

# Оптические свойства дефектного селенида индия

© В. Вал. Соболев<sup>†</sup>, В.В. Соболев

Удмуртский государственный университет,  
426034 Ижевск, Россия

(Получена 23 декабря 2002 г. Принята к печати 27 декабря 2002 г.)

Получены спектры полных комплексов оптических функций  $\alpha$ - и  $\beta$ - $\text{In}_2\text{Se}_3$  в области 0–20 эВ. Расчеты выполнены на основе экспериментальных спектров отражения при помощи метода Крамерса–Кронига. Дан анализ особенностей спектров оптических функций обеих фаз. На основе метода объединенных диаграмм Арганда спектры диэлектрической проницаемости и характеристических потерь электронов разложены на элементарные поперечные и продольные компоненты. Определены их основные параметры переходов. Структура компонент сопоставлена со структурой ожидаемого спектра межзонных переходов.

## 1. Введение

В соединениях группы  $\text{A}_2^{\text{III}}\text{B}_3^{\text{VI}}$  треть катионных узлов вакантна. Это существенно отличает их по природе и величине межатомных сил связей от других бинарных полупроводников. Для многих из них известно несколько модификаций с упорядочением вакансий или без него [1]. Элементарная ячейка некоторых из них содержит большое количество атомов: например, для гексагональных фаз  $\text{In}_2\text{Se}_3$  — 32 ( $\alpha$ ) и 6 ( $\beta$ ).

Собственная дефектность, возможные большие отклонения от стехиометрии, содержание значительных концентраций посторонних примесей и всевозможных нарушений идеальности структуры решетки, политипия — все это существенно усложняет энергетические уровни и оптические спектры фаз группы  $\text{A}_2^{\text{III}}\text{B}_3^{\text{VI}}$ . Поэтому для них особенно важны исследования оптических спектров в широкой области энергии собственного поглощения.

Наиболее полную информацию об особенностях электронной структуры содержит обширный комплекс из большого количества фундаментальных оптических функций [2]: коэффициенты отражения ( $R$ ) и поглощения ( $\mu$ ); показатели преломления ( $n$ ) и поглощения ( $k$ ); действительная ( $\epsilon_1$ ) и мнимая ( $\epsilon_2$ ) части диэлектрической проницаемости; реальные и мнимые части объемных ( $-\text{Im } \epsilon^{-1}$ ,  $\text{Re } \epsilon^{-1}$ ) и поверхностных ( $-\text{Im } (1 + \epsilon)^{-1}$ ,  $\text{Re } (1 + \epsilon)^{-1}$ ) потерь электронов и др.

Цель настоящего сообщения состоит в получении спектров полных комплексов фундаментальных оптических функций кристаллов  $\alpha$ - и  $\beta$ - $\text{In}_2\text{Se}_3$ , определении полных наборов переходов и их параметров, а также теоретическом анализе полученных данных.

## 2. Методики расчетов

Наиболее распространенный метод получения комплексов оптических функций состоит в расчетах по специальным программам на основе известного экспериментального спектра отражения в широкой области энергии с помощью интегральных соотношений Крамерса–Кронига и простых аналитических формул.

Задача определения параметров тонкой структуры спектров поперечных оптических переходов (энергии  $E_i$  максимума и полуширины  $H_i$ , высоты  $I_i$  и площади  $S_i$  полос, силы осцилляторов  $f_i$ ) обычно решается одним из двух методов: 1) методом воспроизведения интегральной кривой спектра  $\epsilon_2(E)$  набором лоренцовских осцилляторов с большим количеством подгоночных параметров  $3N$ , доходящим до 30 при  $N = 10$ , 2) методом объединенных диаграмм Арганда также в классической модели лоренцовских осцилляторов, но без подгоночных параметров, благодаря одновременному анализу спектров  $\epsilon_2(E)$  и  $\epsilon_1(E)$ . Аналогично рассчитываются параметры продольных компонент переходов по спектрам  $-\text{Im } \epsilon^{-1}$  и  $\text{Re } \epsilon^{-1}$ .

Использованные в работе методы расчетов полного комплекса оптических функций и разложения интегральных спектров  $\epsilon_2$  и  $-\text{Im } \epsilon^{-1}$  на элементарные поперечные и продольные компоненты подробно изложены в [2,3] и обсуждены в [4–7].

