

Исследование оптических свойств тонких пленок сульфида цинка и оксида цинка

Выполнила аспирант ОмГУ:
Богданова Елизавета Владимировна

Цель работы:

получение экспериментальных данных об оптических свойствах тонких пленок сульфида цинка и тонких пленок оксида цинка, легированного индием.

Задачи:

1) изготовление тонких пленок сульфида цинка (ZnS) методом термовакuumного испарения и пленок оксида цинка, легированного индием (ZnO(In)), методом реактивного магнетронного распыления;

2) экспериментальное исследование оптических свойств тонких пленок:

- измерение спектров пропускания тонких пленок сульфида цинка и оксида цинка на стеклянных подложках в диапазоне длин волн 0,35-0,9 мкм;
- определение оптической ширины запрещенной зоны пленок сульфида цинка и оксида цинка;
- исследование влияния высокотемпературного отжига на воздухе и в вакууме пленок сульфида цинка (ZnS) и оксида цинка (ZnO(In)) на оптические свойства этих пленок.

Таблица 1
Сводная таблица образцов

ZnS	ZnO(In)	
Образец № 1- ZnS $h_1 = 0,9$ мкм отжиг на воздухе при 500°C – 20 мин.	Образец № 1- ZnO(In)	$h_1 = 0,3$ мкм без отжига
	Образец № 2- ZnO(In)	$h_2 = 0,25$ мкм без отжига
	Образец № 3- ZnO(In)	$h_3 = 0,2$ мкм без отжига
Образец № 2- ZnS $h_2 = 0,9$ мкм, отжиг в вакууме при 500°C – 20 мин.	Образец № 4- ZnO(In)	$h_4 = 0,756$ мкм отжиг на воздухе при 500°C – 20 мин.
	Образец № 5- ZnO(In)	$h_5 = 0,75$ мкм отжиг в вакууме при 500°C – 20 мин.
	Образец № 6- ZnO(In)	$h_6 = 0,375$ мкм отжиг в вакууме при 500°C – 20 мин.
Образец № 3- ZnS $h_3 = 0,87$ мкм, отжиг в вакууме при 500°C – 20 мин.	Образец № 7- ZnO(In)	$h_7 = 0,375$ мкм отжиг на воздухе при 500°C – 20 мин.

Определение оптической ширины запрещенной зоны



1. Рассчитать коэффициент поглощения полупроводника для различных частот.
2. Построить графическую зависимость $\alpha^2 = f(h\nu)$.
3. Выявить на графике участок спектра, где точки удовлетворяют линейной зависимости.
4. Экстраполировать линейную зависимость до пересечения ее с осью абсцисс. Точка пересечения определяет ширину запрещенной зоны E_g , выраженную в эВ.

Коэффициент отражения:

$$R = \frac{I_R}{I_0}$$

$$R_1 = \left(\frac{n_1 - 1}{n_1 + 1} \right)^2 \quad R_{12} = \left(\frac{n_{12} - 1}{n_{12} + 1} \right)^2 \quad R_2 = \left(\frac{n_2 - 1}{n_2 + 1} \right)^2$$

Коэффициент поглощения:

$$\alpha = \frac{1}{h} \ln \left[\frac{\left(-R_1 \right) \left(-R_{12} \right) \left(-R_2 \right)}{T} \right]$$

Результаты:

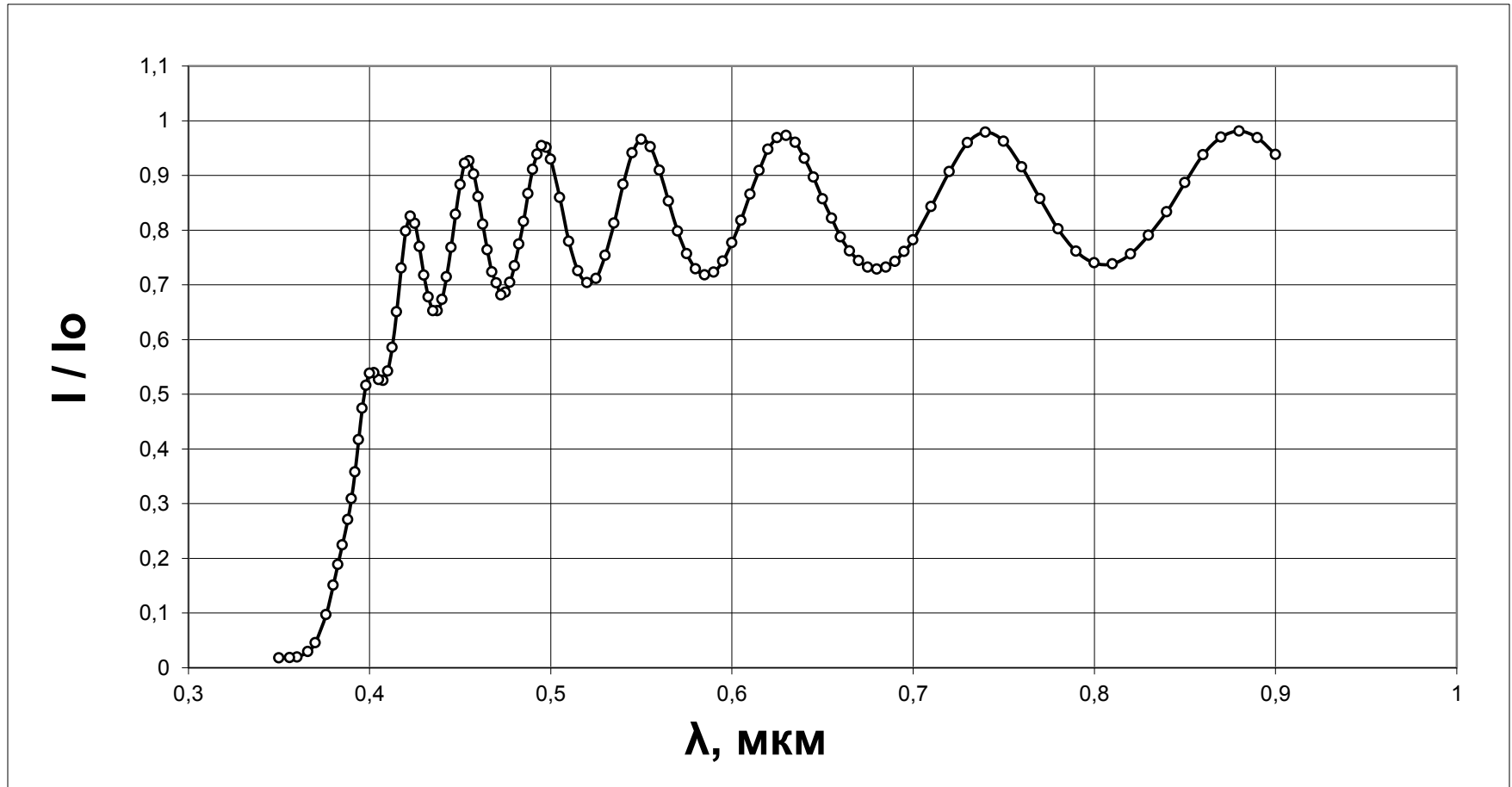


Рис. 1. Спектр пропускания образца № 1-ZnS, $h_1 = 0,3$ μm , до проведения отжига.

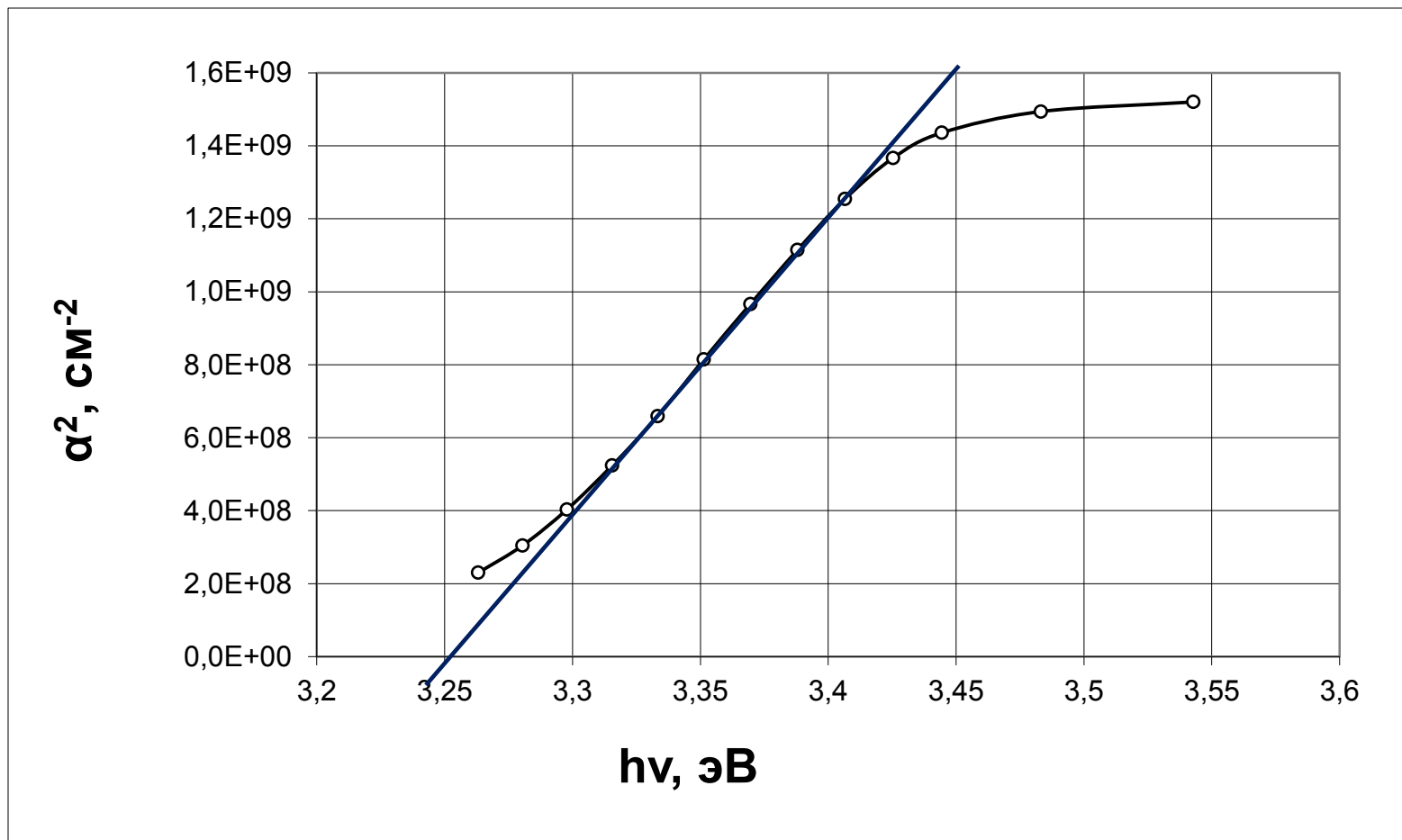


Рис. 2. Зависимость квадрата коэффициента поглощения образца № 1-ZnS от энергии кванта.

Оптическая ширина запрещенной зоны до проведения отжига:
 $E_g = 3,25$ эВ.

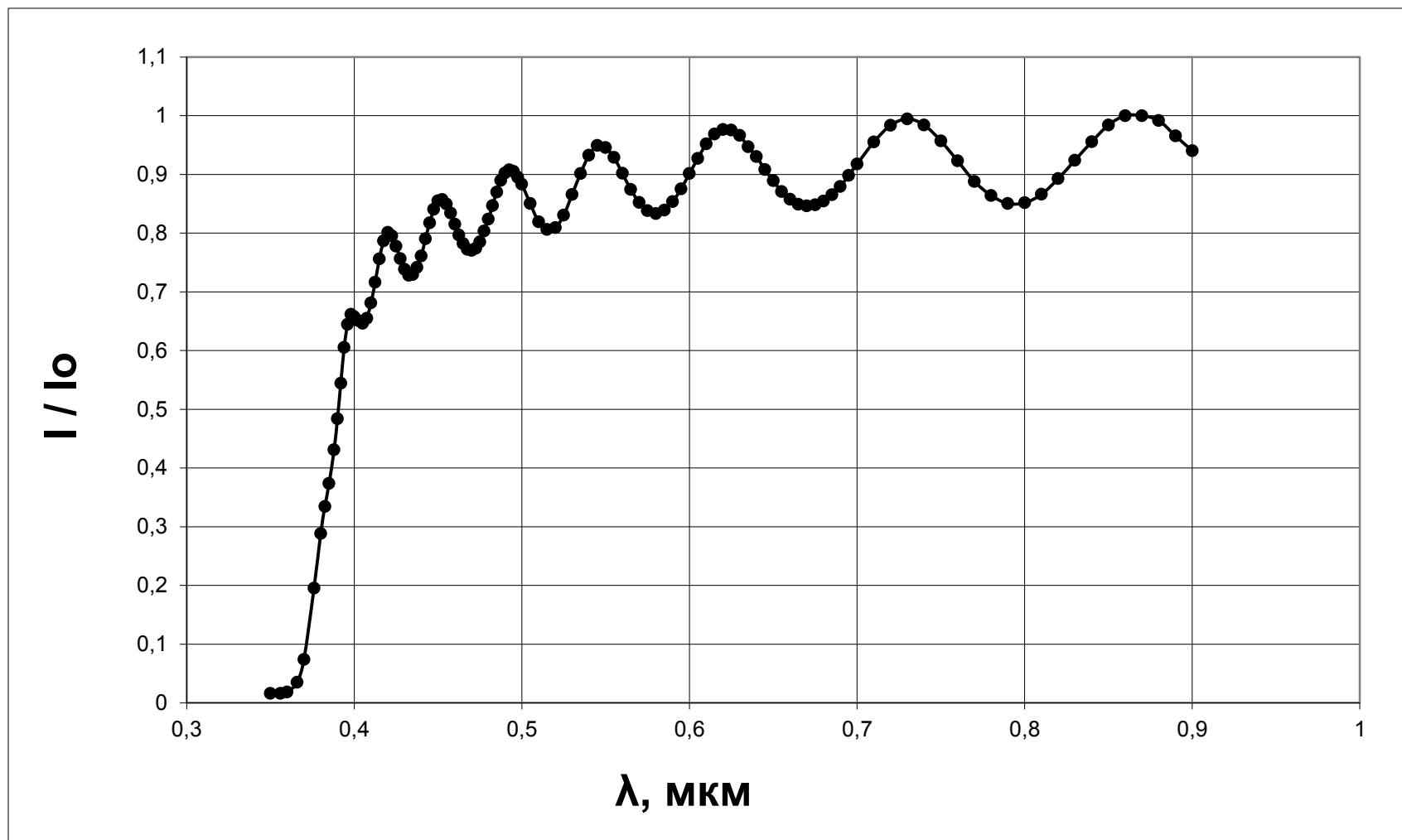


Рис. 3. Спектр пропускания образца № 1-ZnS, после проведения отжига на воздухе при температуре 500°C 20 минут.

