

- [1] Wronski C. R. // Sol. St. Techn. 1988. V. 31. N. 6. P. 113—117.
 [2] Shimizu T., Kidoh H., Morimoto A., Kumeda M. // Japan. J. Appl. Phys. 1989. V. 28. N. 4. P. 586—592.
 [3] Vanecek M., Kocka J., Stuchlik J., Triska A. // Sol. St. Commun. 1981. V. 39. N. 11. P. 1199—1202.
 [4] Swanepoel R. // J. Phys. E: Sci. Instr. 1983. V. 16. N. 12. P. 1214—1222.
 [5] Vanecek M., Kocka J., Stuchlik J., Kozicek Z, Stuka O., Triska A. // Sol. Energy Mater. 1983. V. 8. N. 4. P. 411—423.
 [6] Samuelson G. M., Mar K. M. // J. Electrochem. Soc. 1982. V. 129. N. 8. P. 1773—1778.
 [7] Herak T. V., McLeod R. D., Kao K. C., Card K. C., Watanabe H., Katoh K., Yasui M., Shibata Y. // J. Non-Cryst. Sol. 1984. V. 69. N. 1. P. 39—48.
 [8] Branz H. M., Silver M. // J. Non-Cryst. Sol. 1989. V. 114. PT. 2. P. 639—641.

Московский институт
электронной техники

Получено 12.05.1991
Принято к печати 19.06.1991

ФТП, том 25, вып. 11, 1991

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ПРИМЕСНЫХ ЦЕНТРОВ Eu И Mn В МОНОКРИСТАЛЛАХ $Ga_2S_3(Se_3)$

Аскеров И. М., Айдаев Ф. Ш., Асланов Г. К.,
Мастеров В. Ф., Тагиев Б. Г.

Примесные состояния в дефектных кристаллах типа $A_3^{III}B_2^{VI}$ мало изучены. В литературе имеются противоречивые данные относительно поведения примесных состояний Sn в кристаллах In_2Te_3 и Ga_2Te_3 [1, 2]. Нами исследовались примесные состояния редкоземельных и переходных элементов в других кристаллах $Ga_2S_3(Se_3)$ вышеуказанного типа [3—5]. В результате показано, что в отличие от полупроводников бездефектной структуры в соединениях $Ga_2S_3(Se_3)$

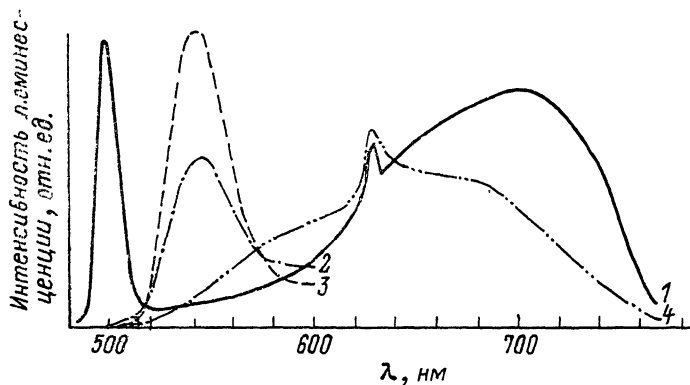


Рис. 1. Спектр люминесценции монокристалла Ga_2S_3 при 4.2 K (1).
2 — Ga_2S_3 < 3 % Eu, 3 — Ga_2S_3 < 5 % Eu, 4 — Ga_2S_3 < 0.1 % Mn.

европий не замещает атом решетки, а взаимодействует с вакансией, образуя «двойной» центр типа $(Eu^{2+} - V_{Ga^{2-}})^0$. Это может приводить к появлению энергетических уровней в запрещенной зоне, ответственных за люминесцентное излучение в области 0.54 мкм [6].

В настоящей работе приводятся результаты исследования природы примесных центров Eu и Mn в $Ga_2S_3(Se_3)$ и их люминесцентных свойств.

Синтез этих соединений проводился из элементов в стехиометрическом количестве по стандартной методике. Монокристаллы выращены методом Бриджмена (селениды) медленным охлаждением слитка при постоянном тем-

пературному градиенте и химическим газотранспортным реакциям (сульфиды), где в качестве переносчика служил иод.