## 3. Результаты расчетов и их обсуждение

Длинноволновое краевое поглощение монокристаллов  $\text{In}_2\text{Se}_3$  измерено в области 1–1.3 эВ [8], 1.2–1.4 эВ [9]. При 300 К значения  $E_{gd}$  равны 1.22 ( $\alpha$ ) и 1.17 эВ ( $\beta$ ) [8], 1.31 ( $\alpha$ ) и 1.35 эВ ( $\beta$ ) [9];  $\Delta E = E_{gd}(\alpha) - E_{gd}(\beta) \approx 0.05$  эВ.

Спектры отражения сколов при 300 К изучены в области 1–12.5 эВ [10–14] и 1–5.7 эВ [8]. Данные обеих серий работ в области 1–5.7 эВ в основном согласуются.

Нами на основе экспериментальных спектров  $R(E)$   $\alpha$ - и  $\beta$ - $\text{In}_2\text{Se}_3$  работ [10–14] рассчитаны полные комплексы фундаментальных оптических функций в области 0–20 эВ; в области 12.5–20 эВ применена наиболее принятая экстраполяция  $R(E) = R(12.5 \text{ эВ}) \cdot (\frac{12.5}{E})^p$ , с подгоночным параметром  $p$  около 4. На рис. 1, 2 приведены спектры семи оптических функций.

Экспериментальный спектр отражения  $\alpha$ - $\text{In}_2\text{Se}_3$  содержит пять максимумов и две ступеньки (рис. 1, табл. 1). В расчетных спектрах  $n$  и  $\epsilon_1$  положения первых двух структур № 1 и 2 совпадают со структу-