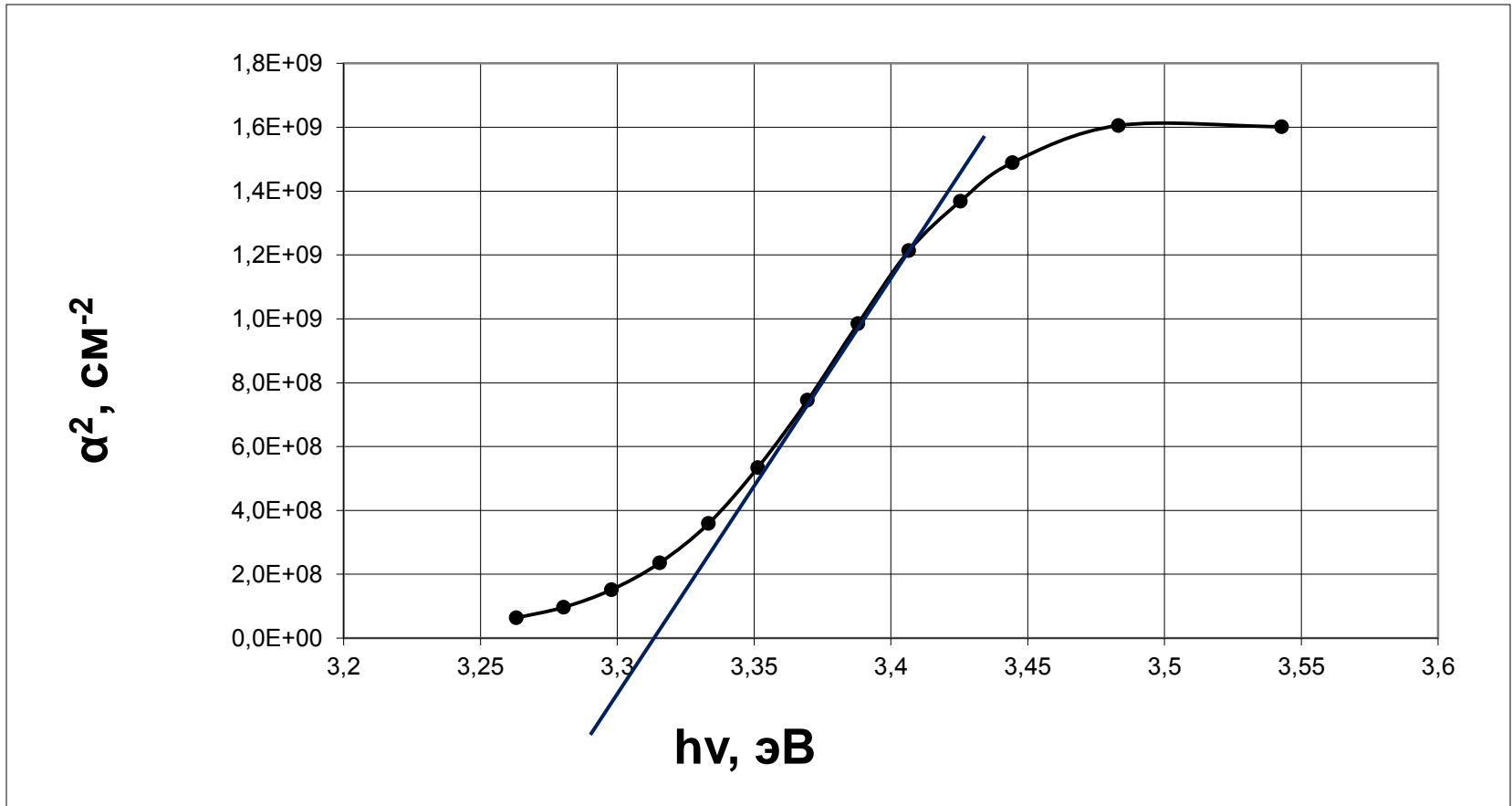


Рис. 4. Зависимость квадрата коэффициента поглощения образца № 1- ZnS от энергии кванта.

Оптическая ширина запрещенной зоны после отжига: **$E_g = 3,31$ эВ**

Разница (до и после отжига) **$\Delta E_g = 0,06$ эВ**

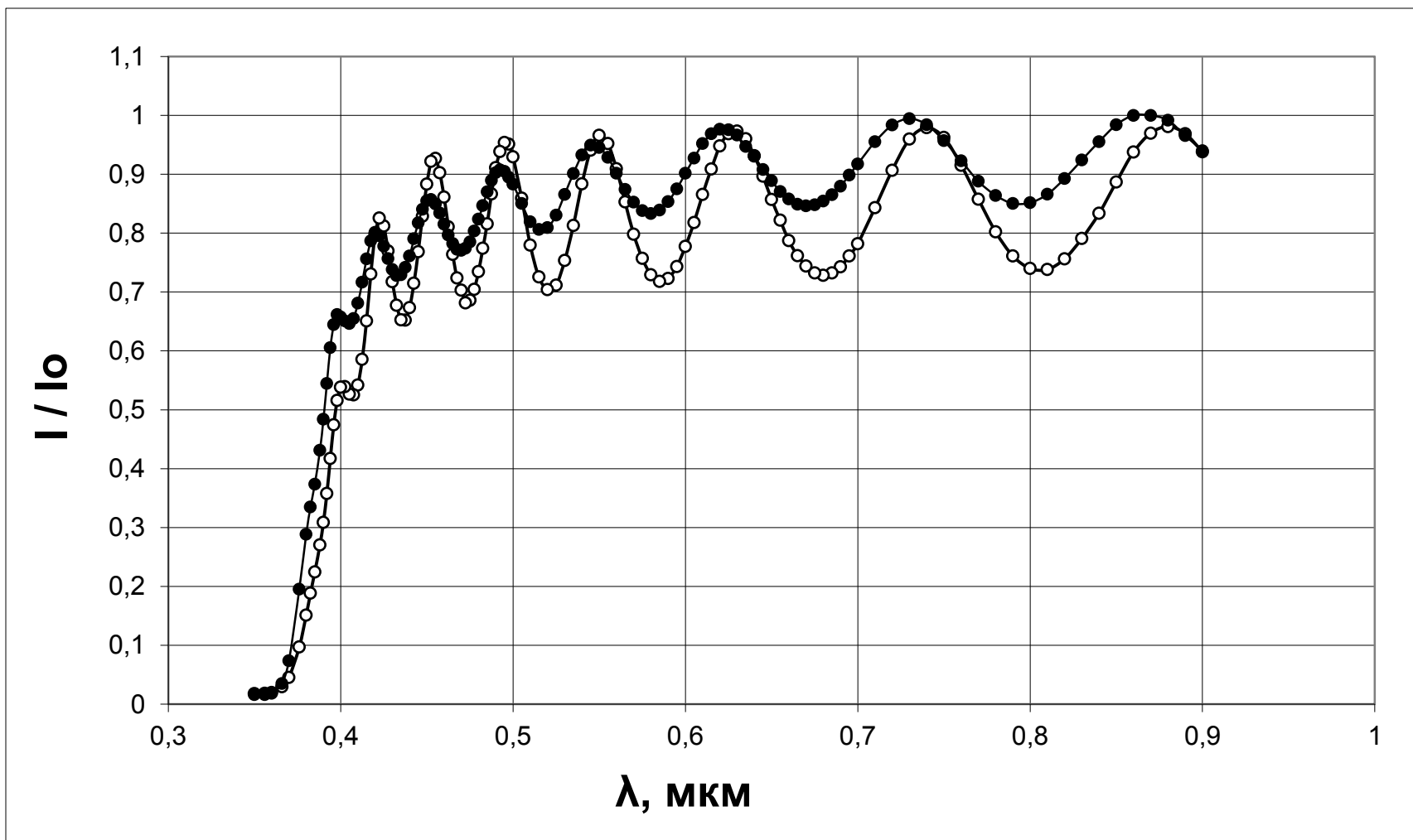


Рис. 5. Сравнение спектров пропускания образца № 1- ZnS:

- — до отжига
- — после отжига

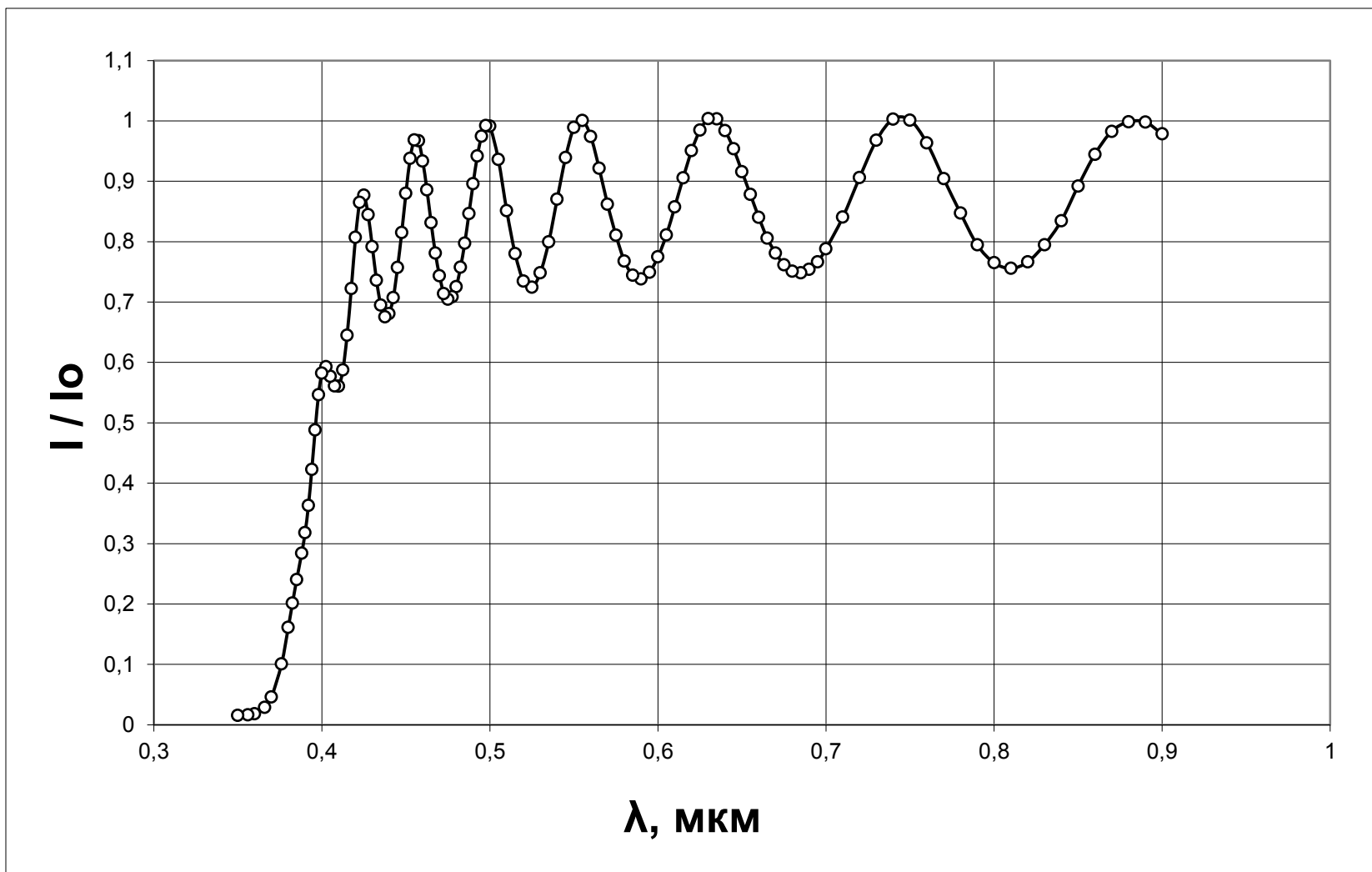


Рис. 6. Спектр пропускания образца № 2-ZnS, перед проведением отжига.

