

Оптические свойства поликристаллического селенида цинка

© А.Н. Брызгалов, В.В. Мусатов, В.В. Бузько

Челябинский государственный педагогический университет,
454080 Челябинск, Россия

(Получена 26 августа 2003 г. Принята к печати 18 сентября 2003 г.)

Экспериментально установлена зависимость показателя ослабления потока излучения от размера зерен ZnSe и длины волны. На длине волны 1.1 мкм минимальное ослабление наблюдается у кристаллов с наименьшим размером зерен, а максимальное — у кристаллов с наибольшим размером. На длине волны 10 мкм, напротив, минимальное ослабление проявляется у кристаллов с максимальным размером зерен, а максимальное — на кристалле с минимальным размером зерен. Делается вывод, что при длине волны 1.1 мкм рассеяние энергии света происходит на внутренних дефектах зерен, а при 10 мкм — преимущественно на границах зерен.

1. Введение

Селенид цинка используется в приборах инфракрасной (ИК) оптики с диапазоном прозрачности 0.5–13 мкм. Показатель преломления имеет дисперсию в указанном интервале от 2.61 до 2.386 [1]. Это вполне удовлетворяет требованиям промышленности. Получение монокристаллов селенида цинка достаточных размеров и высокого совершенства практически невозможно. Трудности технологического характера связаны с тем, что указанные кристаллы существуют в двух модификациях [2]: в высокотемпературной — с гексагональной решеткой и низкотемпературные — с кубической решеткой. Для приборов ИК оптики используются кристаллы низкотемпературной модификации. Получают кристаллы преимущественно из расплава, при этом кристаллизация проходит в высокотемпературной фазе, а затем, уже в твердом состоянии, при остывании проявляется переход в низкотемпературную фазу. Этот процесс часто не проходит до конца и в кристаллах образуются двойники, области упругих напряжений, дислокации и блоки, на которых происходит рассеяние энергии.

В последнее время все шире находят применение поликристаллические материалы, получаемые различными методами: по керамической технологии (КТ), из жидкой фазы путем парофазного осаждения (ПО) и из газовой фазы (CVD). Материалы отличаются размерами зерен, совершенством и физическими свойствами. В поликристаллических материалах помимо вышеуказанных дефектов добавляются границы зерен, на которых происходит рассеяние света [3]. В данной работе представлены результаты исследования оптических свойств поликристаллического селенида цинка.

Исследования были проведены на длинах волны 1.1 и 10 мкм. Выполнена статистическая обработка материала по размерам зерен, дефектности и оптическим свойствам. Образцы представляют собой плоские прозрачные диски диаметром 20 мм и толщиной 4–5 мм с полированными поверхностями. Для выявления дефектов использовался метод гидротермального травления [4]. Пропускание света определялось с помощью прибора SPECORD JR-75 с точностью 1%.

Межзеренная граница является прослойкой с нарушенной структурой, содержащей межзеренные дислокации и примеси. Наличие примесей связано с тем, что по мере роста кристаллических зерен происходит их самоочистка с отторжением примесных атомов в межкристаллитное пространство. Поэтому показатель преломления границ зерен отличается от показателя преломления в зернах $n = 2.403$ на величину Δn . Оптическая неоднородность $E = \Delta n/n$ является характеристикой чистоты поликристаллического материала. Экспериментально установлено, что для селенида цинка при длине волны излучения 10 мкм $\Delta n = 10^{-3}$, поэтому $E \approx 4 \cdot 10^{-4}$. Из-за малости значения E можно пренебречь рассеянием излучения, связанным с преломлением на границах зерен. Поэтому основным механизмом ослабления потока излучения следует считать отражение излучения от границ зерен для случая, когда величина зерен значительно превосходит длину волны излучения. При размерах зерен, соизмеримых или меньше длины волны света, необходимо учитывать и дифракционный эффект.

Одной из основных характеристик элементов оптики является светопропускание в рабочей области спектра с показателем ослабления потока излучения μ в предположении о хаотической ориентации зерен

$$\mu = d^{-1} \bar{R},$$

где \bar{R} — усредненный по углам падения коэффициент отражения, d — средний размер зерна. С учетом многократного отражения излучения от границ зерен коэффициент пропускания излучения теоретически определяется уравнением

$$T = \frac{(1 - R^2)e^{-\mu L}}{1 - R^2 e^{-2\mu L}},$$

где $R = (n - 1)^2 / (n + 1)^2$ — коэффициент отражения. В результате получим формулу для вычисления показателя ослабления [5] на длине волны λ :

$$\mu_\lambda = -L^{-1} \lg \frac{n_\lambda^2 + 1}{2n_\lambda} T_\lambda,$$

где L — толщина образца.

Таблица 1.

Тип материала	Средняя плотность зерен в мм ²	Пропускание на длине волны 1.1 мкм $T, \%$	Показатель ослабления $\mu_{1.1}$
CVD	$7.89 \cdot 10^{-5}$	63	0.261
ПО	$5.02 \cdot 10^{-3}$	54	0.265
КТ	$5.20 \cdot 10^{-1}$	42	0.474
Монокристаллы	—	53–56	—

2. Результаты исследования

Ранее нами было установлено, что распределение зерен по размерам в исследуемых материалах носит экспоненциальный характер [6].

Из оптических спектров пропускания света в видимой и ближней ИК областях следует, что пропускание увеличивается с возрастанием длины волны света и достигает максимального значения при 1.1 мкм (табл. 1). Кристаллы типа CVD имеют минимальный средний размер зерен, наиболее совершенную структуру и наименьший показатель ослабления. Пропускание кристаллов, полученных из жидкой фазы, совпадает практически с пропусканием монокристаллов.