<sup>†</sup> E-mail: sobolev@uni.udm.ru

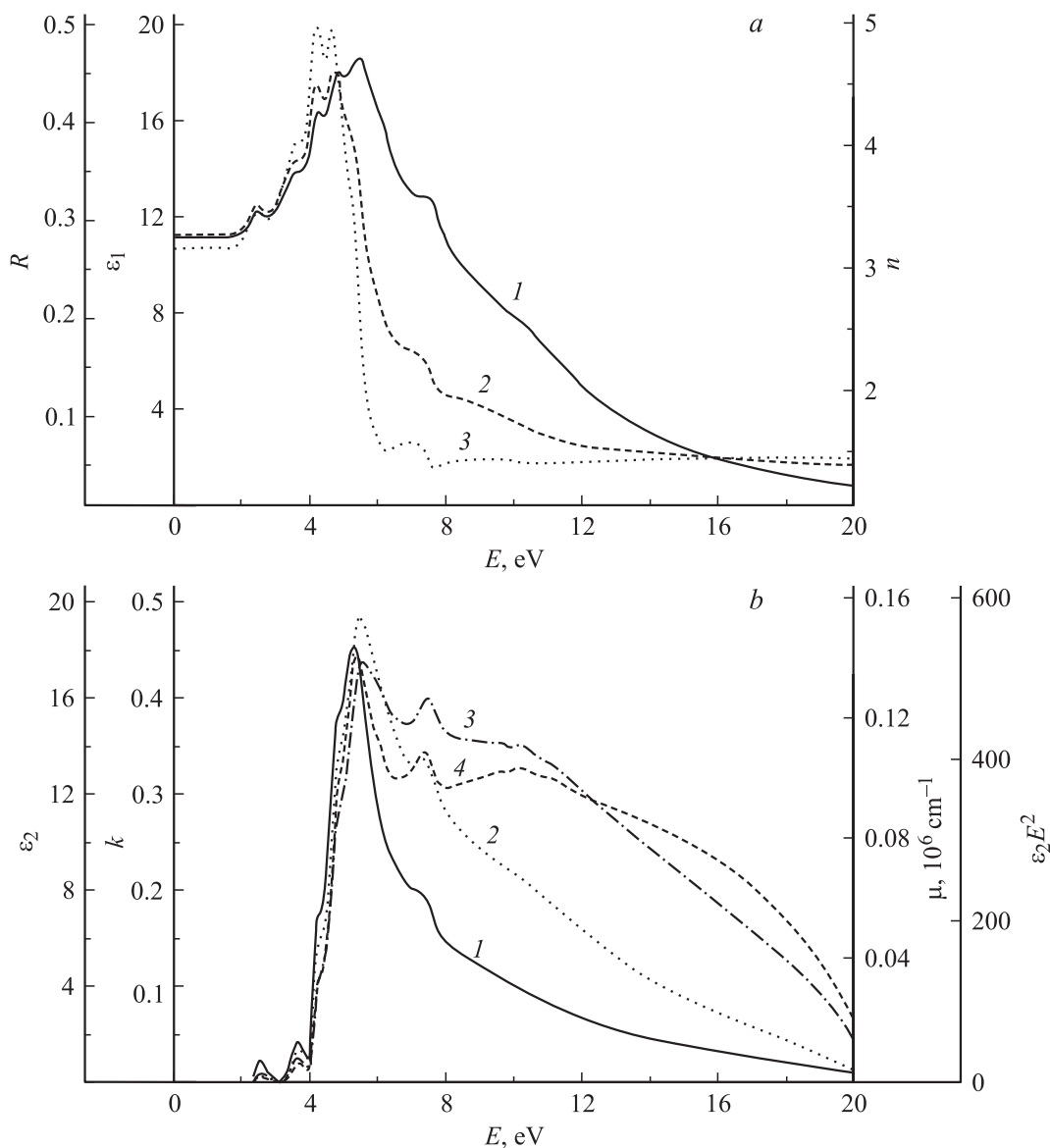


Рис. 1. Экспериментальный спектр  $R$  (1) и расчетные спектры  $n$  (2),  $\epsilon_1$  (3) (a);  $\epsilon_2$  (1),  $k$  (2),  $\mu$  (3),  $E^2\epsilon_2$  (4) (b) кристалла  $\alpha\text{-In}_2\text{Se}_3$ .

рами  $R$ , а последующие структуры смещены в область меньших энергий на  $\sim 0.1$  (№ 3, 7),  $0.1\text{--}0.2$  (№ 4),  $0.3\text{--}0.4$  эВ (№ 5, 6). При этом интенсивность  $n$  и  $\epsilon_1$  в области  $E > 4.6$  эВ сильно падает. Все структуры  $R(E)$  наблюдаются в спектрах  $k$ ,  $\mu$ ,  $\epsilon_2$ ,  $E^2\epsilon_2$ ,  $-\text{Im}(1 + \epsilon)^{-1}$ , за исключением № 4 для  $\mu$ . По энергии все структуры  $k$ ,  $\mu$ ,  $\epsilon_2$  совпадают и смещены в область больших энергий относительно  $R(E)$  на  $\Delta E \leq 0.1$  эВ. Смещение структур спектра потерь относительно  $\epsilon_2(E)$  очень мало (№ 1–5, 7) или  $\sim 0.6$  (№ 6),  $1.5$  эВ (№ 5).

В области прозрачности  $R \approx 0.28$ ,  $n \approx 3.27$  и  $\epsilon_1 \approx 10.7$ , а при  $20$  эВ  $\sim 0.03$ ,  $1.4$  и  $1.99$ ; их наибольшие значения получены в максимумах № 5 ( $R \approx 0.47$ ), № 3, 4 ( $n \approx 4.7$ ,  $\epsilon_1 \approx 20$ ). Максимальные величины  $k$ ,  $\mu$ ,  $\epsilon_2$  наблюдаются в максимуме № 5:  $k \approx 2.4$ ,  $\mu \approx 1.4 \cdot 10^6 \text{ см}^{-1}$  и  $\epsilon_2 \approx 17$ .

Максимумы очень широких и интенсивных полос объемных и поверхностных плазмонов находятся при  $\sim 12.6$  и  $11.5$  эВ.

Экспериментальный спектр  $R(E)$  и рассчитанные с его помощью остальные оптические функции кристалла  $\beta\text{-In}_2\text{Se}_3$  аналогичны спектрам оптических функций  $\alpha\text{-In}_2\text{Se}_3$  (рис. 2, табл. 1). Структуры  $R(E)$   $\beta\text{-In}_2\text{Se}_3$  смещены относительно  $R(E)$   $\alpha\text{-In}_2\text{Se}_3$  в область меньших энергий на  $\sim 0.3\text{--}0.4$  эВ только для трех основных компонент № 2, 3, 7. В спектрах  $k$ ,  $\mu$ ,  $\epsilon_2$ ,  $-\text{Im}(1 + \epsilon)^{-1}$   $\beta\text{-In}_2\text{Se}_3$  наблюдается дополнительный очень слабый максимум при  $\sim 1.22$  эВ, т. е. на  $\sim 0.05$  эВ больше  $E_{gd}$ .