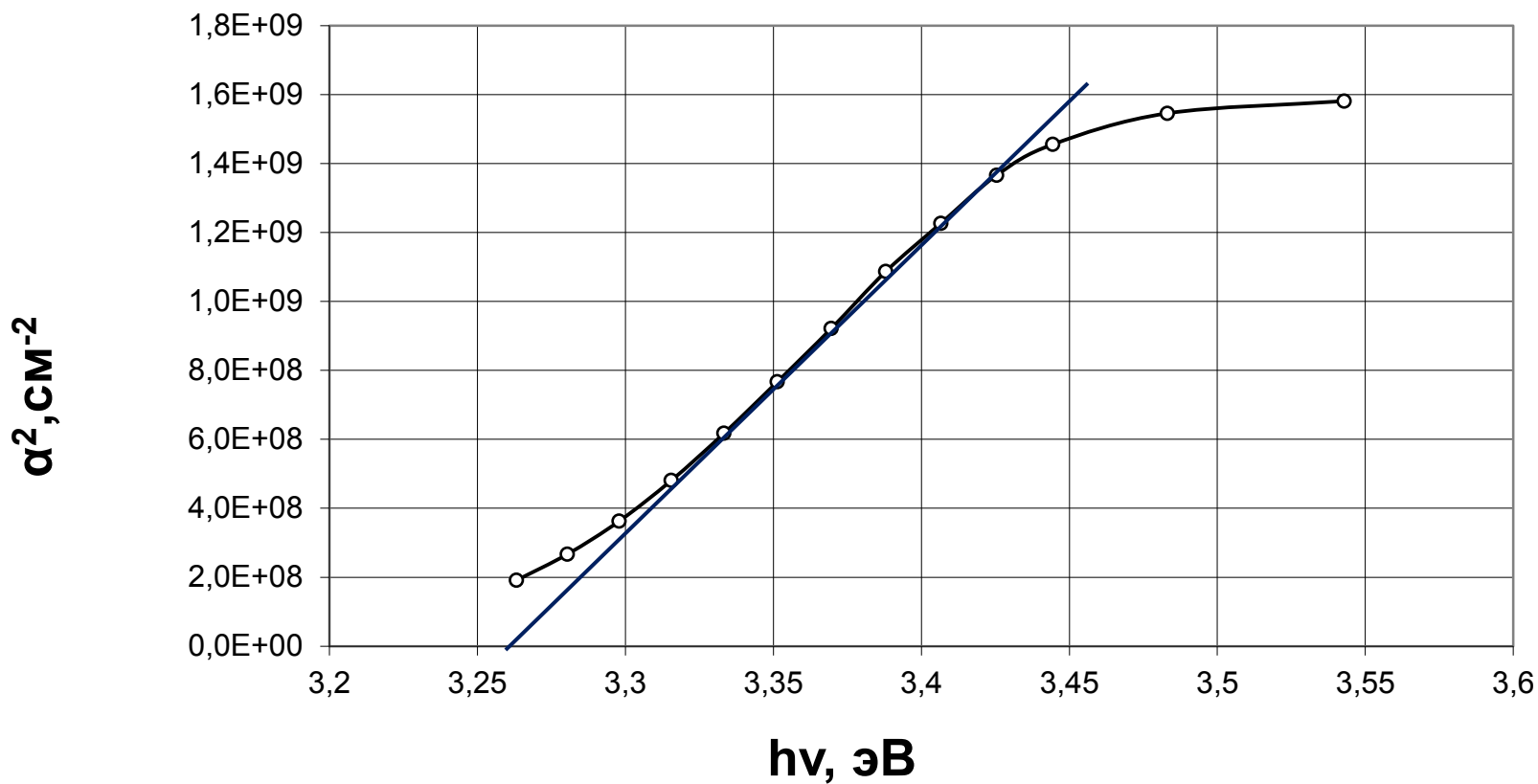


Рис. 7. Зависимость квадрата коэффициента поглощения образца № 2-ZnS от энергии кванта.

Оптическая ширина запрещенной зоны до проведения отжига:

$$E_g = 3,26 \text{ эВ}$$

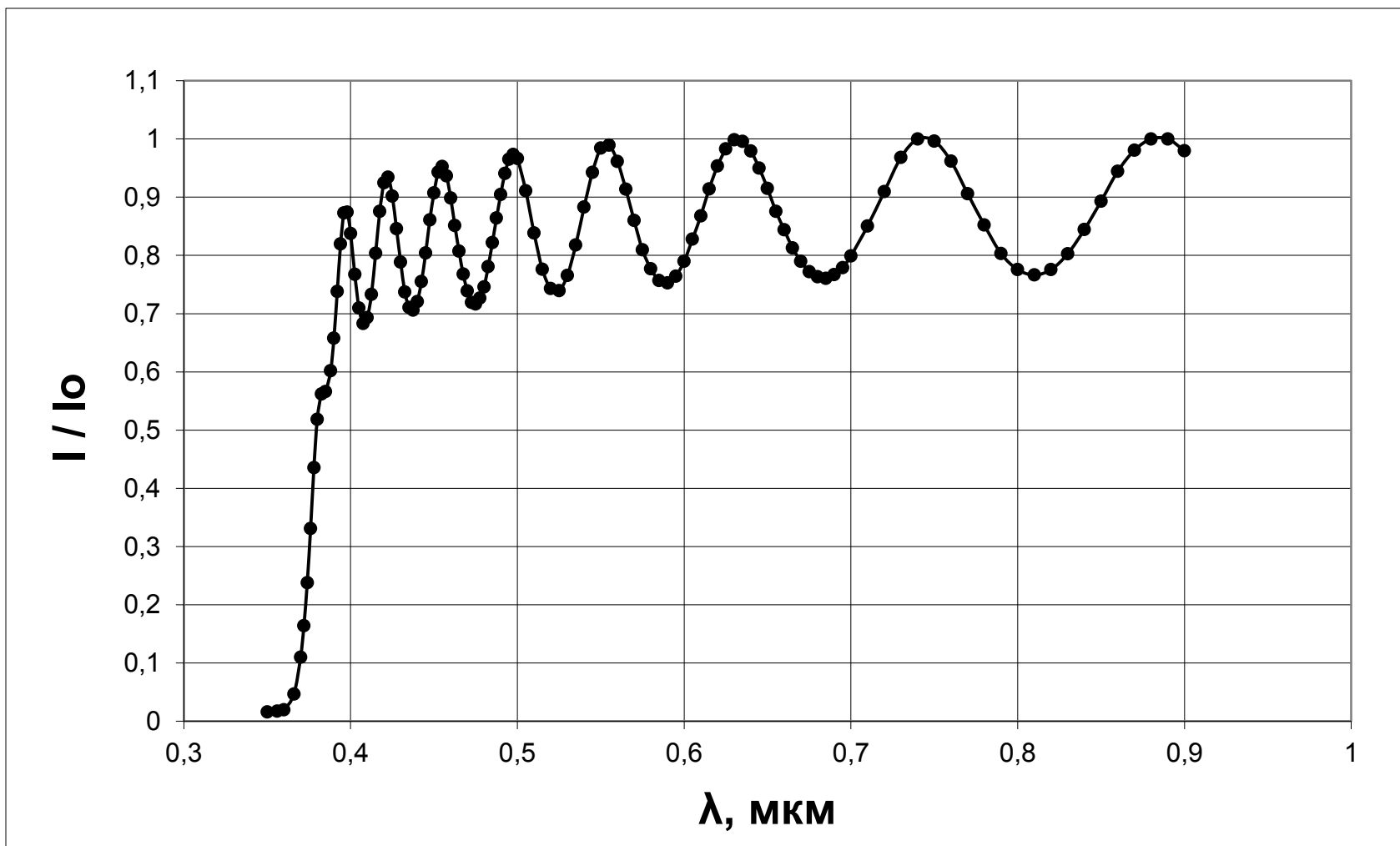


Рис. 8. Спектр пропускания образца № 2-ZnS, после проведения отжига в вакууме при температуре 500°C 20 минут.

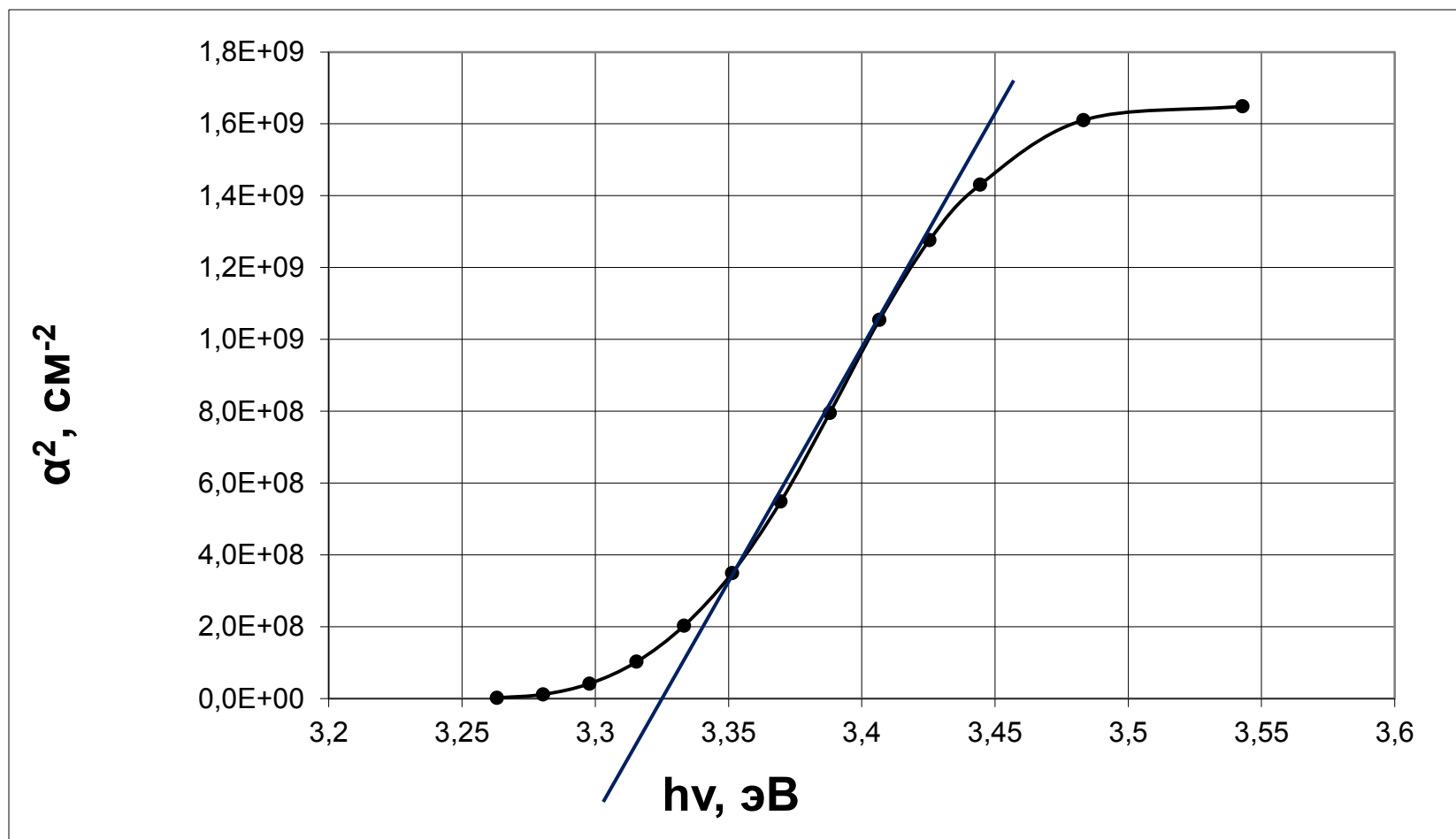


Рис. 9. Зависимость квадрата коэффициента поглощения образца № 2-ZnS от энергии кванта.

