

06;07

Спектры поглощения кристаллов нитрида галлия, легированных ионами эрбия

© В.В. Криволапчук, М.М. Мездрогина, С.Д. Раевский,
А.П. Скворцов, Ш.А. Юсупова

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург
E-mail: A.Skvortsov@pop.ioffe.rssi.ru

Поступило в Редакцию 30 ноября 2001 г.

Исследованы спектры оптического поглощения ионов Er^{3+} в объемных кристаллах GaN, выращенных методом газофазной эпитаксии в хлоридной системе. Эрбий был введен диффузионным способом. При 293, 77 и 2 К детально изучена область $^4\text{I}_{15/2} \rightarrow ^2\text{H}_{11/2}$ перехода, расположенная в интервале 518–527 nm. При 2 К спектр перехода $^4\text{I}_{15/2} \rightarrow ^2\text{H}_{11/2}$ состоит из 6 линий, что совпадает с теоретически возможным числом подуровней $^2\text{H}_{11/2}$ состояния иона Er^{3+} , находящегося в некубическом кристаллическом поле. Определены положения уровней $^2\text{H}_{11/2}$ -мультиплета: 2.360, 2.361, 2.365, 2.369, 2.379 и 2.386 eV. Количество линий при 2 К и их узость свидетельствуют о том, что ионы Er^{3+} занимают в кристаллах GaN преимущественно одну регулярную позицию. Наиболее вероятным представляется расположение эрбия в позиции галлия.

В последнее время активно исследуются полупроводники, легированные редкоземельными ионами (RE^{3+}), что обусловлено возможными применениями в светоизлучающих приборах. Одним из таких материалов, перспективных для создания лазеров и светодиодов, работающих в видимой и ультрафиолетовой областях спектра, является нитрид галлия. Особый интерес вызывает GaN с примесью Er^{3+} . Это связано с тем, что люминесценция эрбия ($1.54 \mu\text{m}$) расположена в спектральной области, соответствующей минимуму потерь энергии в световодах, используемых в устройствах волоконно-оптической связи. Однако до настоящего времени изучались лишь спектры электро-, катодо- и фотолюминесценции тонких кристаллических и аморфных пленок GaN, легированных ионами Er^{3+} . В настоящей работе представлены результаты исследования $f-f$ -спектров поглощения ионов Er^{3+} в кристаллах GaN.

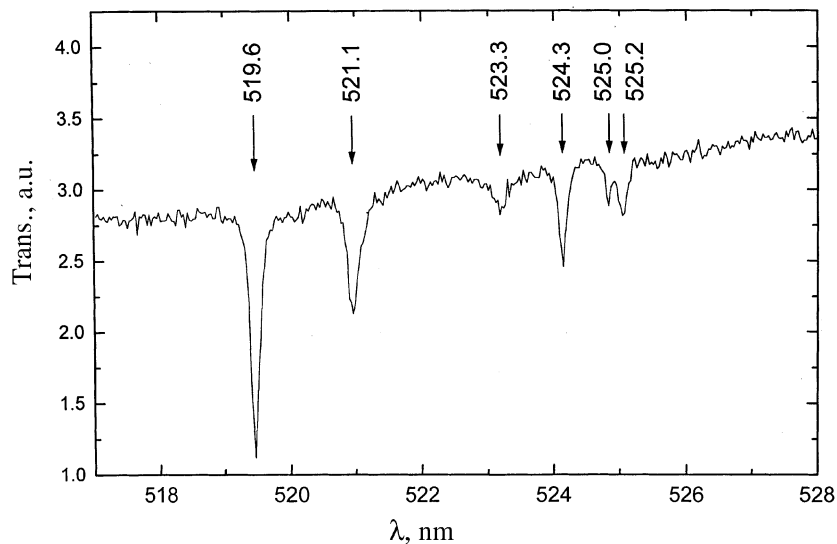


Рис. 1. Спектр пропускания GaN:Er^{3+} при 2 К в области перехода ${}^4\text{I}_{15/2} \rightarrow {}^2\text{H}_{11/2}$.

Исходные объемные кристаллы GaN (*n*-типа) толщиной 100–500 μm были выращены методом газовой эпитаксии в хлоридной системе на сапфировой подложке (0001). Легирующая примесь была введена путем диффузии (при 1000–1050°С в течение 60–120 min в атмосфере NH_3) из напыленного в вакууме на поверхность кристаллов металлического эрбия. После отжига кристаллы GaN:Er^{3+} были подвергнуты травлению в смеси $\text{HNO}_3:\text{HCl} = 1:3$ с целью удаления непродиффундировавшего эрбия.