Большое сходство между спектрами оптических функций обеих фаз  $\text{In}_2\text{Se}_3$  объясняется слабыми различиями в детальной структуре их гексагональных решеток. Оп-

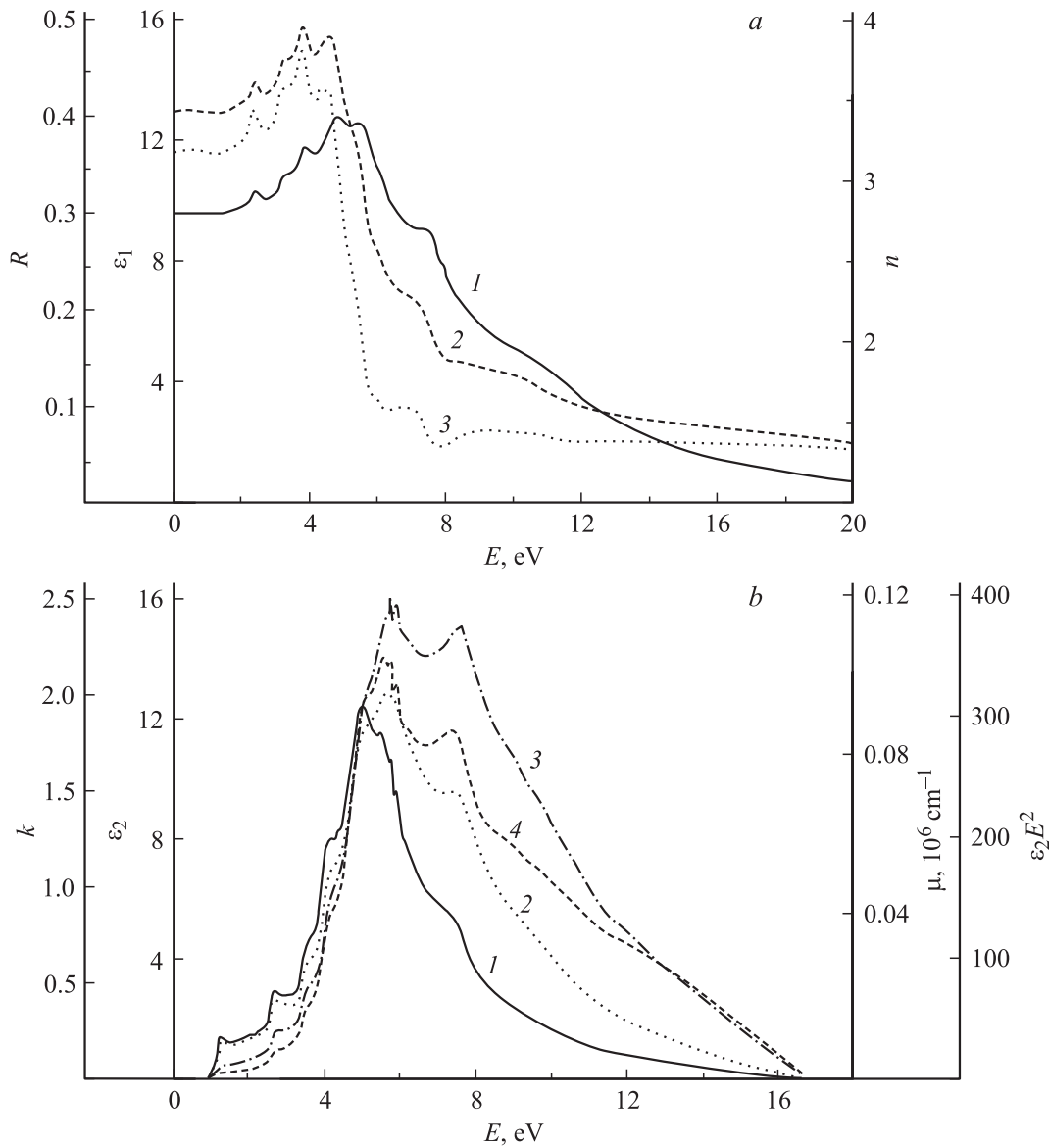


Рис. 2. Экспериментальный спектр  $R$  (1) и расчетные спектры  $n$  (2),  $\epsilon_1$  (3) (а);  $\epsilon_2$  (1),  $k$  (2),  $\mu$  (3),  $E^2\epsilon_2$  (4) (б) кристалла  $\beta\text{-In}_2\text{Se}_3$ .

