

06;07;12

Воздействие импульсных магнитных полей на тонкие слои $\text{Cd}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{S}$

© М.Н. Левин, В.Н. Семенов, Ю.В. Метелева

Воронежский государственный университет
E-mail: levin@lev.vsu.ru

Поступило в Редакцию 23 октября 2000 г.

Экспериментально установлено, что кратковременные воздействия импульсных магнитных полей с индукцией $B < 1$ Т приводят к устойчивому повышению интенсивности люминесценции тонких пленок $\text{Cd}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{S}$, полученных пиролизом аэрозолей водных растворов тиокарбамидных комплексов металлов на нагретых подложках.

Тонкие пленки сульфидов металлов системы CdS-ZnS , получаемые пиролизом аэрозолей водных растворов тиокарбамидных комплексов металлов на нагретых подложках (метод термической пульверизации [1]), интересны тем, что способны к люминесценции в видимой области спектра при комнатной температуре [2,3]. Потребности практического использования таких пленок стимулируют поиск способов повышения интенсивности их свечения.

Недавно был обнаружен эффект многократного усиления электролюминесценции монокристаллов ZnS в результате воздействия на них одиночных импульсов магнитного поля с индукцией $B = 7$ Т [4] и $B = 24$ Т [5]. Однако повышенная интенсивность люминесценции релаксировала со временем (в течение десятков часов) к исходному уровню.

С другой стороны, ранее была установлена способность более слабых импульсных магнитных полей ($B < 1$ Т) необратимым образом воздействовать на примесно-дефектную структуру полупроводниковых кристаллов $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ [6], Cz-Si [7] и $\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{VI}}$ [8], к последним из которых относятся пленки системы CdS-ZnS .

Целью настоящей работы явилось исследование воздействия импульсных магнитных полей на люминесцентные свойства тонких пленок $\text{Cd}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{S}$, полученных пульверизацией водных растворов тиокарбамидных комплексов Cd и Zn на нагретые подложки.

Исследовались слои $\text{Cd}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{S}$ толщиной $0.1\text{--}0.5\ \mu\text{m}$, сформированные на подложках из ситалла пульверизацией водного раствора тиокарбамидных комплексов $[\text{Cd}(\text{N}_2\text{H}_4\text{CS})_2\text{Cl}_2]$ и $[\text{Zn}(\text{N}_2\text{H}_4\text{CS})_2\text{Cl}_2]$ при температуре подложки $T \sim 600\ \text{K}$. Воздействие импульсных магнитных полей на сформированные структуры осуществлялось сериями однополярных треугольных импульсов магнитного поля с амплитудой, варьируемой в пределах $B = 0.2\text{--}0.6\ \text{T}$, длительностью $\tau = 2 \cdot 10^{-5}\ \text{s}$ и частотой следования $t_0 = 2 \cdot 10^{-2}\ \text{s}$. Число воздействующих импульсов магнитного поля задавалось в интервале до $N = 3000$. Обработка проводилась на воздухе при $T = 300\ \text{K}$ и в парах азота при $T = 77\ \text{K}$.

Люминесценция пленок возбуждалась азотным лазером ЛГ-21 с длиной волны $\lambda = 334\ \text{nm}$ и измерялась на автоматизированном комплексе КСВУ с монохроматором МДР-24. Спектры фотолюминесценции регистрировались до обработки пленок импульсным магнитным полем, через час после обработки и далее через каждые 24 h.

Основной эффект представлен экспериментальными спектрами люминесценции на рис. 1. Кратковременное воздействие импульсного магнитного поля на пленки $\text{Cd}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{S}$ приводило к долговременному повышению интенсивности люминесценции без изменения характера спектра.

Зависимость максимального значения интенсивности люминесценции от времени после магнитного воздействия приведена на рис. 2.

Существенный результат заключается в том, что воздействие импульсного магнитного поля на пленки $\text{Cd}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{S}$ вызывает необратимое повышение интенсивности фотолюминесценции. Этим обнаруженный эффект принципиально отличается от наблюдавшегося в [4,5] временно-го повышения интенсивности электролюминесценции кристаллов ZnS после воздействия однократного импульса магнитного поля высокой напряженности. Эффект повышения интенсивности люминесценции усиливался пропорционально числу воздействовавших импульсов магнитного поля, на слабо зависел от их амплитуды. Разброс значений на рис. 2 соответствует результатам, полученным для обработок с амплитудой импульсов, менявшейся в указанном выше интервале.