Равновесное состояние контролировалось методами рентгенофлуоресцентного (РФА), микроструктурного (МСА) анализов и измерением микротвердости, элементарный химический состав образцов количественно определен атомно-адсорбционным методом.

Спектр нелегированных кристаллов Ga_2S_3 при температуре 4.2 К состоит из узкой высокоэнергетической полосы в области 490–510 нм и низкоэнергетической широкой полосы в области 580–780 нм (рис. 1, кривая 1). Широкая полоса не элементарна, на нее налагается узкая излучательная полоса в области 620–640 нм. Рост температуры приводит к исчезновению двух первых полос. При этом интенсивность полосы в области 620–640 нм практически не меняется, а, наоборот, немного возрастает. Исчезновение двух первых полос, по-видимому, обусловлено температурной дезактивацией примесных состояний, обуславливающих эти полосы. Третья полоса, возможно, обусловлена более глубокими локальными состояниями, что менее чувствительно к температурным изменениям.

Легирование кристаллов Eu приводит к полному тушению примесных полос и появлению европия в зеленой области (520–580 нм) спектра (рис. 1, кривые 2 и 3).

Исчезновение широких полос при легировании может быть обусловлено несколькими причинами: излучательной (или безызлучательной) передачей энергии от локализованных состояний к активаторным центрам, очисткой материала от неконтролируемых примесей при легировании редкоземельными элементами и залечиванием дефектной структуры кристалла. Излучательный перенос невозможен, так как высокоэнергетическая полоса с максимумом при 500 нм присутствует только при 4.2 К, тогда как полоса с максимумом при 545 нм, обусловленная разрешенными по четности внутрицентровыми переходами $4f^6 (F) 5d \rightarrow 4f^7 (S_{1/2}) Eu^{2+}$, существует и при высоких температурах.

Изучение состава полученных материалов с помощью атомно-адсорбционного метода и рентгенофлуоресцентного анализа показало, что материалы, активированные европием, содержат в меньшем количестве неконтролируемые примеси, чем неактивированные материалы. В активированных кристаллах часть неконтролируемых примесей уходит в шлак, образуя комплексы с европием.

Из концентрационной зависимости интенсивности излучения Eu^{2+} в Ga_2S_3 установлено, что при концентрациях 5 ат% Eu тушение еще не проявляет себя. Возможной причиной этого может быть частичный уход активатора в шлак.

Неактивированные кристаллы Ga_2Se_3 излучают в области 860–940 нм. При введении активатора Eu они излучают в области 540–620 нм, что обусловлено, как и в случае Ga_2S_3 , переходами $4f^6 (F) 5d \rightarrow 4f^7 (S_{1/2}) Eu^{2+}$ (рис. 2). Изучение температурной зависимости интенсивности излучения Eu^{2+} в Ga_2Se_3 и Ga_2S_3 показало, что тушение интенсивности в первом кристалле более слабое, чем во втором. Полоса излучения Eu^{2+} смещается примерно на 0.085 эВ в сторону высоких энергий при переходе от Ga_2Se_3 к Ga_2S_3 .

При легировании Ga_2S_3 марганцем (до 0.1 %) интенсивность излучения неактивированных кристаллов в области 588 нм уменьшается, в области 700 нм

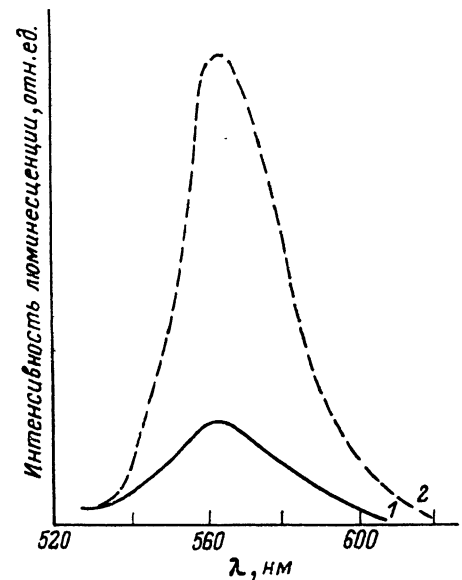


Рис. 2. Спектр люминесценции монокристаллов $Ga_2Se_3 < 3 \% Eu$.
Т, К: 1 — 77, 2 — 4.2.