Таблица 1. Энергии (эВ) максимумов и ступенек (в скобках) спектров оптических функций, а также энергии (эВ) и локализация переходов в точках зоны Бриллюэна ( $\Gamma$ , М, L, А, К, Н) по [15,16] кристаллов  $\alpha$ - и  $\beta\text{-In}_2\text{Se}_3$

$N$	1		2		3		4		5		6		7	
	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
$R$	2.53	2.55	(3.7)	3.35	4.32	3.90	4.90	4.90	5.55	5.50	7.4	(7.35)	(10.3)	(9.6)
$n$	2.51	2.50	(3.7)	3.40	4.20	3.90	4.77	4.65	(5.2)	(6.0)	(7.15)	(7.2)	(10.3)	(9.5)
$\epsilon_1$	2.51	2.50	(3.7)	3.35	4.25	3.85	4.72	4.55	(5.2)	(5.3)	7.0	6.9	(10.2)	(9.6)
$k$	2.65	2.67	3.80	(3.5)	(4.40)	(4.10)	(4.9)	5.2	5.6	5.8	7.48	7.45	(10.2)	—
$\mu$	2.65	2.67	3.80	(3.5)	(4.40)	(4.10)	—	5.1	5.7	5.8	7.6	7.55	(10.2)	(10.0)
$\epsilon_2$	2.65	2.67	3.80	(3.5)	(4.40)	(4.10)	(4.9)	4.95	5.45	5.4	7.4	(7.3)	(10.2)	—
$-\text{Im}\epsilon^{-1}$	2.67	2.5	3.80	3.53	4.35	4.15	(5.0)	(5.3)	(6.9)	(6.4)	(8.0)	—	(10.2)	—
[15]	$\Gamma$ , М, А		М, L		Н		$\Gamma$ , К		$\Gamma$ , М, К, Н		К, L		К, $\Gamma$	
	3.0		3.8		4.3		4.9		5.6		7.5		10.2	
[16]	$\Gamma$ , М		$\Gamma$ , К, М		$\Gamma$ , К		$\Gamma$ , К		$\Gamma$ , К		$\Gamma$ , К		$\Gamma$ , К	
	2.7		3.8		4.4		4.9		5.8		7.4		10.0	

**Таблица 2.** Энергии максимумов полос  $E_i$  и полуширины  $H_i$  (эВ), высоты  $I_i$  и площади полос  $S_i$  разложения  $\varepsilon_2$  и  $-\text{Im} \varepsilon^{-1}$ , энергии (эВ) и локализация полос в точках зоны Бриллюэна ( $\Gamma$ , М, К) кристалла  $\alpha\text{-In}_2\text{Se}_3$  по теории [15] и [16]

№	$E_i$		$H_i$		$I_i$		$S_i$		[15]	[16]
	$\varepsilon_2$	$-\text{Im}(1/\varepsilon)$	$\varepsilon_2$	$-\text{Im}(1/\varepsilon)$	$\varepsilon_2$	$-\text{Im}(1/\varepsilon)$	$\varepsilon_2$	$-\text{Im}(1/\varepsilon)$		
1	1.46	1.5	0.54	0.98	1.90	0.01	1.44	0.01	–	$\Gamma$ , 1.6
2	2.66	2.74	0.89	0.35	3.46	0.01	4.37	0.01	$\Gamma$ , 2.4, 2.8	М, 2.7
2'	3.17	–	0.42	–	1.47	–	0.92	–	$\Gamma$ , 3.0, 3.2	$\Gamma$ , 3.1
3	3.54	3.58	0.35	0.28	4.08	0.01	2.15	0.01	$\Gamma$ , 3.4	$\Gamma$ , М, К, 3.6
3'	3.8	–	0.40	–	1.85	–	1.12	–	$\Gamma$ , М, L, 3.9	$\Gamma$ , К, 4.0
4	4.28	4.44	0.54	0.47	7.06	0.02	5.77	0.01	М, 4.4	$\Gamma$ , К, М, 4.5
5	4.84	5.04	0.87	0.61	13.51	0.02	17.38	0.02	$\Gamma$ , М, К, 4.8	$\Gamma$ , К, М, 4.7
6	5.42	5.6	0.60	0.36	7.07	0.02	6.39	0.01	К, 5.3; $\Gamma$ , 5.6	$\Gamma$ , К, 5.4
7	6.2	6.4	0.83	1.24	6.57	0.08	8.19	0.15	$\Gamma$ , 6.2	$\Gamma$ , К, М, 6.1
8	7.18	7.04	0.75	0.35	4.75	0.02	5.43	0.01	М, L, 7.5	$\Gamma$ , К, М, 7.2
9	7.7	8.06	0.41	1.66	1.35	0.15	0.85	0.36	М, L, 7.6	$\Gamma$ , К, 7.7
10	8.26	8.66	0.74	0.47	3.12	0.04	3.53	0.03	$\Gamma$ , L, 8.0	М, 8.0
11	–	9.2	–	0.50	–	0.06	–	0.04	$\Gamma$ , М, К, 8.5	$\Gamma$ , 9.2
11'	9.32	9.44	0.91	0.96	2.52	0.01	3.49	0.02	М, L, 9.2	М, 9.6
12	–	9.66	–	0.66	–	0.03	–	0.02	М, 9.7	М, 9.6
12'	–	9.9	–	0.20	–	0.01	–	0.01	К, 10.0	$\Gamma$ , К, 10.0
13	10.4	10.44	0.72	1.42	1.76	0.13	1.96	0.29	К, L, 10.4	$\Gamma$ , К, 10.4
14	11.44	11.36	0.65	0.75	1.44	0.05	1.45	0.05	К, М, 11.4	$\Gamma$ , К, М, 11.7
14'	–	12.56	–	3.15	–	0.24	–	1.09	$\Gamma$ , М, 12.6	–
15	–	14.06	–	1.04	–	0.06	–	0.09	$\Gamma$ , К, 13.7	$\Gamma$ , 14.0
16	–	15.6	–	2.92	–	0.17	–	0.74	$\Gamma$ , М, К, 15.5	$\Gamma$ , 15.6
17	–	16.84	–	0.65	–	0.04	–	0.04	М, 16.8	$\Gamma$ , 17.1
18	–	17.68	–	1.56	–	0.11	–	0.26	$\Gamma$ , 17.5	–