Воздействие импульсного магнитного поля при температуре жидкого азота не вызывало изменения интенсивности люминесценции.

Полученные результаты могут быть предположительно интерпретированы следующим образом. Сохранение спектрального положения максимума полосы люминесценции свидетельствует о том, что в результате

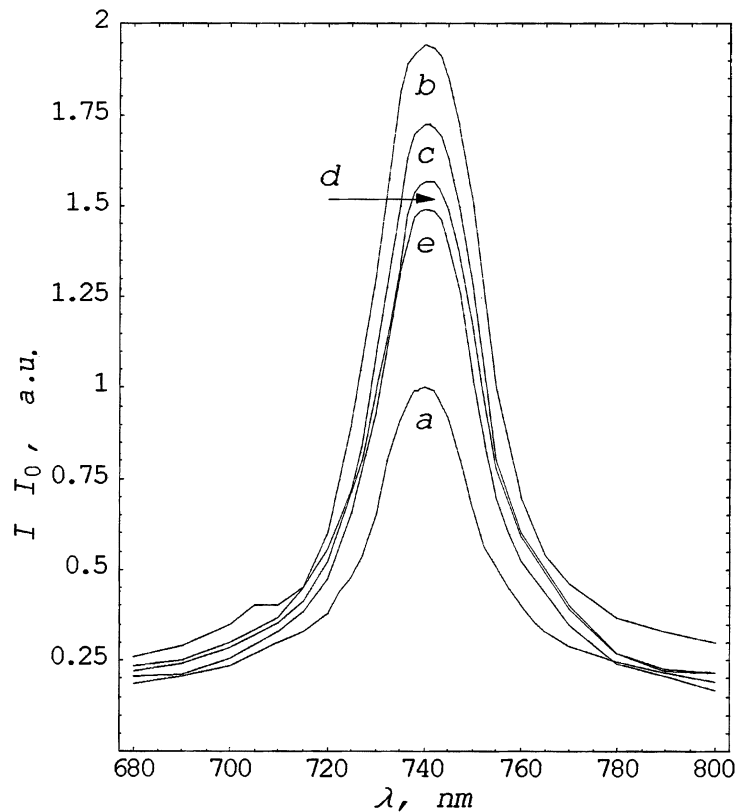


Рис. 1. Спектры фотолюминесценции пленок $\text{Cd}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{S}$: *a* — исходные; *b* — через час после обработки; *c*, *d*, *e* — через 24, 48, 164 h. Режим обработки: $B = 0.6 \text{ T}$, $\tau = 2 \cdot 10^{-5} \text{ s}$, $t_0 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ s}$, $N = 2000$.

импульсного магнитного воздействия природа центров люминесценции не изменилась.

Считается, что максимум люминесценции пленок $\text{Cd}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{S}$ в спектральной полосе $\lambda \sim 730\text{--}750 \text{ nm}$ обусловлен наличием атомов кислорода O, замещающих атомы серы S в узлах кристаллической решетки [9].

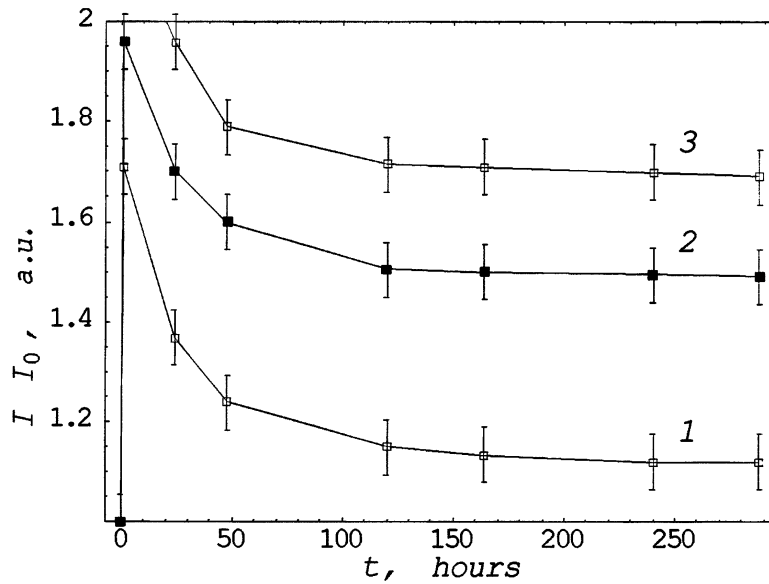


Рис. 2. Зависимость максимальной интенсивности люминесценции пленок $\text{Cd}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{S}$, нормированной на исходную интенсивность. Режимы обработки: $B = 0.2 - 0.6 \text{ T}$, $\tau = 2 \cdot 10^{-5} \text{ s}$, $t_0 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ s}$. $N = 1000, 2000, 3000$ для зависимостей 1, 2, 3.