Оптическая ширина запрещенной зоны после отжига: **$E_g = 3,33$ эВ**

Разница (до и после отжига) **$\Delta = 0,07$ эВ**

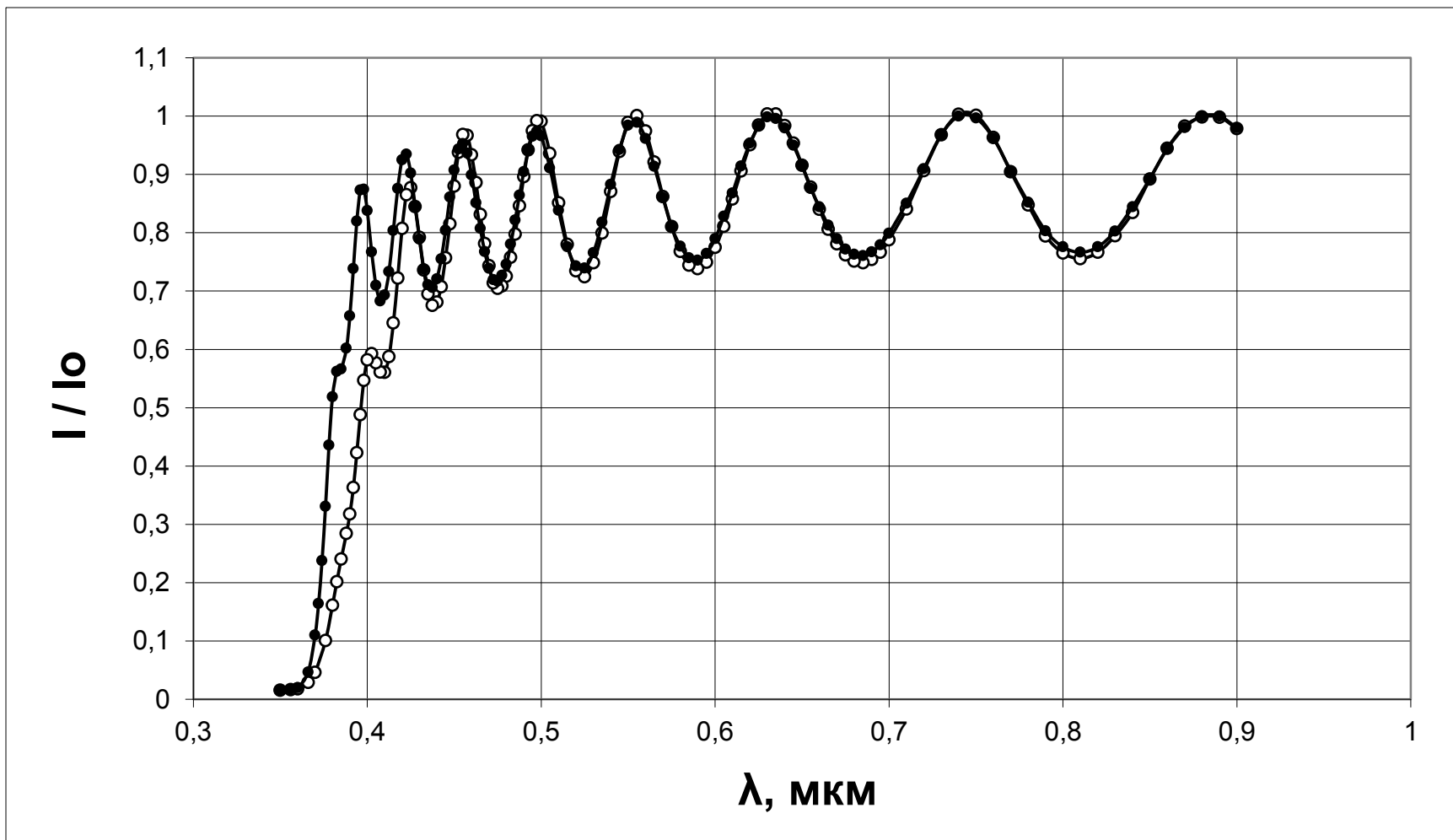


Рис. 10. Сравнение спектров пропускания образца № 2- ZnS:

- ○ — до отжига
- ● — после отжига

Таблица 2

Сравнение ширины запрещенной зоны до и после проведения отжига пленок ZnS

	E_g до отжига, эВ	E_g после отжига, эВ	Δ, эВ
Образец № 1- ZnS	3,25	3,31	0,06
Образец № 2- ZnS	3,26	3,33	0,07
Образец № 3- ZnS	3,23	3,3	0,07

Обсуждение

В результате исследований было выяснено, что при отжиге плёнок сульфида цинка на воздухе и в вакууме, оптическая ширина запрещенной зоны пленок увеличивается на 0,06 – 0,07 эВ.

Показатель	ZnS	
Сингония	Кубическая	Гексагональная
Ширина запрещенной зоны, эВ	3,7	3,8

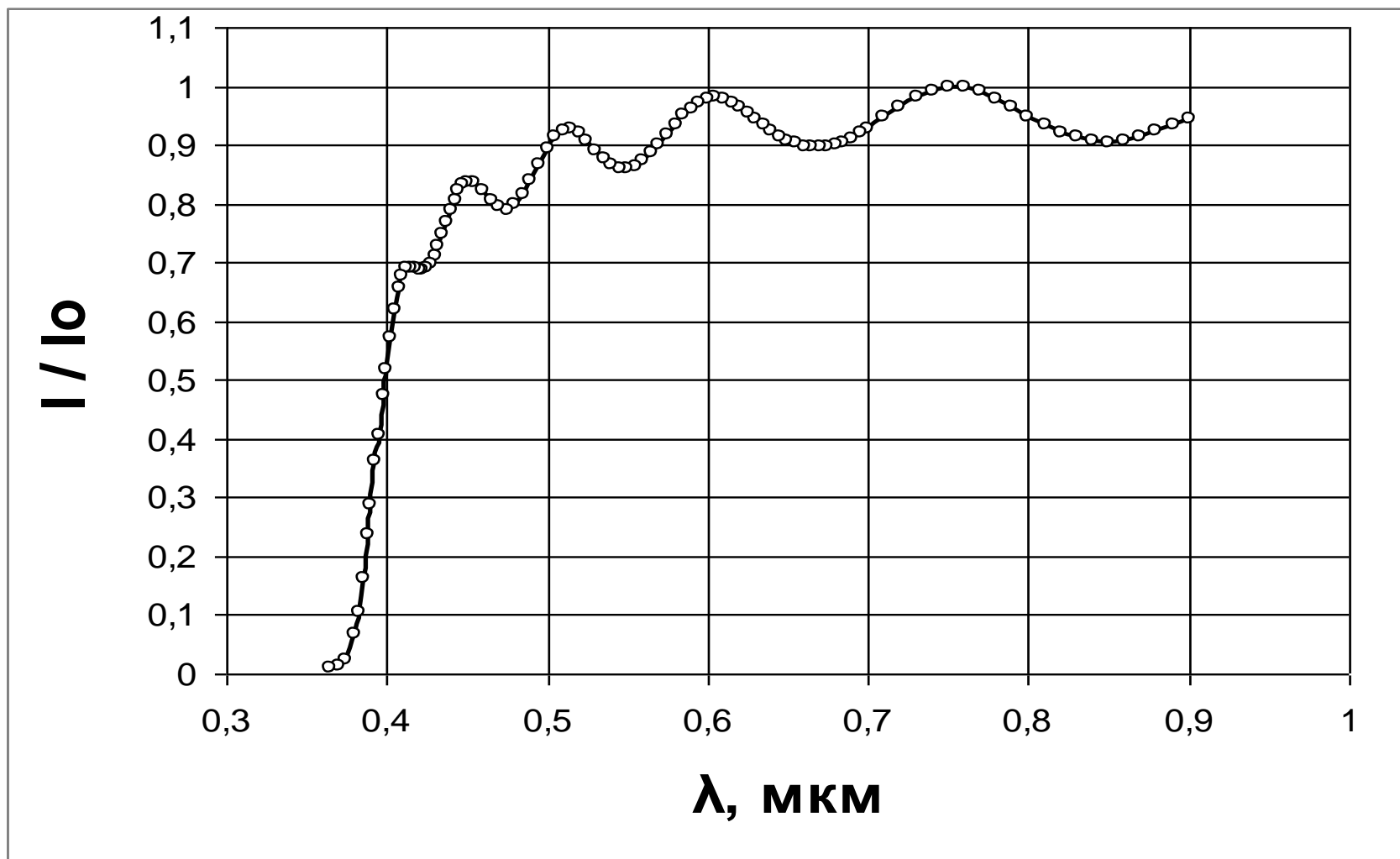


Рис. 11. Спектр пропускания образца № 4-ZnO(In), $h_4 = 0,756$ мкм, до проведения отжига.

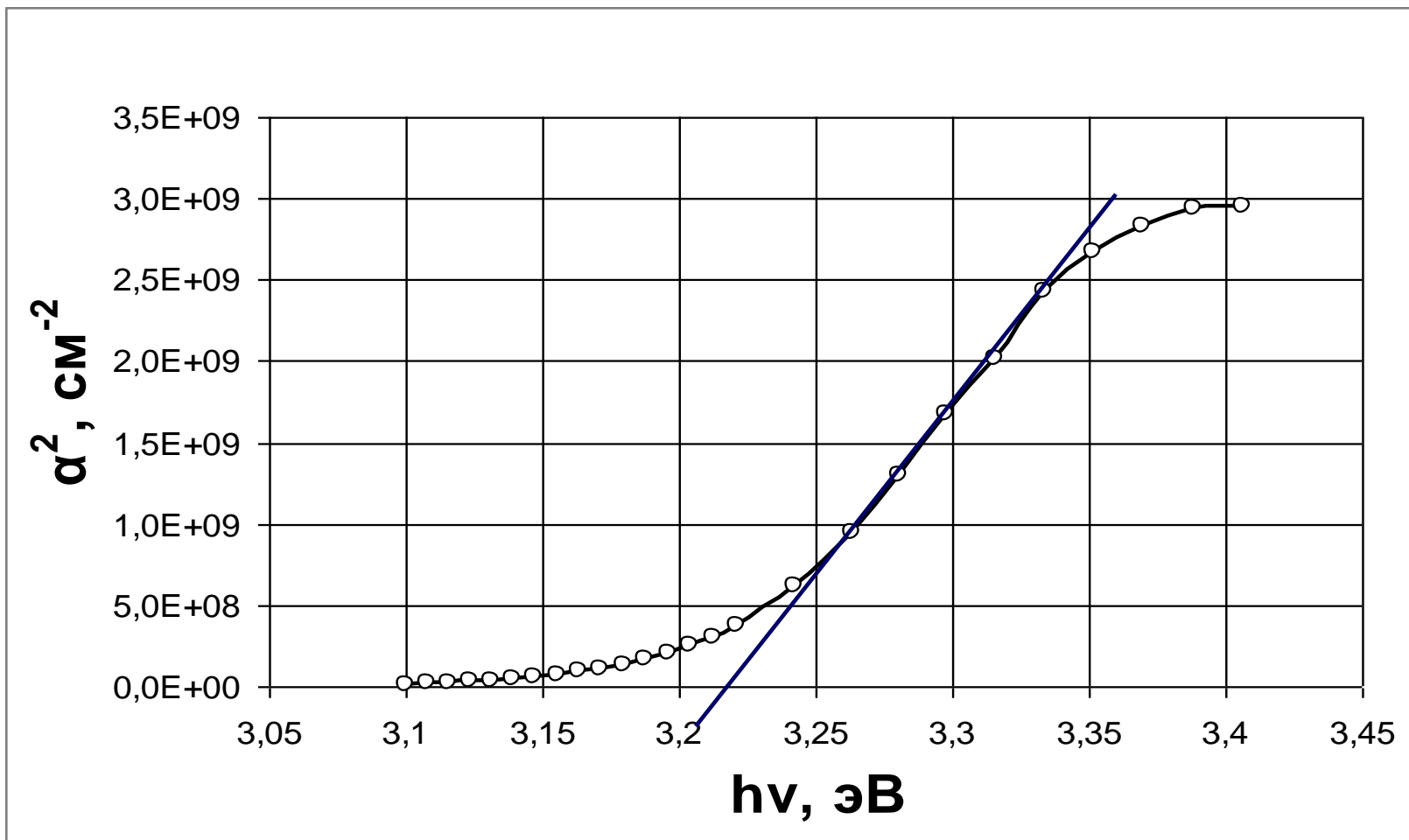


Рис. 12. Зависимость квадрата коэффициента поглощения образца № 4- ZnO(In) от энергии кванта.

Оптическая ширина запрещенной зоны до проведения отжига:

$E_g = 3,22$ эВ.