**Таблица 3.** Энергии максимумов полос  $E_i$  и полуширины  $H_i$  (эВ), высоты  $I_i$  и площади полос  $S_i$  разложения  $\varepsilon_2$  и  $-\text{Im} \varepsilon^{-1}$ , энергии (эВ) и локализация полос в точках зоны Бриллюэна ( $\Gamma$ , М, L, К) кристалла  $\beta\text{-In}_2\text{Se}_3$  по теории [15] и [16]

№	$E_i$		$H_i$		$I_i$		$S_i$		[15]	[16]
	$\varepsilon_2$	$-\text{Im}(1/\varepsilon)$	$\varepsilon_2$	$-\text{Im}(1/\varepsilon)$	$\varepsilon_2$	$-\text{Im}(1/\varepsilon)$	$\varepsilon_2$	$-\text{Im}(1/\varepsilon)$		
1	2.66	2.74	0.82	0.43	2.23	0.02	2.63	0.01	$\Gamma$ , 2.4, 2.8	М, 2.7; $\Gamma$ , 3.0
2	3.5	3.59	0.23	0.72	0.93	0.02	0.33	0.02	$\Gamma$ , 3.4	$\Gamma$ , М, К, 3.5
3	4.0	4.00	0.99	0.41	4.53	0.02	6.52	0.01	$\Gamma$ , М, L, 3.8	$\Gamma$ , К, 4.0
4	4.98	5.06	0.90	0.68	7.08	0.05	9.44	0.05	$\Gamma$ , М, К, 4.8	$\Gamma$ , К, М, 4.7
5	5.76	5.90	1.43	0.81	8.47	0.06	17.62	0.07	М, К, 5.8	$\Gamma$ , К, М, 5.8
6	6.6	6.92	0.76	1.27	3.05	0.12	3.54	0.23	L, 6.6; $\Gamma$ , К, 6.9	М, 6.4
7'	7.52	–	0.89	–	5.37	–	7.20	–	$\Gamma$ , М, L, 7.5	$\Gamma$ , К, 7.6
7	8.05	8.02	0.35	0.79	1.24	0.08	0.66	0.10	$\Gamma$ , L, 8.0	М, 8.0
8	8.64	8.88	0.88	1.35	3.90	0.17	5.20	0.34	$\Gamma$ , М, К, 8.5	$\Gamma$ , К, 8.6
9	9.74	9.67	0.87	0.43	3.18	0.04	4.23	0.02	М, К, 9.8	М, 9.6
10	10.76	10.48	0.65	1.47	2.80	0.13	2.82	0.29	$\Gamma$ , К, 10.7	$\Gamma$ , К, 10.4
11	11.5	11.22	0.59	0.46	2.35	0.03	2.14	0.02	$\Gamma$ , К, 11.6	$\Gamma$ , К, М, 11.7
11'	12.36	12.24	0.58	2.31	2.10	0.22	1.89	0.75	$\Gamma$ , М, 12.6	$\Gamma$ , 12.5
12	–	13.78	–	1.47	–	0.09	–	0.21	$\Gamma$ , К, 13.7	$\Gamma$ , 14.0
13	–	15.50	–	2.37	–	0.16	–	0.58	$\Gamma$ , М, К, 15.5	$\Gamma$ , 15.6
14	–	17.26	–	1.35	–	0.07	–	0.15	$\Gamma$ , 17.5	$\Gamma$ , 17.1

тическая ось  $C$  монокристаллов  $\text{In}_2\text{Se}_3$  перпендикулярна плоскости сколов. Поэтому все спектры оптических функций  $\alpha$ - и  $\beta$ -фаз получены для поляризации  $\mathbf{E} \perp \mathbf{c}$ .

