низкоомных кристаллах $Ag_3In_5Se_9$.

лена в основном дырками, а вклад их в неравновесных процессах будет преобладающим.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тагиров В.И., Гахраманов Н.Ф., Гусейнов А.Г., Алиев Ф.М. О механизме рассеяния носителей тока в $Ag_3In_5Se_9$ // ФТП, 17, 3, 1983, с. 145-146.
2. Тагиров В.И., Гахраманов Н.Ф., Гусейнов А.Г. – Новый класс тройных полупроводниковых соединений типа $A_3^I B_5^{III} C_9^{VI}$. Баку, 2001, с.300.
3. Зеегер К. Физика полупроводников. М.: Мир, 1977, 616 с.
4. Huseynov A.H., Mamedov R.M. Photoelectric properties of single crystals $Ag_3In_5Se_9$ // Semiconductor Physics and Quantum Electronics, 2006, v.9, №3, p. 25-28.

$Ag_3In_5Se_9$ MONOKRİSTALLARININ ELEKTRİK KEÇİRİCİLİYİ VƏ TERMO-E.H.Q.-Sİ

Ə.H.HÜSEYNOV, R.M.MƏMMƏDOV

XÜLASƏ

Məqalədə $Ag_3In_5Se_9$ monokristallik nümunələrinin elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı və diferensial termo-e.h.q. öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, yüksək temperatur intervalında α -nın artması qeyri-koherent dalğaların güclənməsi hesabınadır.

CONDUCTION AND THERMO-E.M.F. IN MONOCRYSTALS OF $Ag_3In_5Se_9$.

A.H.HUSEYNOV, R.M.MAMMADOV

SUMMARY

The paper investigates the temperature dependence of the electric conductivity and thermal E.M.F. of $Ag_3In_5Se_9$ single crystals. It is shown that in the high temperature range, the increasing of the α coefficient is a result of amplification of noncoherent waves.