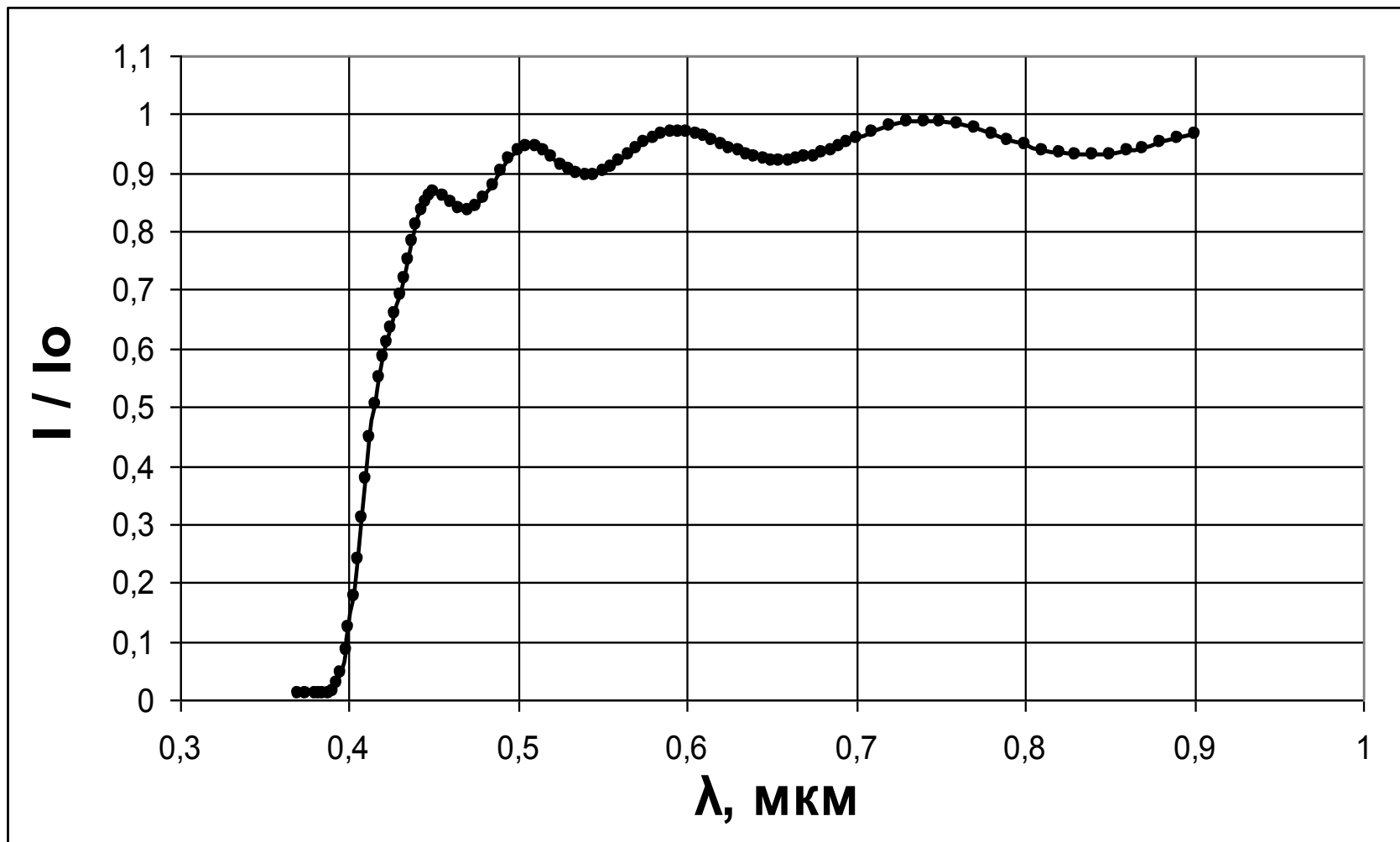


Рис. 13. Спектр пропускания образца № 4-ZnO(In), после проведения отжига на воздухе при температуре 500°C 20 минут.

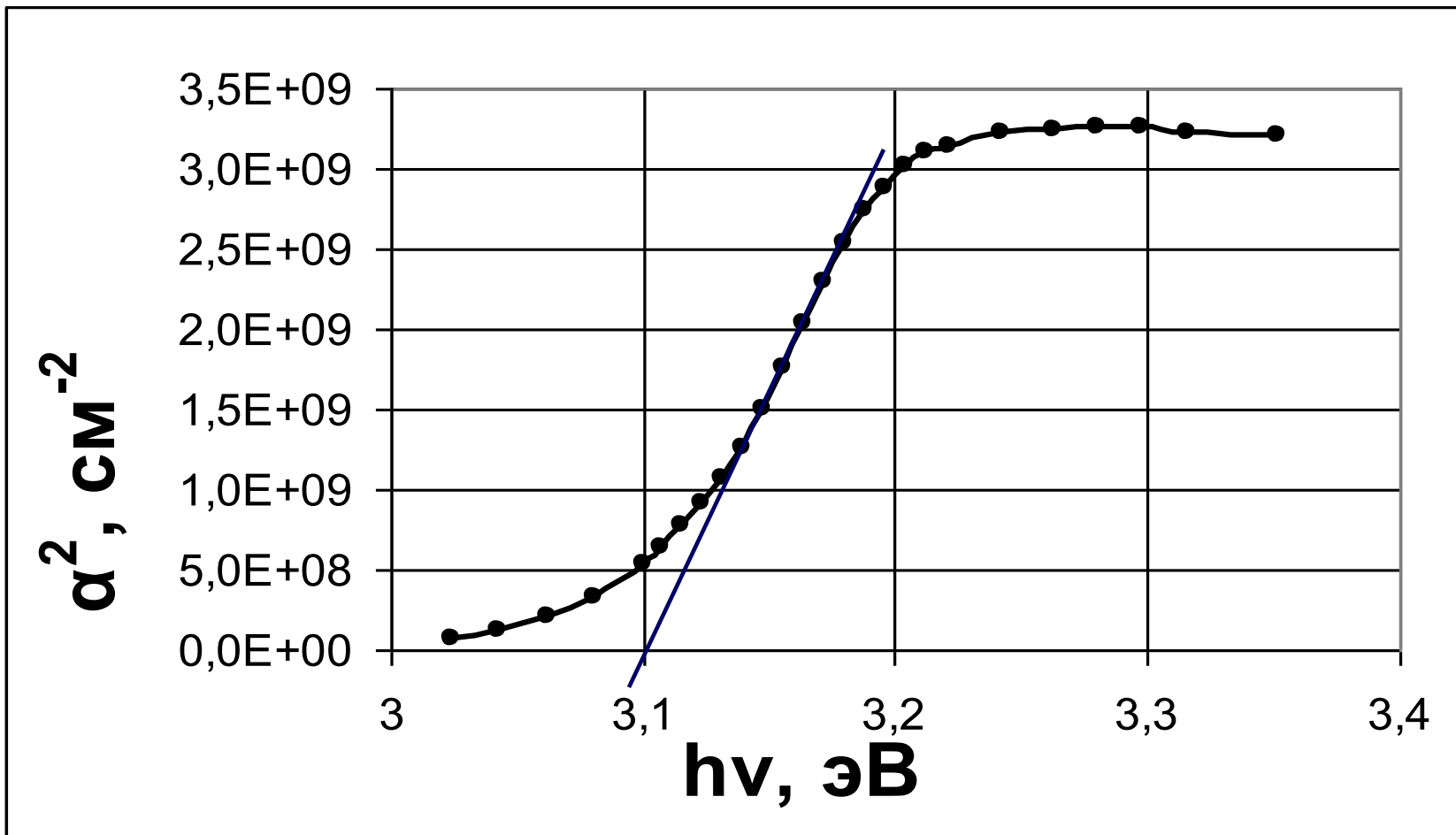


Рис. 14. Зависимость квадрата коэффициента поглощения образца № 4-ZnO(In) от энергии кванта.

Оптическая ширина запрещенной зоны после отжига: **$E_g = 3,1$ эВ**

Разница (до и после отжига) **$\Delta = 0,12$ эВ**

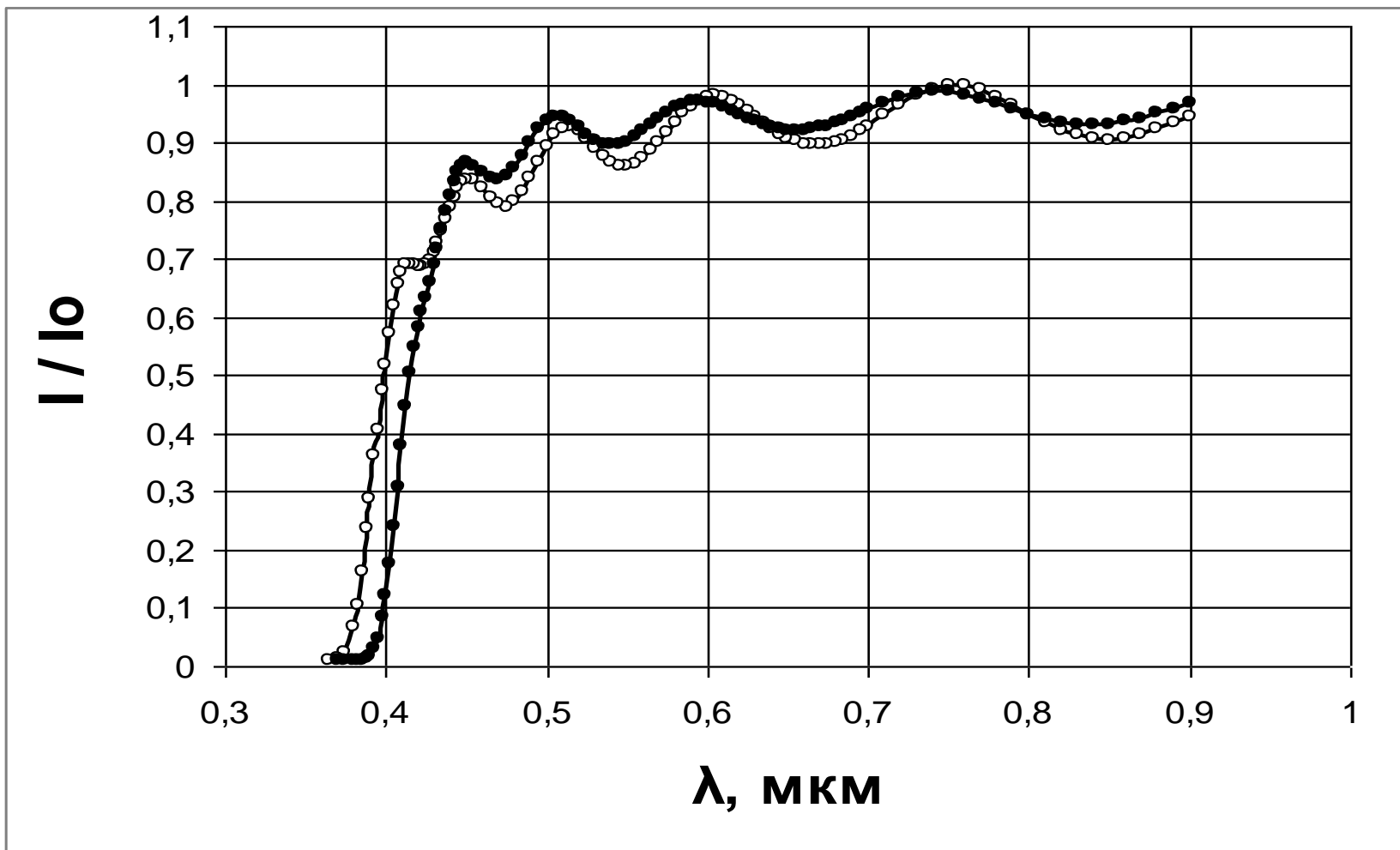


Рис. 15. Сравнение спектров пропускания образца № 4-ZnO(In):

- — до отжига
- — после отжига

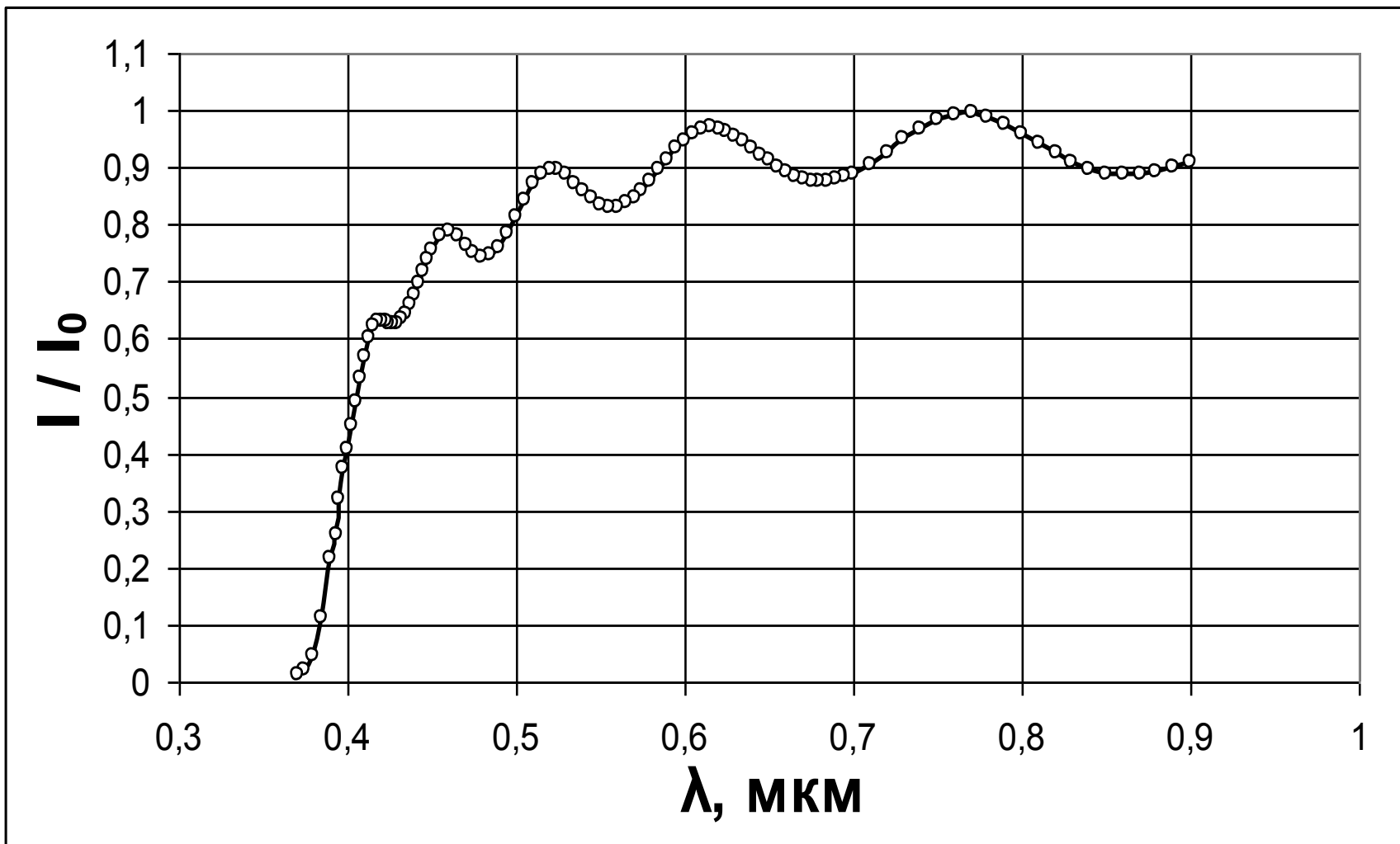


Рис. 16. Спектр пропускания образца № 5-ZnO(In), $h_5 = 0,75 \mu\text{m}$, до проведения отжига.