Экспериментальная кривая отражения и рассчитанные по ней спектральные кривые других оптических функций

обусловлены результатом суммирования всех отдельных многочисленных переходов из занятых состояний в свободные по всему объему зоны Бриллюэна.

На основе полученных нами спектров  $\varepsilon_2(E)$  и  $\varepsilon_1(E)$  обеих фаз  $\text{In}_2\text{Se}_3$  было выполнено разложение  $\varepsilon_2(E)$  на

элементарные компоненты и определены параметры  $E_i$ ,  $H_i$ ,  $I_i$  и  $S_i$ . Всего установлено 15 ( $\alpha$ ) и 13 ( $\beta$ ) поперечных компонент полос переходов в области 1–13 эВ (табл. 2, 3). Все компоненты сравнительно широкие: их полуширины находятся в интервале 0.4–0.9 ( $\alpha$ ) и 0.4–1.4 эВ ( $\beta$ ). Самой интенсивной является компонента № 5. Компоненты № 7, 4, 8 ( $\alpha$ ) и № 4, 7', 3, 8 ( $\beta$ ) слабее  $\sim$  в 2–3 раза. Самыми слабыми оказались полосы № 9, 2', 3' ( $\alpha$ ) и № 2, 7 ( $\beta$ ).

Аналогично с помощью одновременного анализа спектров пар функций  $-\text{Im} \varepsilon^{-1}$  и  $\text{Re} \varepsilon^{-1}$  методом объединенных диаграмм Арганда были разложены спектры  $-\text{Im} \varepsilon^{-1}$  обеих фаз  $\text{In}_2\text{Se}_3$  на продольные компоненты и определены их параметры  $E_i$ ,  $H_i$ ,  $I_i$  и  $S_i$  (табл. 2, 3). Всего установлено 21 ( $\alpha$ ) и 15 ( $\beta$ ) компонент. В разложении потерь не обнаружены только две (№ 2', 3',  $\alpha$ ) и одна (№ 7',  $\beta$ ) полосы — аналоги поперечных компонент. Среди них выделяются по самым большим значениям площади, полуширины и высоты компоненты № 14' ( $\alpha$ ) и № 11' ( $\beta$ ), обусловленные объемными плазмонами. Энергии максимумов плазмонов обеих фаз  $\text{In}_2\text{Se}_3$  различаются всего лишь на  $\sim 0.3$  эВ, т. е. на  $\sim 0.1$  полуширины их полос. Все остальные компоненты спектра потерь электронов связаны с прямыми межзонными переходами.

В согласии с общей теорией все продольные компоненты смещены в область больших энергий (или совпадают) относительно поперечных их аналогов на энергию продольно-поперечного расщепления  $\Delta E_{it}$  компонент полос межзонных переходов:  $\Delta E_{it} \approx 0.04$  (№ 1, 3, 13), 0.08–0.17 (№ 2, 11', 4–7) и 0.4 эВ (№ 9, 10) для  $\alpha\text{-In}_2\text{Se}_3$ . При этом только две компоненты имеют отрицательные значения  $\Delta E_{it}$ :  $-0.08$  (№ 14),  $-0.14$  эВ (№ 8); они составляют  $\sim 0.1$  (№ 14) и 0.2 (№ 8) значений их полуширин. Аналогичные особенности  $\Delta E_{it}$  наблюдаются для второй фазы  $\text{In}_2\text{Se}_3$ . Максимум поперечной компоненты № 11' ( $\beta$ ) случайно по энергии оказался вблизи максимума интенсивной и очень широкой полосы плазмонов. Поэтому его продольный аналог не установлен.

Площади  $S_i$  многих продольных компонент полос переходов в сотни раз меньше  $S_i$  их поперечных аналогов. Это свидетельствует о том, что вероятности возбуждения многих продольных компонент в сотни раз меньше, чем вероятности переходов их поперечных аналогов.

