

ВЛИЯНИЕ ИЗОХРОННЫХ ОТЖИГОВ НА ФОТОЛУМИНЕСЦЕНЦИЮ МОНОКРИСТАЛЛОВ СЕЛЕНИДА ЦИНКА, ИМПЛАНТИРОВАННЫХ Ag^+

А. Н. Георгобяни, Е. Зада-Ули, И. Д. Муллабаев,
Б. Н. Леонович, Н. В. Сердик

УДК 535.37

Показано, что ФЛ селенида цинка в "зеленой" области спектра определяется наличием вакансий цинка, вызванных ионной имплантацией Ag^+ . Обнаружен сдвиг максимума "зеленой" ФЛ в длинноволновую область при температурах термообработки $\geq 400^\circ C$. Установлено, что сильный отжиг радиационных дефектов в селениде цинка происходит при температурах $> 650^\circ C$.

Развитие технологии ионного легирования привело к появлению большого количества работ, посвященных изучению влияния внедренной примеси и послеимплантационной термообработки на люминесцентные и электрофизические свойства полупроводниковых материалов.

Что касается селенида цинка, то имеются сообщения о ионном легировании этого материала примесями I-й, III-й и V-й групп /I, 2, 3/. Однако практически отсутствуют сведения о процессах образования и заживания радиационных дефектов и их влиянии на люминесценцию селенида цинка.

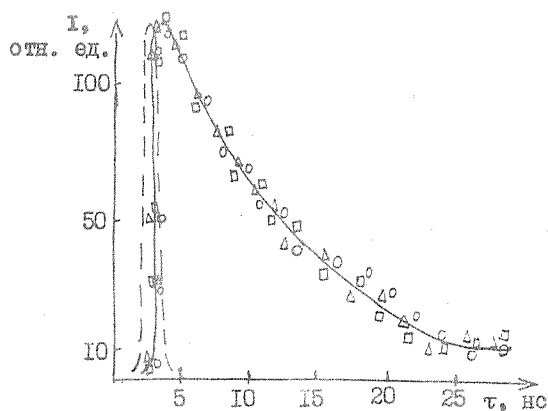
В данной работе представлены результаты исследования фотолюминесценции (ФЛ) монокристаллов $ZnSe$ после имплантации ионов Ag^+ с энергией $E \sim 300$ кэВ и дозой $D \sim 10^{15} \text{ см}^{-3}$.

В качестве исходного материала выбран низкоомный селенид цинка ($\rho \sim 1 - 10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$), полученный в результате отжига в жидком цинке монокристаллов, выращенных из расплава. ФЛ исследовалась при $T \sim 77$ К по методике, описанной в /4/. Спектр ФЛ исходных образцов представлен тремя полосами с максимумами при

$\lambda_{\text{max}} = 445$ нм, 460 и 590 – 600 нм. Полоса с максимумом 445 нм приписывается /5/ аннигиляции связанных экситонов, полоса с максимумом ~ 460 нм – рекомбинации свободного электрона и локализованной дырки /6/, а полоса $\lambda_{\text{max}} \sim 590 - 600$ нм считается самоактивированной полосой люминесценции (САЛ) и обусловлена комплексным центром, в состав которого входит донор и вакансия цинка /7/.

После имплантации, перед проведением отжига поверхность кристалла закрывалась защитной пленкой Al_2O_3 , препятствующей массообмену с атмосферой.

Каждый образец подвергался последовательно 7 – 8 отжигам от температуры 350 °С или 450 °С до 700 °С либо 750 °С. Температура каждого последующего отжига была на 50 °С выше температуры предыдущего. Длительность всех отжигов равнялась 15 мин. Сразу после имплантации (до отжигов) люминесценция в области края основной полосы поглощения, характерная для исходных образцов, гаснет, с другой стороны появляется слабая полоса с $\lambda_{\text{max}} \sim 580$ нм.

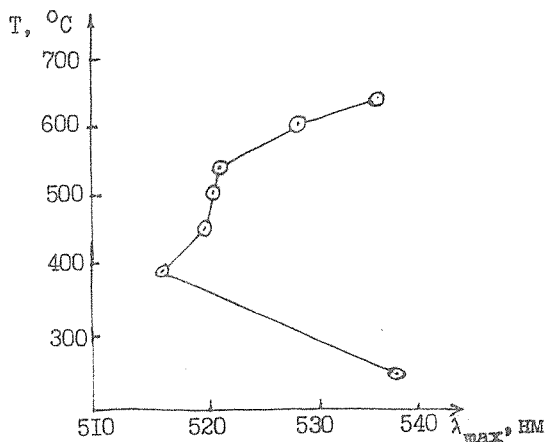


Р и с. 1. Импульс ФЛ при $\lambda = 510$ нм (□), 530 нм (△), 520 нм (○), 445 нм (- - -)

После отжига при $T = 350$ °С в спектре ФЛ появляются полосы $\lambda_{\max} = 460$ нм, 540 нм и 590 нм. 400-градусный отжиг приводит к уменьшению интенсивности полосы 460 нм (спад в 2,3 раза) и росту (≈ 3 раза) полосы САЛ, максимум которой смещается к 600 нм.

