

ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРОВ ПРОПУСКАНИЯ И ЗНАЧЕНИЙ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЁННОЙ ЗОНЫ ПРЯМОЗОННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ОБЪЁМНОМ И ПЛЕНОЧНОМ СОСТОЯНИЯХ

Осмоловская Т.Н.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Станчик А.В. – канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Экспериментально исследовано влияние структуры образцов полупроводниковых материалов, на примере In_2S_3 , на значение ширины запрещённой зоны E_g . Показано, что для всех образцов, как поликристаллических, так и аморфных с увеличением средних размеров зёрен микрорельефа наблюдалась тенденция к уменьшению значений ширины запрещённой зоны и её приближение к эталонным значениям, полученным для монокристаллов. Анализ крутизны возрастания $(\alpha \cdot h\omega)^2$ для различных образцов также позволяет говорить о том, что для крупнозернистых образцов рост $(\alpha \cdot h\omega)^2$ гораздо более выраженный и погрешность оценки E_g в таком случае будет меньше.

Ключевые слова: ширина запрещенной зоны, оптические свойства, полупроводниковые материалы

Введение. Полупроводниковые материалы на основе соединений и твердых растворов селенидов/сульфидов меди, серебра-индия-галлия, сульфидов индия нашли широкое применение в элементах конструкций приборов электронной техники: различных видов детекторов излучений, тонкопленочных солнечных элементов и др. Обладая высокими значениями коэффициента оптического поглощения, высокой радиационной стойкостью вследствие дефектности кристаллической структуры, оптимальными для реализации приборов оптоэлектроники значениями ширины запрещённой зоны, данный тип материалов перспективен к применению. В данной статье автором на примере полупроводникового материала In_2S_3 показано, что на значения ширины запрещённой зоны, определенные по спектрам пропускания образцов, существенное влияние оказывает микрорельеф.

Основная часть. Одним из определяющих параметров для полупроводниковых материалов, применяемых в оптоэлектронике, является ширина запрещённой зоны. Её значения определяют область фоточувствительности полупроводника. Таким образом, управляя значениями ширины запрещённой зоны можно формировать различные по своему функциональному назначению полупроводниковые устройства.

Типичным методом определения ширины запрещённой зоны является аппроксимация прямолинейного участка $(\alpha \cdot h\omega)^2$ в области края собственного поглощения на ось энергии фотона $(h\omega)$. Измеряемым параметром является коэффициент пропускания T , далее происходит расчёт A , из которого рассчитывается коэффициент поглощения. Коэффициент поглощения рассчитывается по формуле 1 [1]:

$$\alpha = \frac{1}{d} \ln (A + \sqrt{A^2 + R^2}), \quad (1)$$

где α – коэффициент поглощения, см^{-1} ;

d – толщина образца, мкм;

$A = (1 - R)^2 / 2T$, %;

R – коэффициент отражения, численные значения которого равны 0,22 – 0,25.

Для полупроводниковых материалов, в которых поглощение света сопровождается прямыми и непрямыми межзонными переходами, зависимость $(\alpha \cdot h\nu)^2$ от $h\nu$ будет иметь вид прямой линии. Положение точки ее пересечения с осью энергии фотонов характеризует значение ширины запрещенной зоны.

Измерения происходят на спектрофотометре (рисунок 1):

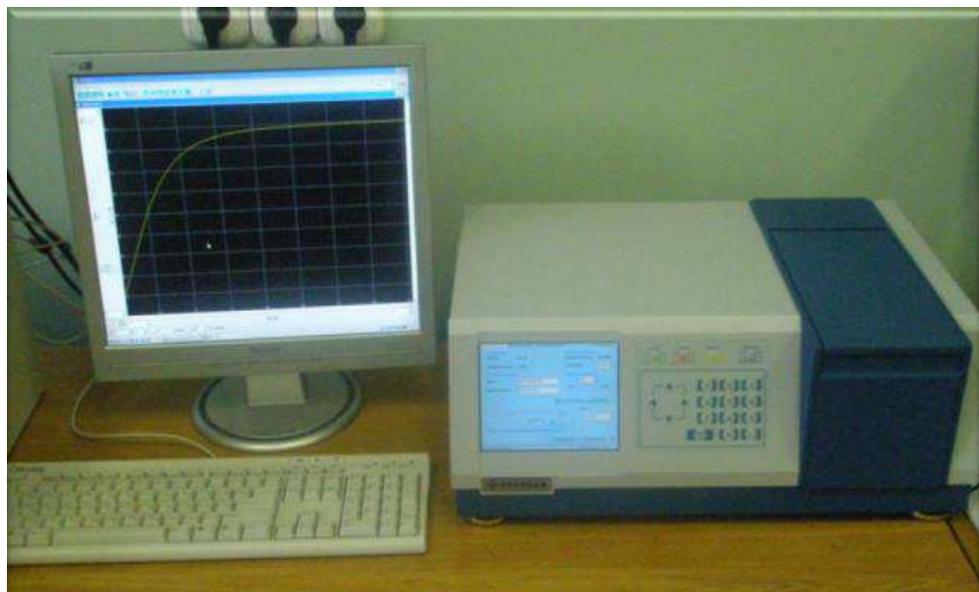


Рисунок 1 – Установка для измерения пропускания «MC-121 Proscan Special»