Зоны  $\text{In}_2\text{Se}_3$  теоретически рассчитаны методом LCAO по направлениям ГМКГ и АЛНА [15] и методом псевдопотенциала в приближении локальной плотности [16] по направлениям КГМ и ГА. На основе анализа данных этих работ нами были определены энергии возможных наиболее интенсивных прямых межзонных переходов в точках Г, М, К. Они приведены в правых столбцах табл. 2 и 3, а также в нижних строках табл. 1. Эти данные носят оценочный характер. Для детального теоретического анализа природы максимумов спектров оптических функций и компонент сложной тонкой структуры поперечных и продольных полос переходов необхо-

димо теоретические расчеты спектров диэлектрической проницаемости.

В настоящем сообщении впервые получены спектры полных комплексов оптических фундаментальных функций кристаллов  $\alpha$ - и  $\beta\text{-In}_2\text{Se}_3$  в области 0–20 эВ; спектры диэлектрических проницаемостей и характеристических потерь электронов разложены на поперечные и продольные компоненты, определены их параметры и предложена схема их конкретной природы в модели прямых межзонных переходов. Эти результаты позволяют существенно глубже и детальнее анализировать оптические свойства и электронную структуру двух фаз дефектного соединения селенида индия в широкой области энергии, создают принципиально новую основу для дальнейших более точных теоретических расчетов зон.

Работа выполнена при финансовой поддержке Конкурсного центра фундаментального естествознания (Санкт-Петербургский государственный университет).

## Список литературы

- [1] Н.Х. Абрикосов, В.Ф. Банкаина, Л.В. Порецкая, Е.В. Скуднова, С.Н. Чижевская. *Полупроводниковые халькогениды и сплавы на их основе* (М., Наука, 1975).
- [2] В.В. Соболев, В.В. Немешкаленко. *Методы вычислительной физики в теории твердого тела. Электронная структура полупроводников* (Киев, Наук. думка, 1988).
- [3] В.В. Соболев. *Журн. прикл. спектроскопии*, **63**, 143 (1996).
- [4] В.Вал. Соболев, О.А. Макаров, В.В. Соболев. *Тр. III Межд. конф. Аморфные и микрокристаллические полупроводники* (СПб., Изд-во СПбГПУ, 2002) с. 162.
- [5] В.Вал. Соболев, О.А. Макаров, В.В. Соболев. *Тр. Межд. конф. „Оптика, оптоэлектроника и технологии“* (Ульяновск, Изд-во УлГУ, 2002) с. 27.
- [6] В.В. Соболев, А.И. Калугин. *ФТП*, **36**, 155 (2002).
- [7] В.В. Соболев, А.П. Тимонов, В.Вал. Соболев. *ФТП*, **34**, 940 (2000).
- [8] В.П. Мушинский, М.И. Караман. *Оптические свойства халькогенидов галлия и индия* (Кишинев, Штиинца, 1973).
- [9] C. Julien, A. Chevy, D. Siarkas. *Phys. St. Sol. (a)*, **118**, 533 (1990).
- [10] В.В. Соболев, Н.Н. Свербу. *ФТТ*, **6**, 2539 (1964).
- [11] В.В. Соболев, С.Г. Кроктору. *Тр. конф. „Физические свойства полупроводников III–V, III–VI“* (Баку, Изд-во АН АзССР, 1967) с. 76–80.
- [12] V.V. Sobolev. *Phys. St. Sol. (b)*, **43**, K71 (1971).
- [13] В.В. Соболев. *Изв. АН СССР. Неорг. матер.*, **8**, 26 (1972).
- [14] В.В. Соболев. *Зоны и экситоны халькогенидов галлия, индия и таллия* (Кишинев, Штиинца, 1982).
- [15] N. Narita, S. Nagai, Sh. Saito, K. Nakao. *J. Phys. Soc. Japan*, **64**, 1622 (1995).
- [16] M. Ishikawa, T. Nakayama. *Jap. J. Appl. Phys.*, **36**, L1576 (1997).

Редактор Л.В. Беляков

## Optical properties of imperfect $\text{In}_2\text{Se}_3$

*V.Val. Sobolev, V.V. Sobolev*

Udmurt State University,  
426034 Izhevsk, Russia

**Abstract** Spectra of full sets of optical functions of  $\alpha$ - and  $\beta$ - $\text{In}_2\text{Se}_3$  were obtained in the range 0–20 eV. Calculations were performed from the experimental reflectivity spectra using the Kramers–Kronig method. The analysis of the peculiarities of the optical functions' spectra was given for both phases. Based on the method of unified Argand diagrams, the spectra of dielectric function and characteristic electron loss were decomposed into elementary transverse and longitudinal components. Their main transition parameters were determined. The components structure was compared to that of an expected interband transition spectrum.