уменьшается. При концентрациях выше 0.1 % Mn полоса в области 700 нм исчезает, усиливается полоса в области 628 нм и смещается в длинноволновую область спектра. Полоса в области 700 нм ярко проявляет себя также при $T = 4.2$ К в неактивированных кристаллах. По-видимому, эта полоса обусловлена мелкими локальными состояниями, которые с ростом температуры полностью высвобождаются. С ростом температуры от 77 до 300 К происходит сильное тушение люминесценции, при комнатной температуре свечение практически отсутствует.

Кристаллы $\text{Ga}_2\text{S}_3\langle\text{Eu}\rangle$ также светятся ярким зеленым свечением при их возбуждении постоянным и переменным электрическими полями. Были изучены полевая и частотная зависимости интенсивности электролюминесценции [7]. С ростом частоты f от 50 до 3500 Гц яркость свечения увеличивается, а при высоких частотах яркость не зависит от частоты.

Список литературы

- [1] Жузе В. П., Сергеева В. М., Шелых А. Н. // ФТТ. 1960. Т. 2. В. 11. С. 2558—2871.
- [2] Nasredinov F. S., Masterov V. F., Saidov C. S., Seregin P. P., Troitskya N., Tshirner H. U. // Phys. St. Sol. (a). 1988. V. 107. P. 291.
- [3] Askerov J. M., Aslanov G. K., Tagiev B. G., Mekhrabov A. O., Nakhmetov S. M. // Phys. St. Sol. (a). 1988. V. 105. N 2. P. K151—K154.
- [4] Аскеров И. М., Асламов Г. К., Насреддинов Ф. С., Тагиев Б. Г. // ФТП. 1989. Т. 23. В. 6. С. 1083—1087.
- [5] Аскеров И. М., Мастеров В. Ф., Романов В. В., Штельмах К. Ф. // ФТП. 1989. Т. 23. В. 7. С. 1305—1307.
- [6] Аскеров И. М., Кобелев В. Ф., Мастеров В. Ф., Тагиев О. Б., Штельмах К. Ф., Лихолит И. Л. // ФТП. 1989. Т. 23. В. 7. С. 1307—1309.
- [7] Вершагин И. К., Ковалев Б. А., Косяченко Л. А., Кокоев С. М. Электролюминесцентные источники света. М., 1990. 168 с.

Азербайджанский
инженерно-строительный институт
Баку

Получено 10.06.1991
Принято к печати 19.06.1991

ФТП, том 25, вып. 11, 1991

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФОСФОРА, СОЗДАННОГО В КРЕМНИИ ОБЛУЧЕНИЕМ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНЫМИ α -ЧАСТИЦАМИ

Горнушкина Е. Д., Дидик В. А., Козловский В. В., Малкович Р. Ш.

Наряду с традиционными методами легирования полупроводников — в процессе выращивания, посредством диффузии, путем ионной имплантации — все большее внимание привлекает в последнее время метод трансмутационного легирования. Обычно такое легирование осуществляется на тепловых нейтронах. Перспективным представляется использование для этой цели высокоэнергетичных заряженных частиц, в частности ядер гелия и протонов, что не только позволяет расширить круг легирующих примесей, но и в отличие от нейтронов, обладающих высокой проникающей способностью, дает возможность локального легирования материала. Указанная возможность была использована в настоящей работе для создания профиля примеси и исследования диффузионного перераспределения этой примеси в объеме кристалла.

Образцы монокристаллического кремния КЭФ-5 облучались α -частицами с энергиями $E = 12, 16$ и 20 мэВ дозой $\sim 10^{15}$ см $^{-2}$ на малогабаритном циклотроне МГЦ-20 при плотности тока 0.1 мкА/см 2 [1]. Облучение проводилось как при нормальном, так и при косом падении пучка (углы наклона к поверхности образца 18 и 6 град).

В результате ядерных реакций $^{29}\text{Si}(\alpha, p)^{32}\text{P}$ ($E_{\alpha} = 2.8$ МэВ), $^{30}\text{Si}(\alpha, p)^{33}\text{P}$ ($E_{\alpha} = 3.4$ МэВ) и $^{30}\text{Si}(\alpha, pn)^{32}\text{P}$ ($E_{\alpha} = 44.6$ МэВ, E_n — порог ядерной реакции)