Для твердотельных полупроводниковых материалов основными состояниями являются: плёночное и объёмное. В объёмном состоянии образцы могут быть поликристаллическими и монокристаллическими. В плёночном состоянии полупроводники могут быть получены как из кристаллов, так и элементарных материалов различными методами (испарение, соиспарение, молекулярно-пучковая эпитаксия и т.д.), но при этом будут поликристаллическими.

Для монокристаллов подготовка образцов включает закрепление монокристалла на прозрачной подложке (используется стекло) при помощи оптически прозрачного клея, шлифовка до толщины 20 мкм, полировка. Для тонких плёнок используются методы контроля поверхности, важным является отсутствие проколов в поверхности.

Рассчитанные значения ширины, запрещённой для образцов с близкими по составу в объёмном и пленочном состояниях могут отличаться.

В качестве сравнительных данных использовались публикации [2-5], где представлены результаты расчета ширины запрещённой зоны, E_g , монокристаллов, поликристаллических и аморфных тонких плёнок кубической структуры. На рисунке 2 показаны оценки значения E_g для монокристаллов, выращенных методом Бриджмена (рис. 2а) [2]; тонких плёнок, полученных методом импульсного лазерного испарения (ИЛО) монокристаллов (рис. 2б) [3]; поликристаллических тонких плёнок с толщинами 50, 470 и 1200 нм, полученных вакуумным напылением с последующим отжигом (рис. 2в) [4]; аморфных плёнок, полученных с помощью термического осаждения в вакууме на стеклянные подложки при температуре $T_s = 220 - 240$ °С, толщиной 800 нм и 300 нм [5].

Для плёнок, полученных методом ИЛО переменными были температуры подложки: $T_s = 480$ К, $T_s = 610$ К, $T_s = 720$ К (рис. 2б линии 1,2,3 соответственно). Для поликристаллических тонких плёнок, полученных вакуумным напылением с последующим отжигом, переменными были время и температура отжига и толщина плёнок. Аморфные тонкие плёнки с толщиной 300 нм и 800 нм обладали размерами зёрен $\sim 20-50$ и >300 нм соответственно. Данные по расчету ширины запрещённой монокристаллов можно считать эталонными.