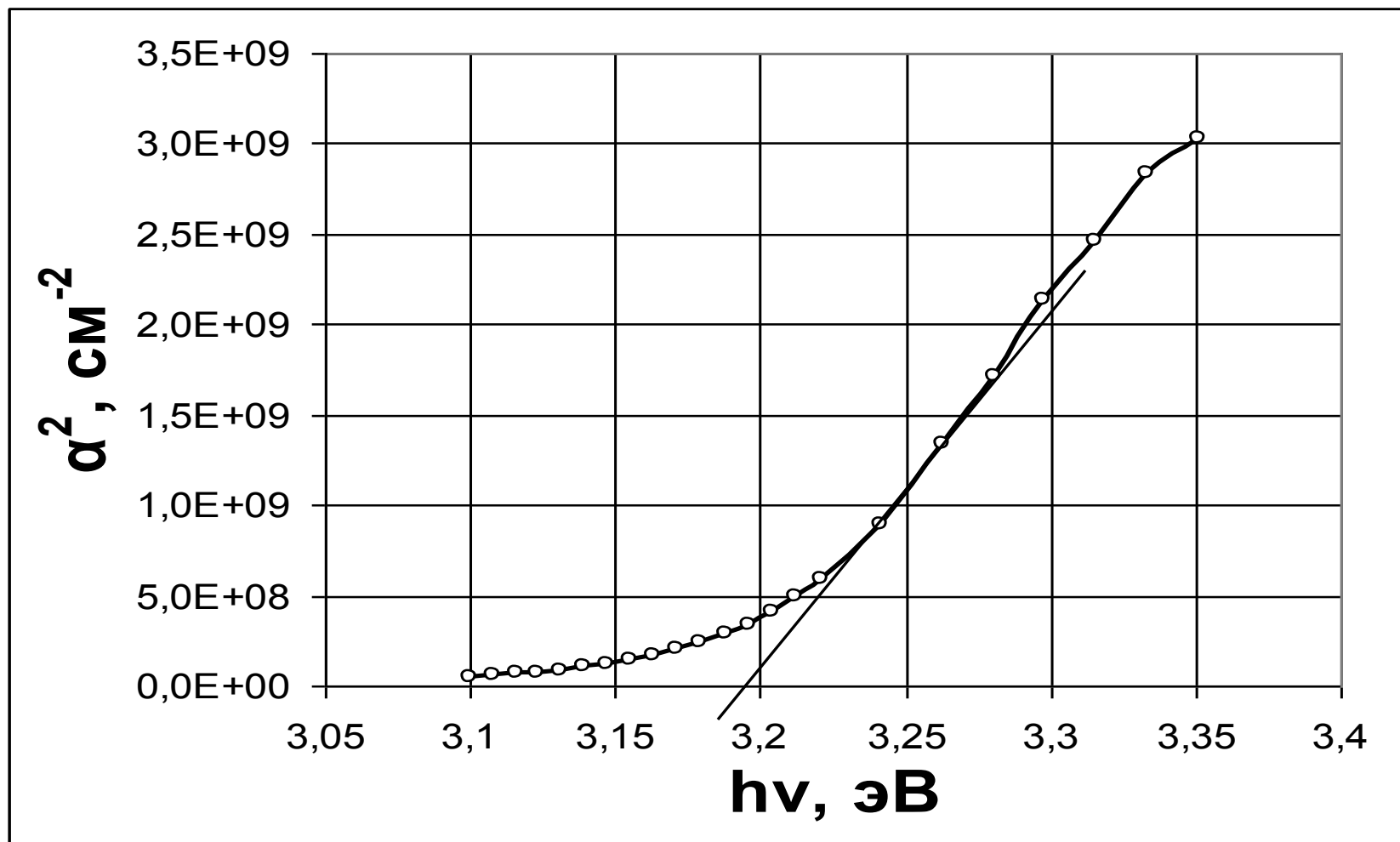


Рис. 17. Зависимость квадрата коэффициента поглощения образца № 5-ZnO(In) от энергии кванта.

Оптическая ширина запрещенной зоны до проведения отжига:

$E_g = 3,2$ эВ.

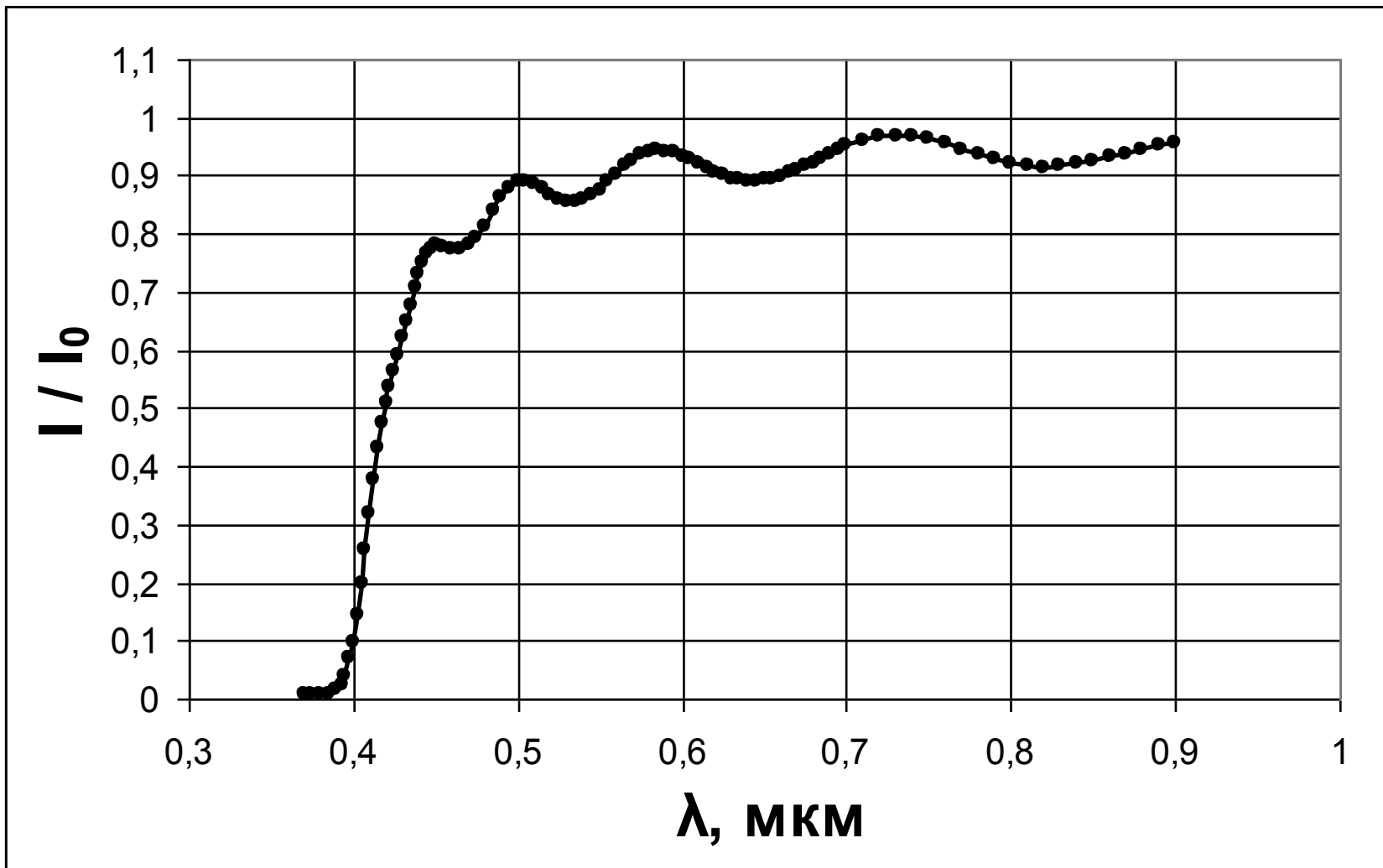


Рис. 18. Спектр пропускания образца № 5-ZnO(In) после проведения отжига в вакууме при температуре 500°C 20 минут.

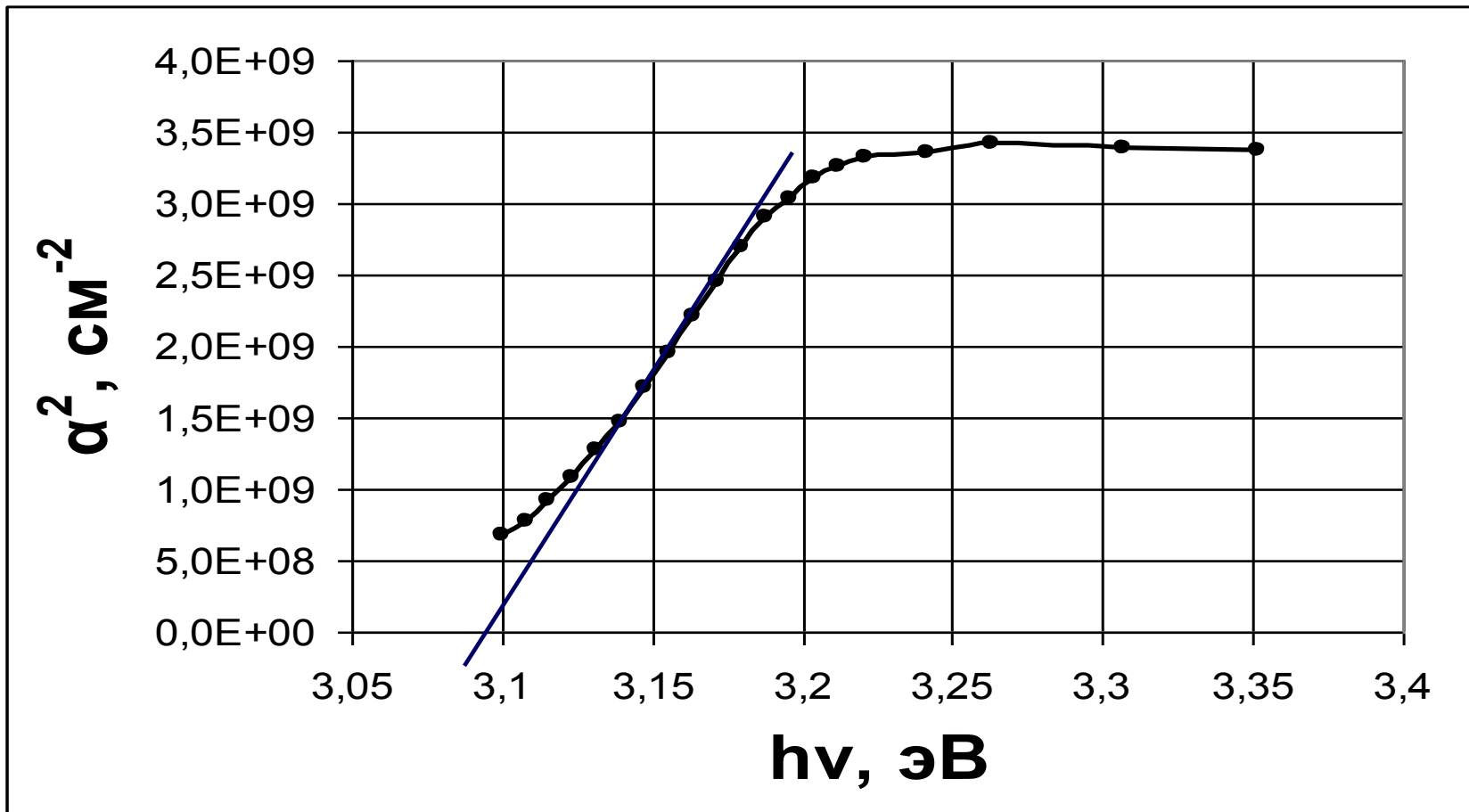


Рис. 19. Зависимость квадрата коэффициента поглощения образца № 5-ZnO(In) от энергии кванта.

