

# ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРИСТАЛЛОВ И ПЛЕНОК $In_2S_3$

СЕРЕДА А.С., ГОРБАЧ А.П.

## БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Исследованы спектры поглощения кристаллов и пленок  $In_2S_3$  в спектральной области, для определения ширины запрещенной зоны и характера оптических переходов. На основе исследования сделан вывод об основных оптических характеристиках и электрофизических параметрах полупроводника  $In_2S_3$ .

Оптические свойства  $In_2S_3$  обусловлены его кристаллической структурой. В результате наличия большого количества стехиометрических вакансий нарушается периодичность решетки и сильно искажается потенциальное поле кристалла, что сказывается на их свойствах. Изучение оптических свойств сложных полупроводниковых соединений позволяет установить энергетический спектр электронов, зонную структуру, определить эффективные массы носителей и т.д. Основные оптические константы полупроводниковых материалов определяют из измерений спектров поглощения и отражения. Исследование спектров поглощения в спектральной области, непосредственно примыкающей к краю фундаментальной полосы поглощения, дает возможность определить значение ширины запрещенной зоны и судить о характере оптических переходов, формирующих край поглощения. Применение методов модуляционной спектроскопии позволяет получать информацию не только о величине ширины запрещенной зоны ( $E_g$ ) и характере оптических переходов, но и изучать структуру валентной зоны полупроводникового материала.

Экспериментальные значения ширины запрещенной зоны соединений  $In_2S_3$  колеблются от 2,2 до 2,639 эВ для прямых переходов и от 1,4 до 2,24 эВ – для непрямых. Кристаллы  $In_2S_3$  прозрачны в области длин волн с энергией больше 1,4 эВ. Значение ширины запрещенной зоны, полученное экстраполяцией зависимости  $(\alpha \cdot hv)^2$  к оси  $hv$ , составляет 2,54 эВ для прямых переходов и 1,4 эВ для непрямых. В таблице 1 приведены основные оптические характеристики по работам различных авторов.

Соединения типа  $In_2S_3$  характеризуются низкими значениями подвижности носителей тока и электропроводности, малой теплопроводностью. Это связано с дополнительным рассеянием носителей тока и фононов на нейтральных стехиометрических дефектах (катионные вакансии).

В связи с наличием такого множества дефектов, механизм отклонения от стехиометрии имеет свою особенность. Отклонение в системе со стехиометрическими вакансиями связано с внедрением в них в

неионизированном состоянии сверхстехиометрических атомов, при этом энергия системы несколько уменьшается.

Таблица 1 – Основные оптические характеристики соединения  $\text{In}_2\text{S}_3$

Степень пропускания T, %	Коэффициент отражения R, %	Ширина запрещённой зоны для прямых переходов $E_g$ , эВ	Ширина запрещённой зоны для непрямых переходов $E_g$ , эВ
80	20	2,43-2,65	1,85-2,20
75-85	-	2,7-2,8	-
-	12	2,1-3,0	-
40-60	15-30	-	-
40	-	2,1	-
60-90	-	-	1,8
60-85	45	-	2,20-2,67
75-80	-	2,02-2,19	-

В соединении  $\text{In}_2\text{S}_3$  в зависимости от давления паров серы, т.е. от степени отклонения от стехиометрии, концентрация носителей тока меняется на несколько порядков. Электроактивность примесей серы и элементов V группы в  $\text{In}_2\text{S}_3$  установлена в работе. В  $\alpha\text{-In}_2\text{S}_3$  обнаруживается металлический характер проводимости при оптической ширине запрещенной зоны  $\Delta E_g > 1$  эВ. Это противоречие можно связать с влиянием неконтролируемых примесей. При переходе к  $\beta\text{-In}_2\text{S}_3$  примеси дезактивируются. Но и в этом случае соединения  $\text{In}_2\text{S}_3$  ведут себя аномально. К примеру, при легировании сверхстехиометрической серой наблюдается экспоненциальное увеличение подвижности носителей тока с температурой. Основные электрофизические параметры для полупроводника, полученного данным способом, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Электрофизические параметры соединения  $\text{In}_2\text{S}_3$

Тип проводимости	Термическая ширина запрещённой зоны $E_g$ , эВ	Температурный коэффициент $dE/dT$ . $10^{-4}$ , эВ/К	Коэффициент термо ЭДС	ТКЛР $\cdot 10^{-6}$ , $\text{K}^{-1}$	Микро-твердость, ГПа
n	$\alpha$ -1,1	-7 77-360	150-200	6,8// слоям 350-500	2,8

Соединение  $\text{In}_2\text{S}_3$  кристаллизуется в структуру типа шпинели. Оптические свойства  $\beta\text{-In}_2\text{S}_3$  тонких пленок, полученных с использованием техники CSP. Образец показал сильное квантование экситонного перехода, который характерен для  $\text{In}_2\text{S}_3$  дендритов.

Спектры отражения кристаллов  $\text{In}_2\text{S}_3$  изучали при низких частотах. Пики для отожженных образцов были острее и хорошо разрешены. Было обнаружено 12 отражательных полос для поляризованного света, имеющих электронную природу происхождения.

#### **Список использованных источников**

[1] Гременок В.Ф., М.С. Тиванов, В.Б. Залесский. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов. – Минск: Изд. Центр БГУ, 2007. – 222 с.

[2] Кардона, М. Модуляционная спектроскопия. – М.: Мир, 1972. – 416 с.

[3] Пленки халькопиритных полупроводников I-III-VI<sub>2</sub>: получение, исследование и применение / В.Ф. Гременок [и др.] // Актуальные проблемы физики твердого тела: сб. науч. ст. / Бел. наука; под науч. ред. Н.М. Олехновича. – Минск, 2003. - С. 298-305.

[4] On the conduction mechanism in single crystal  $\beta$  – indium sulfide  $\text{In}_2\text{S}_3$  / W. Rehwald // J. Phys. Chem. Sol. – 1965. – Vol. 26. – P. 1309-1324.