

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРИМЕСНЫХ И СОБСТВЕННЫХ ДЕФЕКТОВ В ZnSe : Ag⁺ ПРИ ИЗОХРОННЫХ ОТЖИГАХ

А.Н. Георгобиани, З.П. Илюхина, Л. С. Лепнев, И. Д. Муллабаев

Исследована фотолюминесценция (ФЛ) селенида цинка, имплантированного серебром, в зависимости от температуры послеимплантационного отжига. Наблюдается перераспределение интенсивности ФЛ, связанное с примесью серебра и собственными дефектами. Прослежена зависимость от температуры обработки проявления особенностей на экситонной линии с $\lambda_{\max} = 451,4$ нм, связываемых с внутризонными резонансами.

Получение селенида цинка с заданными оптическими и электрическими свойствами, необходимого для оптоэлектроники, тесно связано с вопросами изучения взаимодействия примесных и собственных дефектов и их участия в формировании оптически и электрически активных центров. В настоящей работе исследовано влияние дозы имплантации серебра и температуры отжига на формирование центров люминесценции в селениде цинка.

В качестве исходных использовались монокристаллы n-ZnSe, выращенные из паровой фазы и отожженные в жидком цинке, с удельным сопротивлением 1–20 Ом·см. Ионная имплантация серебра производилась при энергии 300 кэВ и дозах $D = 10^{14} - 3 \cdot 10^{15}$ см⁻². Послеимплантационный отжиг проводился в течение 15–20 минут в атмосфере аргона при температурах 300–750 °С. Возбуждение фотолюминесценции (ФЛ) осуществлялось лазером ЛГИ-21 ($\lambda = 337,1$ нм, средняя мощность 2,5 мВт).

Сравнение спектров ФЛ образцов при $T = 10$ К после проведения указанных обработок с ФЛ ZnSe, имплантированного ионами аргона /1/, показало, что при введении серебра образуются полосы ФЛ с $\lambda_{\max} = 443,6; 451,4$ и 556 нм. Типичный спектр ФЛ ZnSe : Ag⁺ при дозе имплантации $5 \cdot 10^{14}$ см⁻² и температуре отжига 500 °С представлен на рис. 1. Обозначения полос ФЛ соответствуют принятым в литературе /2/. Связанная с серебром /2, 3/ полоса ФЛ с $\lambda_{\max} = 556$ нм не изменяет своего спектрального положения при варьировании температуры отжига в интервале 300–750 °С. В то же время, как показано при исследовании образцов, имплантированных ионами аргона /1/, ФЛ в этой области спектра, связанная с собственными дефектами неустойчива, т.е. ее максимум смещается по своему спектральному положению в зависимости от температуры отжига.

Температурное гашение полосы 556 нм представлено на рис. 2а. Имеются две энергии активации температурного гашения: 0,42 и 0,036 эВ, что дает основание для предположения о донорно-акцепторном характере рекомбинации при низких температурах. При этом энергия 0,42 эВ соответствует акцептору Ag_{Zn} /2, 4/, а 0,036 эВ – преобладающему донору в донорно-акцепторной паре.

При повышении температуры отжига наблюдается рост интенсивности полосы 556 нм и уменьшение интенсивности полосы 630 нм. Отношение интенсивности этих полос в зависимости от температуры отжига при различных дозах имплантации представлено на рис. 2б. При больших дозах отношение растет быстрее.

Учитывая, что акцептор, ответственный за ФЛ с $\lambda_{\max} = 630$ нм, включает V_{Zn} /5/, можно связать рост отношения интенсивностей указанных полос при повышении температуры отжига с переходом Ag_i в положение Ag_{Zn}. Этот вывод подтверждается и уменьшением интенсивности экситона J_2^{Ag} , связанного с Ag_i /3, 6/, при повышении температуры отжига. Уменьшение интенсивности экситонной полосы J_2^{Ag} , как показано ниже, связано также с образованием комплексов Ag_i – Ag_{Zn}.

При температурах отжига выше 600 °С в полосе ФЛ Ag_i⁰ ($\lambda_{\max} = 451,4$ нм, рис. 3) проявляются низкоэнергетические фононы с энергиями 2,7; 5,0 и 8,3 мэВ. Так как они наблюдаются в спектрах кристаллов, обработанных при температурах, соответствующих относительно сильному отжигу радиационных дефек-

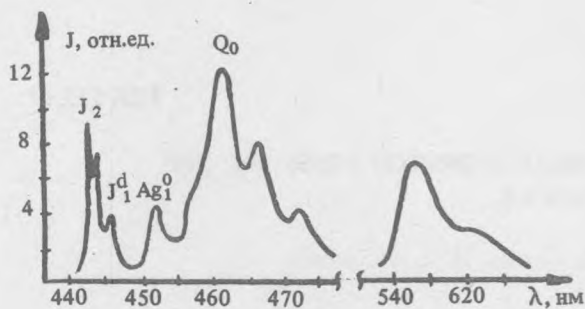


Рис. 1. Спектр ФЛ ZnSe:Ag⁺ при T = 10 К.