Оптическая ширина запрещенной зоны после отжига: $E_g = 3,09$ эВ

Разница (до и после отжига) $\Delta = 0,11$ эВ

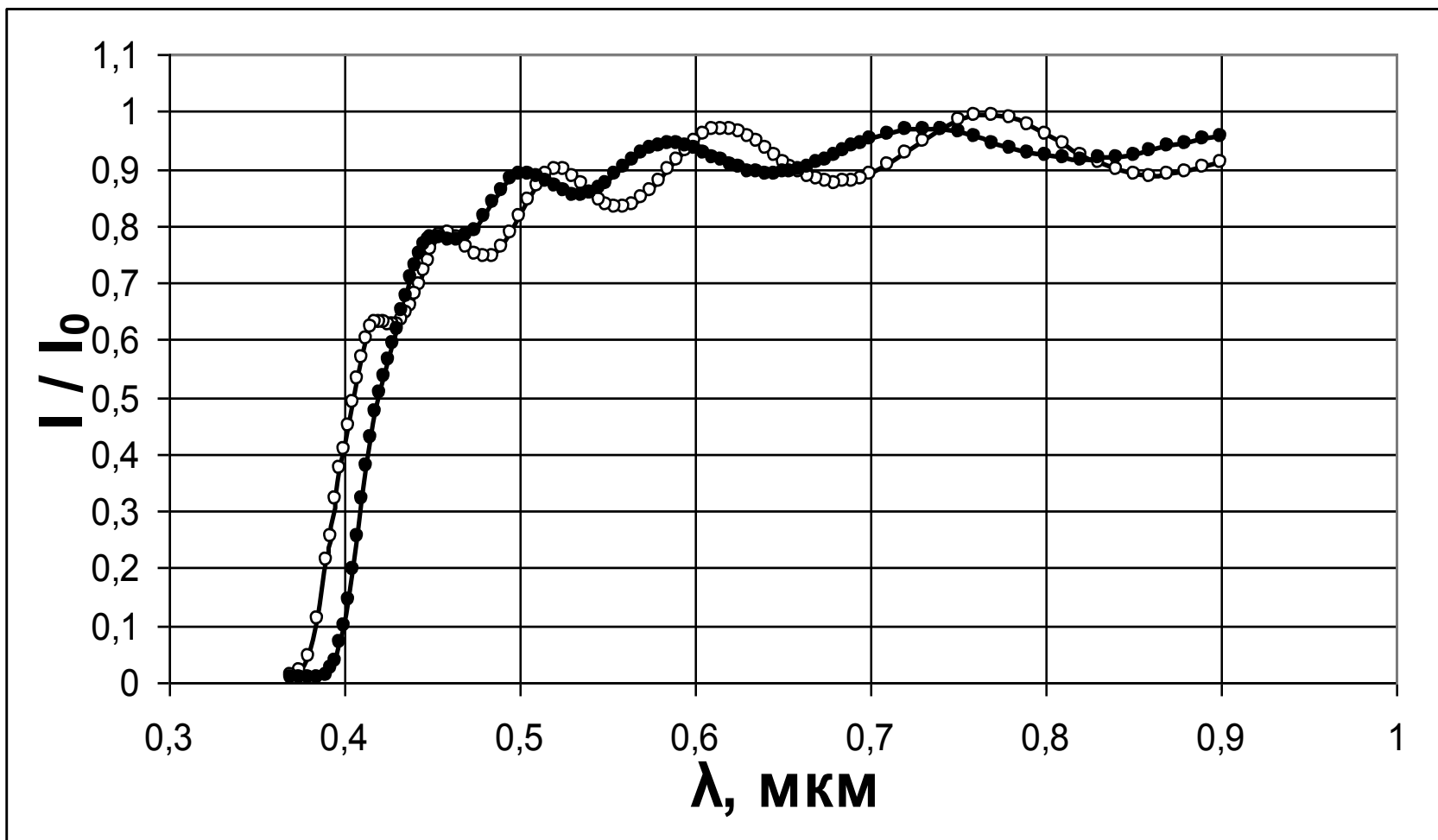


Рис. 20. Сравнение спектров пропускания образца № 5-ZnO(In):

- — до отжига
- — после отжига

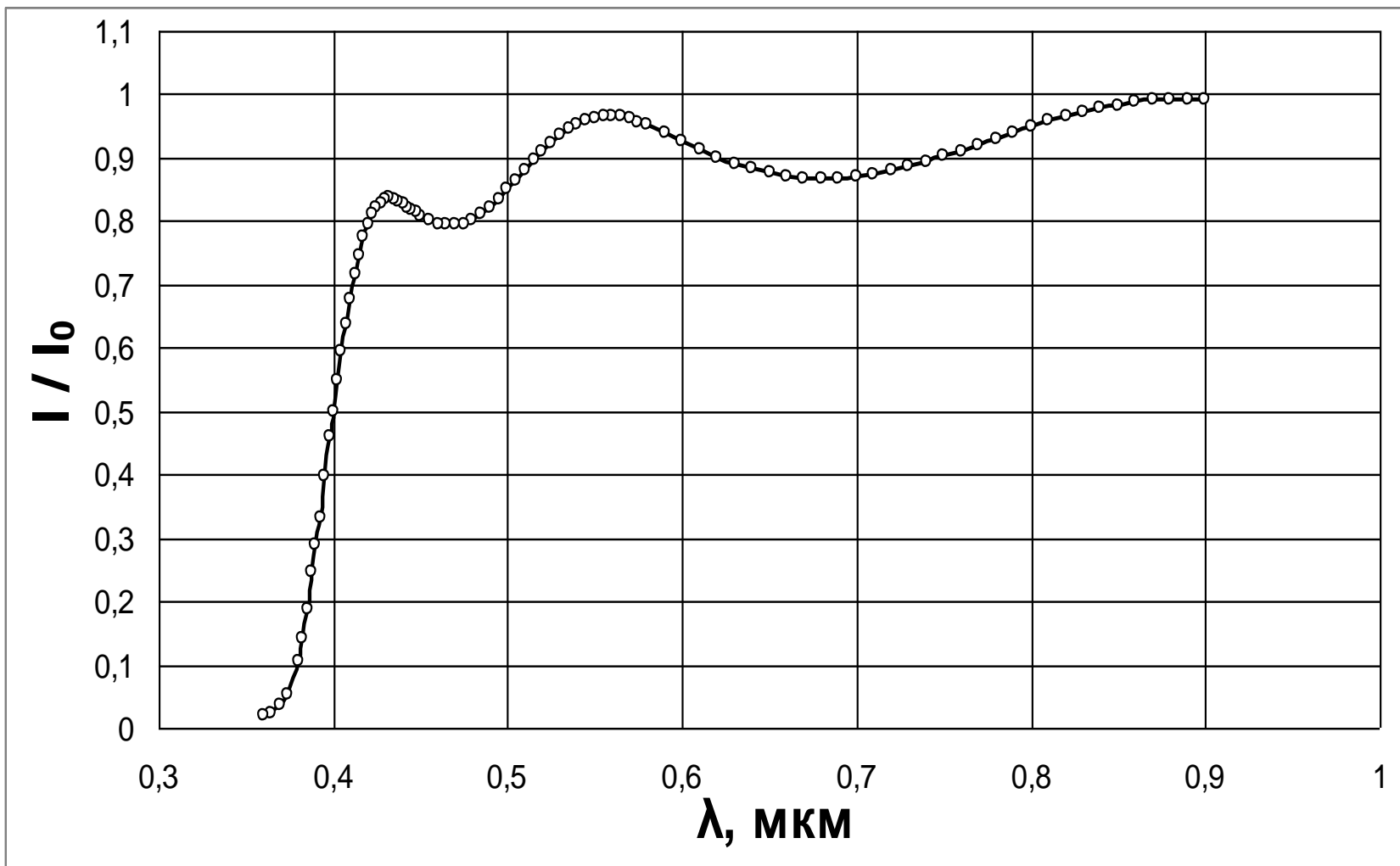


Рис. 21. Спектр пропускания образца № 6-ZnO(In), $h_6 = 0,375 \mu\text{m}$, до проведения отжига.

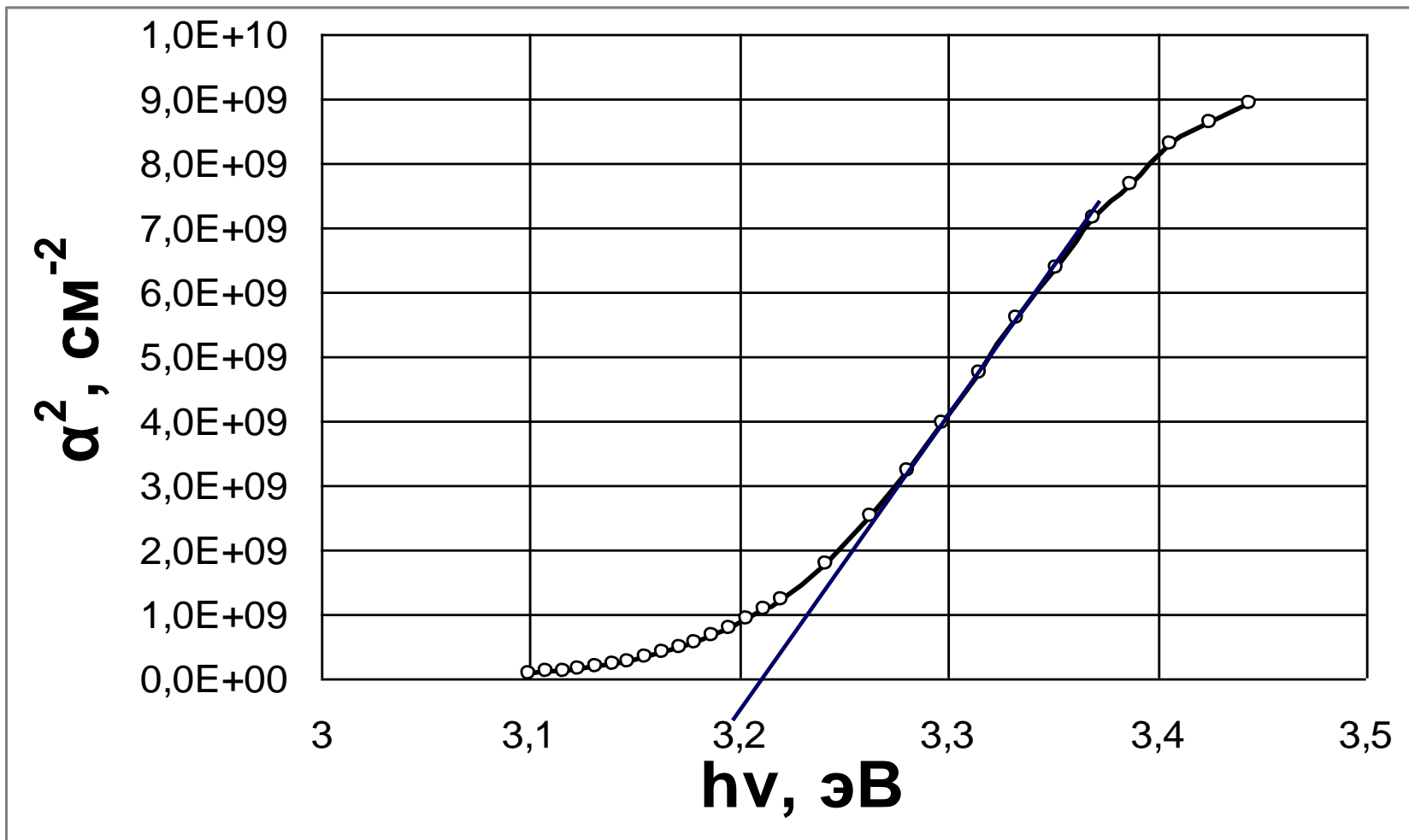


Рис. 22. Зависимость квадрата коэффициента поглощения образца № 6-ZnO(In) от энергии кванта.

Оптическая ширина запрещенной зоны до проведения отжига:

$E_g = 3,21$ эВ.

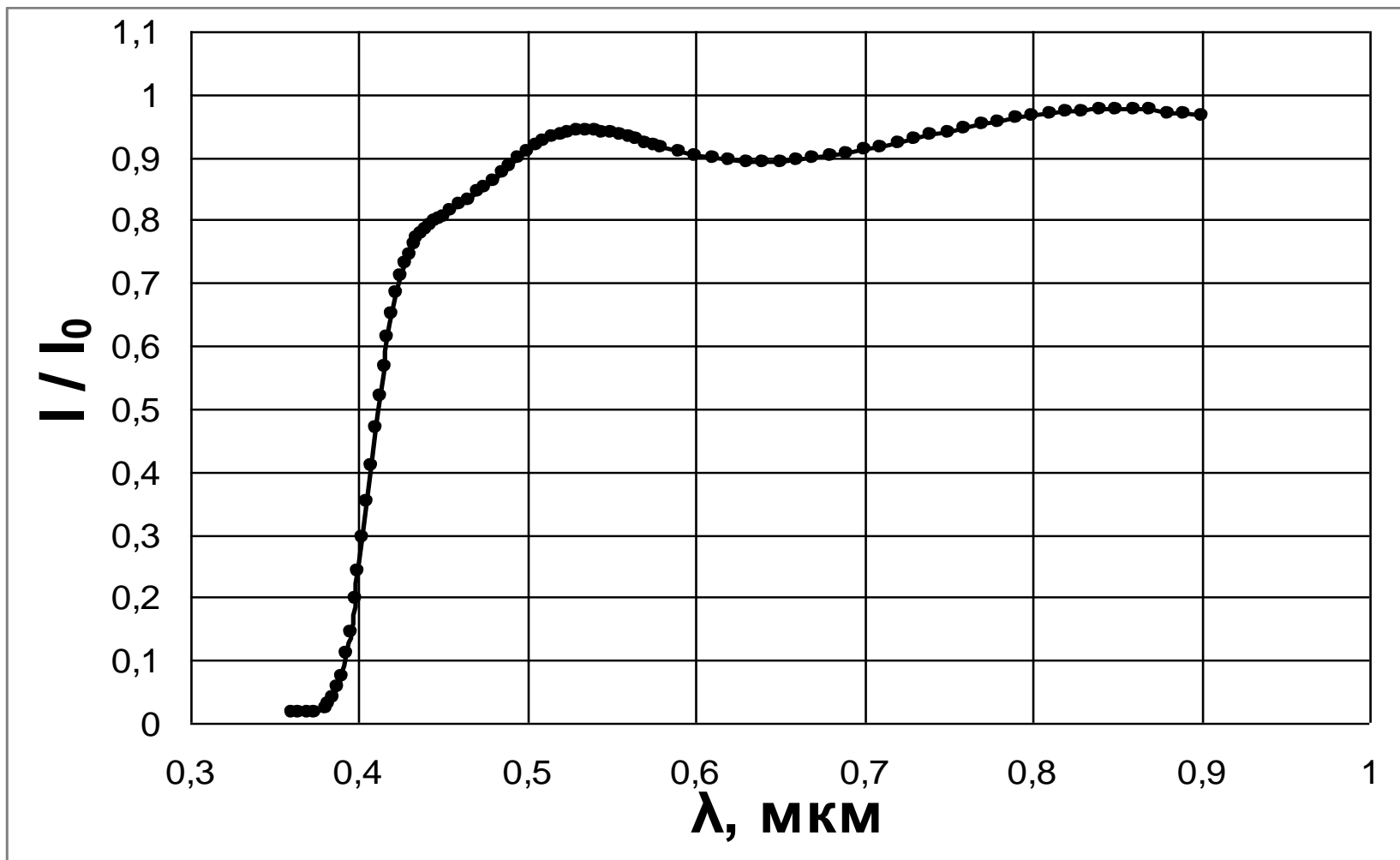


Рис. 23. Спектр пропускания образца № 6-ZnO(In) после проведения отжига в вакууме при температуре 500°C 20 минут.