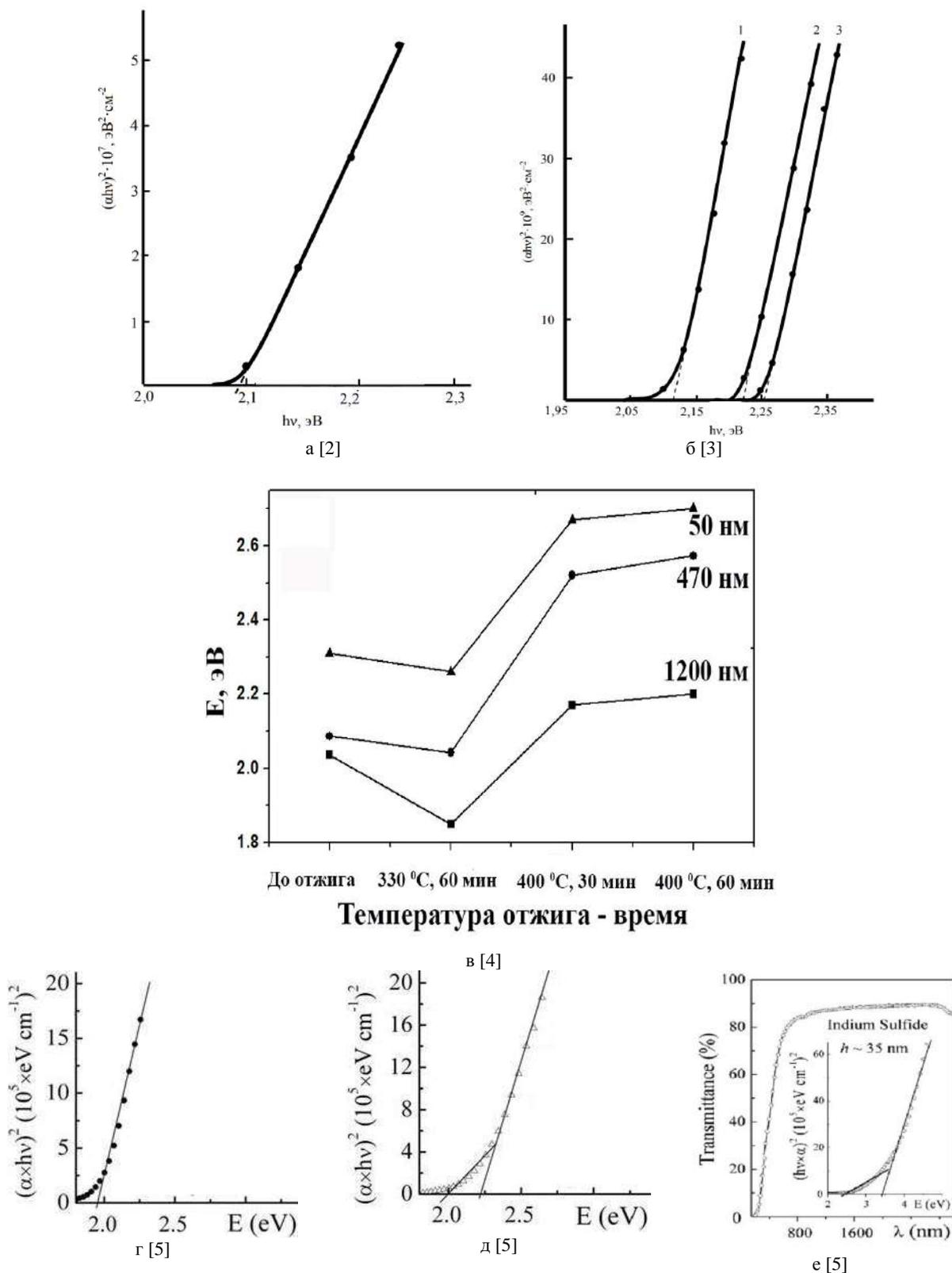


Рисунок 2 – Ширина запрещённой зоны полупроводниковых материалов In_2S_3

Ширина запрещённой зоны монокристаллов составила 2,04 эВ; плёнок, полученных ИЛО составила 2,11, 2,22, 2,26 эВ с ростом температуры подложки; плёнок, полученных вакуумным напылением с последующим отжигом, составила от 1,85 до 2,7 эВ; для аморфных плёнок от 1,96 эВ до 3,4 эВ.

Заключение. На примере соединения In_2S_3 кубической структуры выполнен анализ влияния состояния на оптические параметры образцов. Установлено, что для всех образцов,

как поликристаллических, так и аморфных с увеличением средних размеров зёрен наблюдалась тенденция к уменьшению значений ширины запрещённой зоны и её приближение к эталонным значениям, полученным для монокристаллов. Анализ крутизны возрастания $(\alpha \cdot h\omega)^2$ для различных образцов также позволяет говорить о том, что для крупнозернистых образцов рост $(\alpha \cdot h\omega)^2$ гораздо более выраженный и погрешность оценки E_g в таком случае будет меньше.

Список литературы

1. Уиллардсон, Р. Оптические свойства полупроводников / Р. Уиллардсон, А. Бир. – М.: Мир, 1970. – 488 с.
2. Полубок, В.А. Исследование температурных зависимостей ширины запрещенной зоны монокристаллов In_2S_3 двух структурных модификаций / В.А. Полубок // Доклады БГУИР. – 2008. – Т.6, №8. – С. 58 – 63.
3. Боднар, И.В. Влияние отжига на структуру и оптические свойства пленок In_2S_3 / И.В. Боднар, И.А. Викторов, В.Ф. Гременок, В.А. Полубок // Аморфные и микрокристаллические полупроводники: сб. материалов V Междунар. конф., Санкт-Петербург, Россия, 2006. – С. 374 – 375.
4. Izadneshan, H. Influence of annealing on the optical parameters of In_2S_3 thin films produced by thermal evaporation / H. Izadneshan, V. F. Grebenok // Журнал прикладной спектроскопии. – 2014. – Т. 81, № 2. – С. 297–300.
5. Нанокристаллические слои индия сульфида для солнечных элементов / О.А Гончарова, В.Ф Гременок, С. Жукотинский, К. Бенге // Материалы 22-ой Европейской Конференции по Фотовольтаике и Солнечной Энергии, 2-7 сентября 2007, Милан, Италия, С. 2300-2303.

UDC 621.315.592

PECULIARITIES OF THE TRANSMISSION SPECTRA AND GAG BANDS OF DIRECT GAP SEMICONDUCTOR MATERIALS IN THE BULK AND FILM STATES

Osmolovskaya T.N.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Stanchik A.V. – PhD, associate professor of the department of ICSD

Annotation. The influence of the structure of samples of semiconductor materials, on the example of In_2S_3 , on the value of the band gap E_g , has been experimentally studied. It is shown, that for all samples, both polycrystalline and amorphous, with an increase in the average size of microrelief grains, there was a tendency to a decrease in the values of the band gap and its approach to the reference values obtained for single crystals. An analysis of the steepness of the increase $(\alpha \cdot h\omega)^2$ for various samples also allows us to say that for coarse-grained samples, the growth $(\alpha \cdot h\omega)^2$ is much more pronounced and the error in estimating E_g in this case will be smaller.

Keywords: band gap, optical properties, semiconductor materials