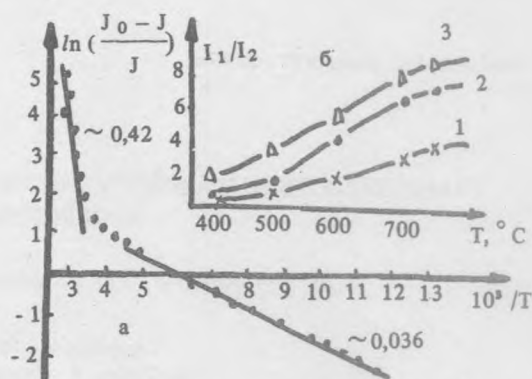


Рис. 2 а) Термическое гашение полосы ФЛ ZnSe:Ag⁺ с $\lambda_{\max} = 556$ нм. б) Зависимость отношения интенсивности ФЛ с $\lambda_{\max} = 556$ нм (I_1) к ФЛ с $\lambda_{\max} = 630$ нм (I_2) от температуры отжига для доз: 10^{14} см⁻² (1), $5 \cdot 10^{14}$ см⁻² (2), $3 \cdot 10^{15}$ см⁻² (3).

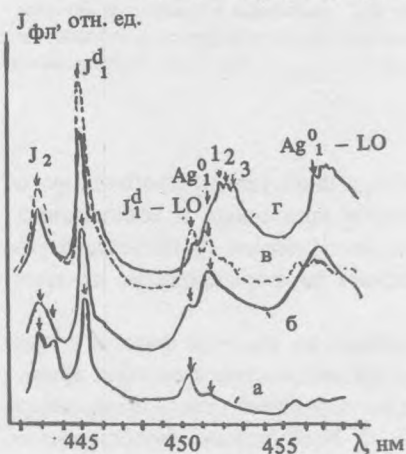


Рис. 3. Спектры ФЛ ZnSe:Ag⁺ в экситонной области спектра в зависимости от температуры отжига: 400 °С (а), 500 °С (б), 600 °С (в), 700 °С (г).

тов /1/, то можно сделать предположение об их чувствительности к несовершенству кристалла. Эти фононы вероятно являются внутризонными резонансными модами, так как последние возникают при введении тяжелого металла /7/ и чувствительны к несовершенству кристаллической структуры /8, 9/. Отметим, что в работе /2/ наблюдались внутризонные резонансные моды этой экситонной линии ($\lambda_{\max} = 451,4$ нм) с энергией, близкой к 2 мэВ, а в /3/ — 2,2 и 8,7 мэВ. Наличие в наших кристаллах трех резонансных мод свидетельствует о сложной структуре центра, ответственного за экситонную люминесценцию с $\lambda_{\max} = 451,4$ нм, и указывает на его связь не с одиночным атомом серебра /7/, а с комплексом дефектов, возможно $Ag_i - Ag_{Zn}$.

Авторы благодарны А. В. Спицину за проведение ионной имплантации образцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Георгобиани А. Н. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 2, 55 (1984).
2. Dean P. J., Fitzpatrick B. J., Bhargawa R. N. Phys. Rev. B, 26, 2016 (1982).
3. Holtz P. O., Monemar B., Lozykowski H. J. Phys. Rev. B, 32, 986 (1985).
4. Георгобиани А. Н. и др. Тезисы докладов XI Всесоюзного совещания "Физика, химия и технология люминофоров", ч. 1, 39, Ставрополь, 1989.
5. Canvenett V. C., Davies J. J. J. Phys. C. (GB), 13, 6409 (1980).
6. Swaminathan Y., Greene L. C. J. Lumines., 14, 357 (1976).
7. Стоунхэм А. М. Теория дефектов в твердых телах, т. 1., М., Мир, 1978.
8. Nolt J. G., Sievers A. J. Phys. Rev., 174, 1004 (1968).
9. Clayman B. P., Nolt J. G., Sievers A. J. Phys. Rev. Lett., 19, 111 (1967).

Поступила в редакцию 8 января 1990 г.