Тонкие слои $\text{Cd}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{S}$, полученные пиролизом аэрозоля на воздухе, неизбежно обогащены кислородом, часть которого замещает серу в узлах кристаллической решетки и обеспечивает исходный уровень интенсивности люминесценции, а часть находится в междоузлиях или в составе каких-либо метастабильных дефектных комплексов. Можно предположить, что воздействие импульсного магнитного поля на пленки $\text{Cd}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{S}$ инициирует распад исходных кислородсодержащих дефектных комплексов с освобождением атомарного кислорода или выход атомов кислорода из междоузельного положения. Часть высвободившихся атомов кислорода может занять вакантные узлы решетки, создавая тем самым дополнительные центры люминесценции в пленках, обработанных импульсным магнитным полем.

Подобный эффект индуцированного импульсным магнитным полем образования кислородно-вакансионных центров наблюдался ранее в кристаллах кремния, выращенных из расплава по методу Чохральского (Cz-Si) и также обогащенных кислородом [7]. В качестве стартового механизма воздействия импульсного магнитного поля на дефектную структуру кристалла Cz-Si рассматривалось ослабление молекулярной связи Si-O за счет неравновесного заселения ее метастабильного термина [7,10].

Возможным механизмом распада исходных дефектных комплексов в пленках $Cd_{0.5}Zn_{0.5}S$ может быть снятие в магнитном поле спиновых запретов на электронные переходы в мультиплетные состояния, которым отвечает меньшая прочность молекулярных связей. Такое возбуждение молекулярных связей может способствовать их разрыву в результате теплового воздействия решетки. Вероятность такого разрыва возрастет при многократном повторении воздействия импульсов магнитного поля.

Экспериментально наблюдавшаяся зависимость эффекта от числа импульсов и отсутствие эффекта при обработке пленок импульсным магнитным полем при температуре жидкого азота свидетельствуют в пользу предполагаемого механизма.

Долговременная релаксация интенсивности люминесценции после ее начального увеличения до нового устойчивого уровня (рис. 2) может быть обусловлена потреблением части образовавшихся центров люминесценции в процессах вторичного дефектообразования, скорость которых лимитируется диффузионной стадией, медленной при комнатной температуре.

Таким образом, экспериментально установлено, что кратковременное воздействие относительно слабых (< 1 Т) импульсных магнитных полей приводит к существенному и устойчивому повышению интенсивности фотолюминесценции тонких пленок $Cd_{0.5}Zn_{0.5}S$, формируемых пиролизом водных растворов тиокарбамидных комплексов металлов на воздухе. Обнаруженный эффект может быть использован для повышения качества тонких люминесцирующих слоев системы CdS-ZnS.

Список литературы

- [1] *Pawlowski L.* The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings. Chichester UK: Wiley, 1995.
- [2] Семенов В.Н., Клоев В.Г., Кушник М.А. и др. // Журн. прикладной спектроскопии. 1993. Т. 59. В. 1–2. С. 114–119.
- [3] Семенов В.Н., Остапенко О.В., Лукин А.И. и др. // Неорганические материалы. 2000. Т. 36. В. 2. С. 1–4.
- [4] Головин Ю.И., Моргунов Р.Б., Баскаков А.А. и др. // ФТТ. 1999. Т. 41. В. 11. С. 1944–1947.
- [5] Головин Ю.И., Моргунов Р.Б., Баскаков А.А. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1999. Т. 69. В. 2. С. 114–118.
- [6] Давыдов В.Н., Лоскутова Е.А., Найден Е.П. // ФТП. 1989. Т. 23. В. 9. С. 1596–1600.
- [7] Левин М.Н., Зон Б.А. // ЖЭТФ. 1997. Т. 111. В. 4. С. 1373–1397.
- [8] Власов В.П., Заитов Ф.А., Каневский В.М. и др. // ФТТ. 1992. Т. 34. В. 10. С. 3264–3265.
- [9] Голубева Н.П., Фок М.В. // Журн. прикл. спектроскопии. 1972. Т. 17. В. 2. С. 261–268.
- [10] *Levin M.N., Zon B.A.* // Phys. Letters. A. 1999. V. 260. P. 386–390.