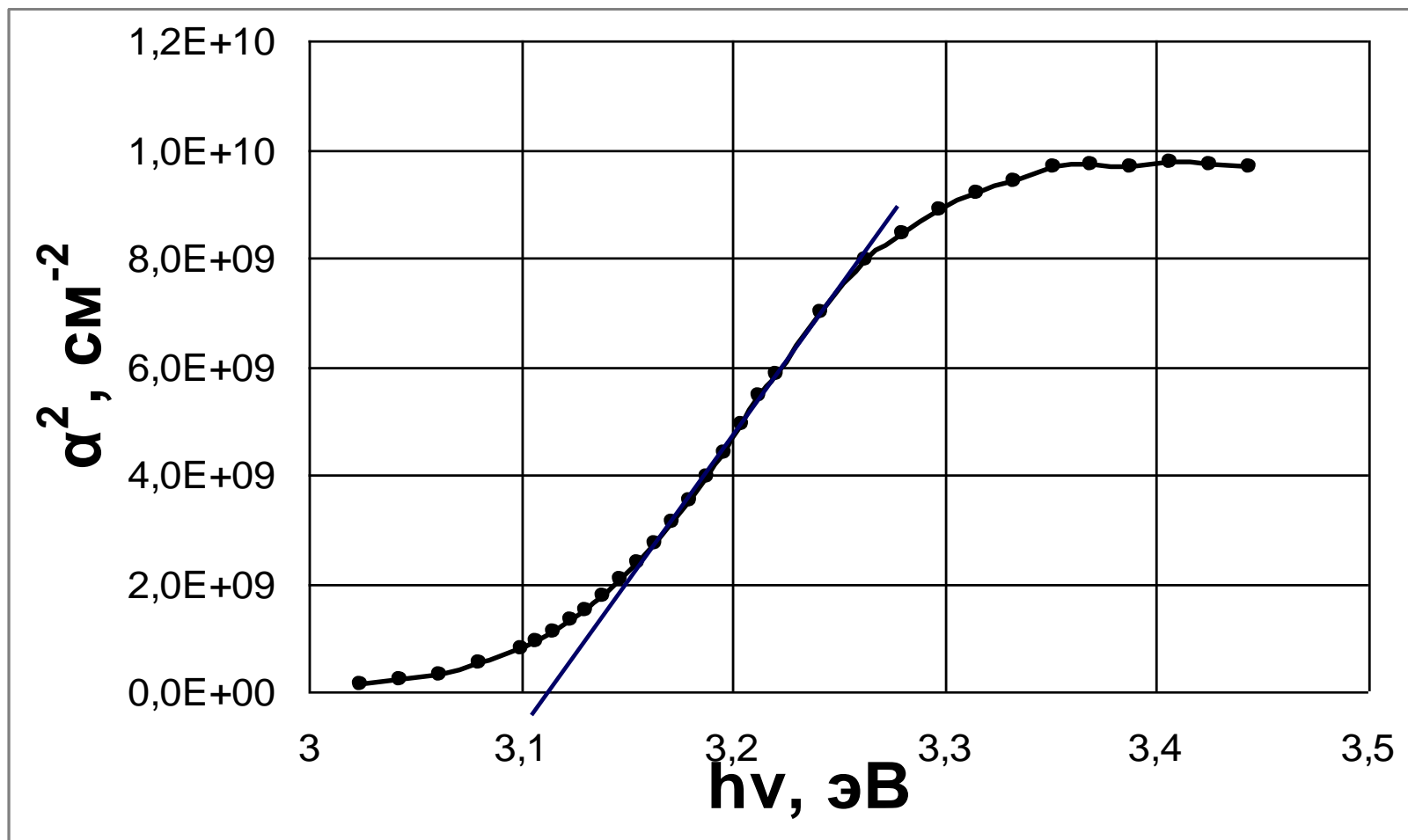


Рис. 24. Зависимость квадрата коэффициента поглощения образца № 6-ZnO(In) от энергии кванта.

Оптическая ширина запрещенной зоны после отжига: **$E_g = 3,12$ эВ**

Разница (до и после отжига) **$\Delta = 0,09$ эВ**

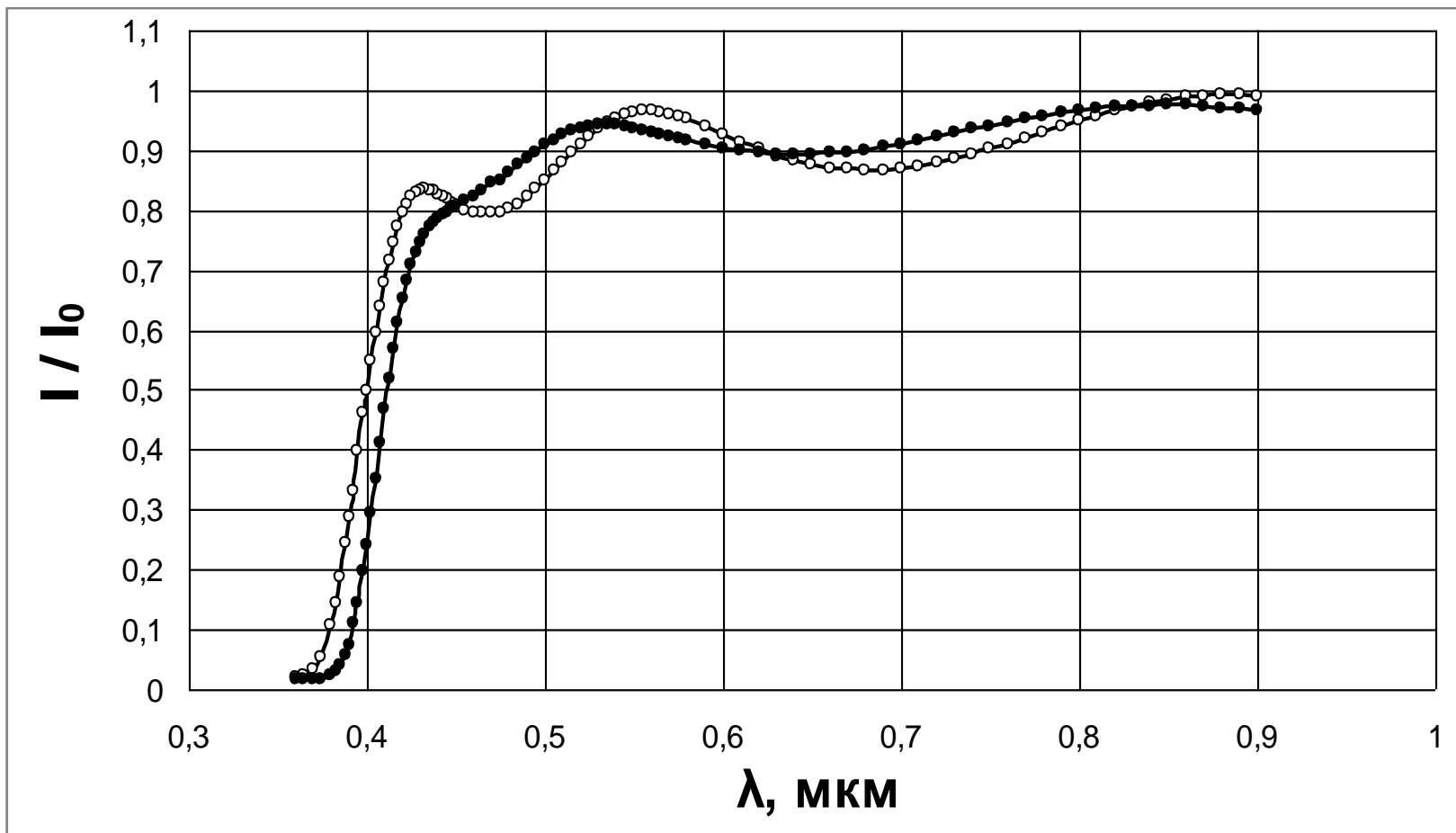


Рис. 25. Сравнение спектров пропускания образца № 6-ZnO(In):

- — до отжига
- — после отжига

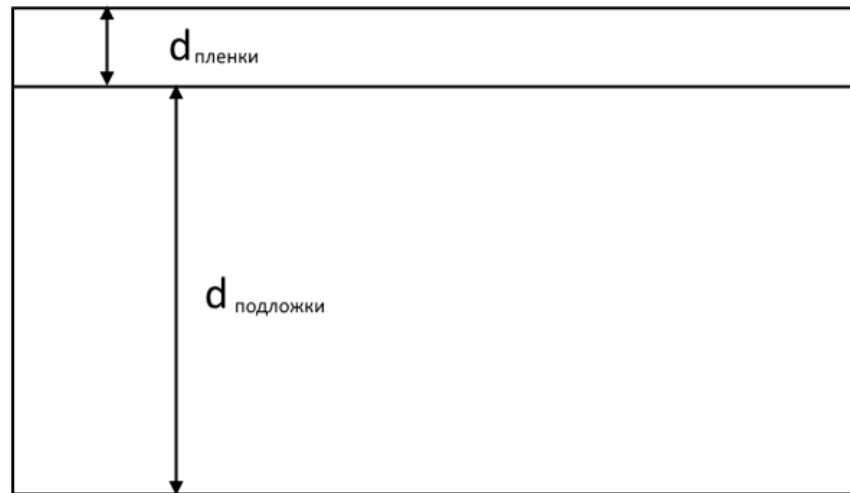
Таблица 3

Сравнение ширины запрещенной зоны до и после проведения отжига пленок ZnO(In)

	E_g до отжига, эВ	E_g после отжига, эВ	Δ, эВ
Образец № 1- ZnO(In)	3,22	не отжигался	
Образец № 2- ZnO(In)	3,22	не отжигался	
Образец № 3- ZnO(In)	3,22	не отжигался	
Образец № 4- ZnO(In)	3,22	3,1	0,12
Образец № 5- ZnO(In)	3,2	3,09	0,11
Образец № 6- ZnO(In)	3,21	3,12	0,09
Образец № 7- ZnO(In)	3,22	3,1	0,12

Обсуждение

В результате исследований было выяснено, что при отжиге плёнок оксида цинка, легированного индием в воздухе и в вакууме, оптическая ширина запрещенной зоны пленок уменьшается на $\sim 0,1$ эВ.



$$d_{\text{пленки}} \ll d_{\text{подложки}}$$

Заключение

В данной работе:

- 1) сделан литературный обзор, посвященный исследованию оптических свойств тонких пленок ZnS и ZnO;
- 2) представлены: техника изготовления тонких пленок ZnS и ZnO, методика изготовления экспериментальных образцов и методика исследования оптических свойств изготовленных пленок, а также полученные результаты исследований и их обсуждение.
- 3) изготовлены тонкие пленки ZnS с различными толщинами на стеклянных подложках методом термовакуумного испарения; изготовлены тонкие пленки ZnO(In) с различными толщинами на стеклянных подложках методом реактивного магнетронного распыления;
- 4) исследованы оптические свойства тонких пленок сульфида цинка ZnS и пленок оксида цинка, легированного индием ZnO(In):
 - измерены спектры пропускания тонких пленок диапазоне длин волн 0,35-0,9 мкм;
 - определена оптическая ширина запрещенной зоны пленок;
 - исследовано влияние высокотемпературного отжига в воздухе и вакууме пленок сульфида цинка (ZnS) и оксида цинка, легированного индием, (ZnO(In)) на оптические свойства этих пленок.

Спасибо за внимание!