

Литература

1. А.И. Стогний, С.В. Корякин // ПТЭ.- 2000.- №6.- с. 64-67,
2. D.L. Lile, N.M. Davis semiconductor profiling using an optical probe // Solid State Electron.- 1975.- v. 18.-№ 7-8.- p. 699-704.
3. С.М.Рывкин. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. -М.: Физматгиз, 1963.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНОК, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

А.В. Иванов

Научный руководитель – *В.И. Попко*

Белорусский национальный технический университет

Внимание исследователей многих стран давно привлечено к разработке преобразователей солнечной энергии, практическое применение которой не связано с загрязнением окружающей среды и, как следствие, изменением теплового баланса планеты. В современной фотоэлектрической энергетике особое внимание уделяется разработке высокоэффективных дешёвых тонкопленочных солнечных элементов с продолжительным сроком службы, которые успешно могут заменить применяемые в настоящее время элементы на основе кремния и арсенида галлия. Среди новых перспективных полупроводниковых материалов, пригодных для создания на их основе эффективных фотопреобразователей следует выделить трехкомпонентное соединение меди CuInSe_2 . По своим физическим свойствам (ширина запрещенной зоны и большой коэффициент оптического поглощения) это соединение удачно подходит для изготовления на его основе солнечных элементов. Кроме этого радиационная стойкость приборов на основе этого соединения в 50 раз выше по сравнению с Si и GaAs.

Целью настоящей работы являлось исследование температурных зависимостей электропроводности плёнок CuInSe_2 . Процесс получения плёнок включал в себя нанесение слоёв меди и индия на стеклянную подложку методом термического напыления и последующий температурный отжиг в парах селена в атмосфере инертного газа (азот). Исследование температурной зависимости электропроводности позволяет определить значения энергий активации энергетических уровней в запрещённой зоне, обусловленных дефектами различного типа, образующимися при формировании плёнки. Измерение температурных зависимостей плёнок проводилось в вакуумной камере в температурном интервале 80–400К. В качестве электрических контактов использовался токопроводящий клей, который, согласно предварительно проведенным исследованиям являлся омическим контактом к вышеуказанным плёнкам во всём температурном интервале. Все исследованные плёнки имели р-тип электропроводности. Температурные зависимости электропроводности описываются известным соотношением $\sigma = \sigma_0 \exp(-\Delta E_a/kT)$, где ΔE_a – энергия активации энергетического уровня, который при данной температуре участвует в создании носителей заряда, определяющих величину электропроводности. Поэтому для определения энергий активации энергетических уровней необходимо регистрация температурной зависимости электропроводности. Если преобразовать её в зависимость вида $\ln \sigma = f(1000/T)$, то по наклону прямолинейных участков в определенных интервалах температур можно определить соответствующие значения энергий активации энергетических уровней ΔE_a . Согласно имеющимся литературным данным вышеуказанные плёнки имеют собственные дефекты типа вакансии меди (V_{Cu}) и вакансии селена (V_{Se}). Эти дефекты являются основными для данного полупроводникового соединения и определяют тип проводимости и значение величины удельного сопротивления. Из полученных нами температурных зависимостей электропроводности были определены два значения энергий активации энергетических уровней, созданных собственными дефектами в плёнках. Первое значение энергии активации $\Delta E_1 = 0,093$ эВ, определённое в температурном интервале $\Delta T_1 = 140\text{--}300\text{K}$ можно приписать вакансиям селена, образующим донорные энергетические уровни в запрещённой зоне. Второе значение $\Delta E_2 = 0,045$ эВ было определено в температурном интервале $\Delta T_2 = 80\text{--}140\text{K}$ и

приписано нами к дефектам типа вакансии меди, образующим акцепторный энергетический уровень в запрещённой зоне. Соотношение между концентрациями этих дефектов определяет тип проводимости плёнок. Определённый нами из термоэлектрических измерений р-тип проводимости плёнок свидетельствует о преимущественной концентрации акцепторных уровней и, соответственно, дефектов типа вакансии меди в исследованных плёнках CuInSe_2 .

СПЕКТР ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ В СИСТЕМАХ ОСЦИЛЛЯТОРНОГО ТИПА

В.С. Иванов

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент **Н.С. Буйнов**
Витебский государственный университет имени П. Машерова

Пусть гамильтониан системы N многоуровневых частиц, без учета взаимодействия их с возбуждающим полем, имеет вид: $H_0 = \sum_{j=1}^N \hbar\omega_0 b_j^\dagger b_j$, где $\hbar\omega_0$ - энергия возбуждения отдельной

квантовой частицы, b_j^\dagger , b_j - операторы Бозе. Гамильтониан поля фотонов: $H_1 = \hbar\omega_k a_k^\dagger a_k$, где учитывается одна резонансная мода излучения, a_k^\dagger , a_k - операторы рождения и уничтожения.

Гамильтониан взаимодействия: $H_2 = \sum_{j=1}^N \left(\frac{\lambda}{\sqrt{N}} (b_j^\dagger)^n a_k e^{i\vec{k}\vec{r}_j} + \frac{\lambda^*}{\sqrt{N}} (b_j)^n a_k^\dagger e^{-i\vec{k}\vec{r}_j} \right)$, где λ - константа

взаимодействия, $n = 1$ соответствует линейному случаю, а $n = 2$ - билинейному случаю.

Полный гамильтониан системы, взаимодействующей с фотонным полем, тогда запишется в виде: $H = H_0 + H_1 + H_2$,

$$H = \hbar\omega_k a_k^\dagger a_k + \sum_{j=1}^N \hbar\omega_0 b_j^\dagger b_j + \sum_{j=1}^N \left(\frac{\lambda}{\sqrt{N}} (b_j^\dagger)^n a_k e^{i\vec{k}\vec{r}_j} + \frac{\lambda^*}{\sqrt{N}} (b_j)^n a_k^\dagger e^{-i\vec{k}\vec{r}_j} \right). \quad (1)$$

Исследование системы производится методом запаздывающих функций Грина, с помощью которого находится спектр элементарных возбуждений.

Получены следующие результаты:

1) $n = 1$ - мягкая мода отсутствует, а следовательно фазовый переход в такой системе невозможен;

2) $n = 2$ - мягкая мода обращается в ноль при температуре, определяемой из следующего термодинамического уравнения:

$$\langle b^\dagger b \rangle = \frac{1}{2} \left(\frac{\hbar^2 \omega_0 \omega_k}{|\lambda|^2} - 1 \right).$$

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОВРЕМЕННЫХ ОСЦИЛЛОГРАФАХ

А.А. Карнов, С.В. Прохоров

Научный руководитель – к.ф.-м.н., профессор **А.Г. Головейко**
Белорусский национальный технический университет

Компьютерные технологии в современных осциллографах превратили их в измерительные приборы высокой точности с принципиально новыми техническими возможностями, связанными с запоминанием осциллограммы и её воспроизведением после