После отжига при $T = 450$ °С интенсивность полосы с максимумом ~ 460 нм падает еще примерно в 2 раза, аналогично ведет себя полоса с $\lambda_{\max} = 600$ нм. Смещается максимум и "зеленой" полосы ФЛ, теперь он находится при $\lambda_{\max} \approx 520$ нм. Отжиг при температуре 500 °С почти не отражается на интенсивности полосы 460 нм, в то время как интенсивность полосы с максимумом ≈ 520 нм растет в 6 - 7 раз, а 620 нм примерно в 3 раза. Наконец, при $T_{\text{отж}} = 550$ °С спектр ФЛ представлен одной полосой с максимумом ≈ 520 нм, интенсивность которой возросла еще в 4,5 раза.

В работе /4/ нами исследовалось влияние различных неравно-весных термообработок на ФЛ и проводимость поверхностного слоя ZnSe. Полоса $\lambda_{\max} \approx 520$ нм наблюдалась после 10 - 15 минутной термообработки при 450 - 500 °С монокристалла ZnSe в атмосфере гелия, в насыщенных парах селена и в вакууме. Возникновение этой полосы сопровождается инверсией типа проводимости в приповерхностном слое образца. В /4/ сделано предположение, что "зеленая" ФЛ связана с наличием V_{Zn} . Это подтверждается тем, что имплантация ионов As^+ приводит к увеличению интенсивности этой полосы (увеличивается концентрация V_{Zn}), а у кристаллов, обработанных в парах, либо в расплаве цинка, ФЛ в этой области полностью отсутствует. В настоящей работе исследовалась кинетика ФЛ ZnSe в "зеленой" области (рис. 1). Интенсивность ФЛ уменьшается в 2,7 раза за 10 - 15 нс. Это свойственно процессам рекомбинации, проходящим на центрах. Кривые затухания импульса ФЛ на коротковолновом, длинноволновом крыльях и в максимуме полосы с $\lambda_{\max} \sim 520$ нм сходны, что является свидетельством в пользу элементарности этой полосы. Излучение в полосе $\lambda_{\max} = 445$ нм затухает быстрее. Импульс свечения повторяет лазерный импульс, которым осуществлялось возбуждение ФЛ. Короткие времена затухания ($\tau \sim 1$ нс) ФЛ в этой полосе не противоречат данным по временам аннигиляции экситонов.



Р и с. 2. Зависимость положения максимума "зеленой" ФЛ (при 77 К) от температуры термообработки

После отжига при 550 °С спектр ФЛ был представлен одной полосой с $\lambda_{max} \sim 520$ нм. Отжиг при 600 °С приводит к падению "зеленой" полосы ФЛ в 2,5 раза. При 650 °С в спектре ФЛ снова появляется полоса с максимумом в области $\lambda \sim 445$ нм. Максимум "зеленой" полосы смещается к 525 нм, а интенсивность падает в 1,5 раза. Отжиг при $T = 700$ °С приводит к росту полосы с $\lambda_{max} = 445$ нм в 2,7 раза, а "зеленая" полоса уменьшается в 2,5 раза. Ее максимум опять претерпевает сдвиг к $\lambda = 530$ нм.

При 740 °С наблюдался рост полосы с $\lambda_{max} \sim 445$ нм в 10 - 15 раз, а интенсивность "зеленой" ФЛ падала в 2 раза. Ее максимум смещается к $\lambda = 540$ нм. Рис. 2 иллюстрирует поведение максимума "зеленой" ФЛ селенида цинка в зависимости от температуры отжига. При температурах термообработки ≥ 400 °С наблюдается сдвиг в длинноволновую область.

Обратная сторона кристалла пленкой не закрывалась. Полосы на неимплантированной стороне вели себя так же, как и на имплантированной, с той лишь разницей, что их появление и исчезновение "опаздывало" на 50 °С - 100 °С по отношению к имплантированной стороне.

Из приведенных выше результатов видно, что собственные радиационные дефекты играют важную роль в ФЛ селенида цинка. Возникает "зеленая" полоса, обусловленная наличием в кристалле значительной концентрации вакансий цинка. Если критерием отжига считать появление в спектре ФЛ экситонных полос, то можно оценить температуру, при которой происходит сильный отжиг радиационных дефектов. В нашем случае излучение с максимумом $\lambda \sim 445$ нм вновь появлялось после термообработки при $T \sim 650$ °С.

Поступила в редакцию
9 декабря 1983 г.

Л и т е р а т у р а

1. Y. S. Park, P. M. Hemenger, C. H. Chung, Appl. Phys. Lett., 18, 43 (1971).
2. B. K. Shin, Y. S. Park, P. C. Look, Appl. Phys. Lett., 24, 433 (1974).
3. А. Н. Георгобнани, М. Б. Котляревский и др., Краткие сообщения по физике ФИАН № 6, 30 (1977).
4. Ю. В. Бочков, А. И. Георгобнани и др., Краткие сообщения по физике ФИАН № 8, 22 (1983).
5. J. L. Merz et al., Phys. Rev., 136, 545 (1972).
6. P. J. Dean, J. L. Merz, Phys. Rev., 178, 1310 (1969).
7. M. Yamaguchi, A. Yamamoto, M. Kondo, J. Appl. Phys., 48, 196 (1977).