В табл. 2 представлены результаты исследования материалов на длине волны 10 мкм. Для сравнения представлены также результаты исследования монокристаллов.

Из приведенных данных следует, что максимальный размер зерен имеет материал, полученный по керамической технологии (КТ). У материала, полученного из жидкой фазы (ПО), средняя площадь сечения зерен на порядок меньше, а у материала, полученного из газовой

фазы (CVD) — на 2–4 порядка меньше, чем у кристаллов керамической технологии. По линейной плотности границ двойников и дислокаций кристаллы отличаются незначительно. Наименьший показатель ослабления у крупнозернистого материала (КТ), а наибольший — у мелкозернистого (CVD). У материала ПО, полученного из жидкой фазы, показатель ослабления мало отличается от показателя монокристаллов.

Следует отметить, что минимальный показатель ослабления 0.036 имеют материалы типа КТ с площадью сечения зерна в пределах 3–4 мм². Средний размер зерен материала КТ составляет 10^{-3} мкм, что на 2 порядка больше длины волны излучения 10 мкм, поэтому результат ослабления излучения определяется преимущественно отражением от границ зерен. У материала ПО диаметр зерен одного порядка с длиной волны излучения, а у поликристаллического материала CVD диаметр зерен на порядок меньше длины волны излучения, поэтому, помимо отражения излучения от границ зерен, на результат ослабления излучения накладывается и дифракционный эффект.

3. Заключение

В результате можно сделать следующие выводы.

1. Установлено, что оптические свойства поликристаллического материала определяются не только размером зерен и их степенью совершенства.

2. Совершенство и размеры зерен определяются способом получения материала — минимальный размер зерен у материала, полученного из газовой фазы, а максимальный — у материала, полученного по керамическому методу.

Таблица 2.

№ образца и тип материала	Средняя площадь сечения зерна, мм ²	Линейная плотность двойников, см ⁻¹	Средняя плотность дислокаций, см ⁻¹	Показатель ослабления на длине волны 10 мкм
1 (монокристаллы)	—	—	$3.2 \cdot 10^7$	0.183
2 (КТ)	6.88	1.77	$2.0 \cdot 10^6$	0.049
3 (КТ)	5.12	3.27	$5.0 \cdot 10^5$	0.053
4 (КТ)	4.16	6.32	$1.5 \cdot 10^6$	0.043
5 (КТ)	4.12	5.65	$8.0 \cdot 10^5$	0.044
6 (КТ)	3.54	5.53	$3.8 \cdot 10^6$	0.036
7 (КТ)	3.19	4.64	$2.4 \cdot 10^6$	0.036
8 (КТ)	2.90	5.07	$5.0 \cdot 10^6$	0.049
9 (КТ)	1.72	5.29	$1.3 \cdot 10^6$	0.057
10 (КТ)	1.28	7.75	$3.0 \cdot 10^6$	0.097
11 (КТ)	0.98	9.79	$5.0 \cdot 10^6$	0.077
12–1 (ПО)	$3.8 \cdot 10^{-1}$	12.42	$2.5 \cdot 10^6$	0.176
12–2 (ПО)	$2.4 \cdot 10^{-2}$	14.46	$2.5 \cdot 10^6$	0.176
13–1 (ПО)	$2.0 \cdot 10^{-1}$	5.19	$1.7 \cdot 10^6$	0.254
13–2 (ПО)	$3.8 \cdot 10^{-1}$	5.37	$1.7 \cdot 10^6$	0.254
14–1 (CVD)	$2.2 \cdot 10^{-2}$	16.7	$1.6 \cdot 10^6$	0.243
14–2 (CVD)	$6.4 \cdot 10^{-4}$	16.7	$1.6 \cdot 10^6$	0.243
15–1 (CVD)	$2.0 \cdot 10^{-2}$	2.16	$2.3 \cdot 10^6$	0.336
15–2 (CVD)	$4.6 \cdot 10^{-4}$	2.16	$2.3 \cdot 10^6$	0.336

3. На длине волны 1.1 мкм наименьший показатель ослабления у образцов типа CVD, а наибольший — у образцов КТ. При исследовании на длине волны 10 мкм, напротив, минимальный показатель ослабления у крупнозернистого материала, а максимальный — у мелкозернистого. Материал, полученный из жидкой фазы, имеет показатель ослабления, сходный с показателем ослабления монокристаллов.

4. Показано, что на длине волны 10 мкм рассеяние света происходит преимущественно на границах зерен поликристаллического материала, содержащих зернограничные дислокации и примесные атомы, а на длине 1.1 мкм — рассеяние излучения скорее всего преимущественно связано с дефектами зерен: границами двойников и дислокациями.

Исследования показали, что по оптическим свойствам поликристаллический селенид цинка не уступает монокристаллам, а в некоторых случаях и превосходит.

Список литературы

- [1] И.П. Кулаков, А.В. Фадеев. Изв. АН СССР. Неорг. матер., **16** (1), 159 (1980).
- [2] *Акустические кристаллы* (М., Наука, 1976).
- [3] Б.М. Слепченко, В.В. Мусатов, А.Н. Брызгалов. ФТТ, **32** (2), 638 (1990).
- [4] А.Н. Брызгалов. Автореф. докт. дис. (Уфа, 1998).
- [5] А.Н. Брызгалов, Б.М. Слепченко, В.В. Мусатов. Изв. АН СССР. Неорг. матер., **25** (9), 1430 (1989).
- [6] А.А. Яксеновских, А.Н. Брызгалов, В.В. Мусатов и др. Изв. АН СССР. Неорг. матер., **27** (6), 1176 (1991).

Редактор Т.А. Полянская