Спектроскопические исследования кристаллов GaN:Er^{3+} проводились при 293, 77 и 2 К в интервале 0.35–1.7 μm в поляризованном свете с вектором $\mathbf{E} \perp \mathbf{C}_6$, где \mathbf{C}_6 — гексагональная ось кристалла. В области 0.52 μm была обнаружена группа линий, связанная с наиболее интенсивным в спектрах поглощения ионов Er^{3+} в кристаллах переходом с подуровней основного ${}^4\text{I}_{15/2}$ -состояния на подуровни возбужденного ${}^2\text{H}_{11/2}$ -состояния. Понижение температуры от 293 до 2 К приводило

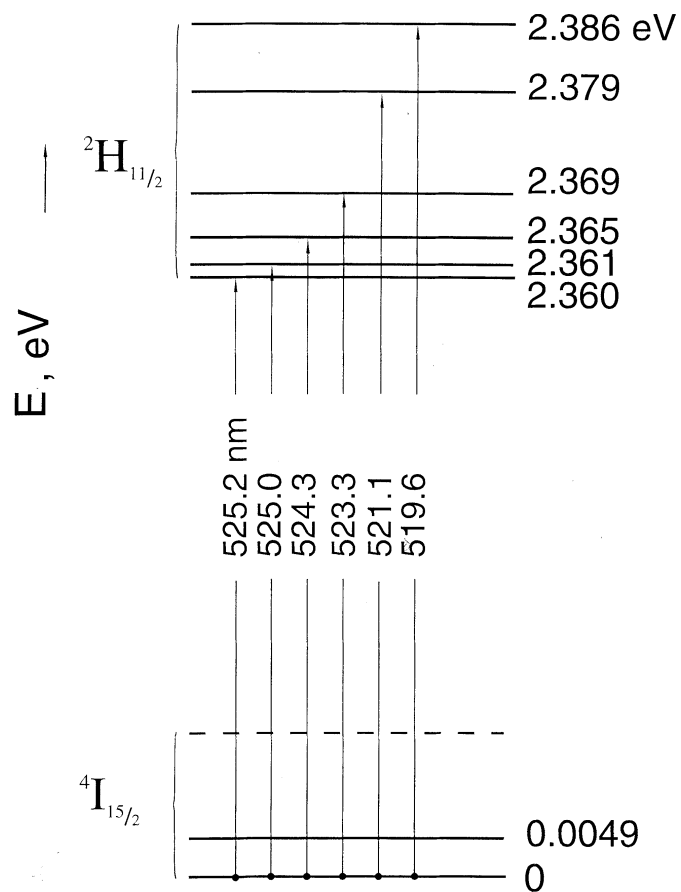


Рис. 2. Схема уровней $^2H_{11/2}$ -мультиплета и переходов $^4I_{15/2} \rightarrow ^2H_{11/2}$ в GaN:Er³⁺ при 2 К.

к уменьшению числа линий в спектре и к возрастанию интенсивности оставшихся линий. При 2 К, когда переходы осуществляются только с самого нижайшего подуровня основного состояния, спектр перехода $^4I_{15/2} \rightarrow ^2H_{11/2}$ состоит из 6 линий (рис. 1), что совпадает с теоретически возможным числом подуровней $^2H_{11/2}$ -состояния ионов Er³⁺,

находящихся в некубическом кристаллическом поле (группа симметрии кристалла $\text{GaN}-C_{6v}^4$). Из анализа спектров, полученных при 2 и 77 К определены энергетические положения нижайших подуровней основного $^4I_{15/2}$ -состояния и подуровней возбужденного $^2H_{11/2}$ -состояния ионов Er^{3+} в кристаллах GaN (рис. 2).

Как известно, RE^{3+} -ионы имеют частично заполненную $4f$ -оболочку, экранированную полностью заполненными $5s^2 5p^6$ оболочками. Экранирующее действие наружных оболочек приводит к слабому взаимодействию внутриконтинуальных переходов с окружающей кристаллической решеткой. Вследствие этого спектр конкретного RE^{3+} -иона сравнительно слабо меняется при помещении его в различные кристаллические основы. Наиболее близкая к GaN:Er^{3+} структура уровней $^2H_{11/2}$ мультиплета иона эрбия существует в кристаллах Er_2O_3 [1] и $\text{Y}_2\text{O}_3 : \text{Er}^{3+}$ [2].

Наблюдавшееся количество линий в спектре $^4I_{15/2} \rightarrow ^2H_{11/2}$ перехода при 2 К (рис. 1) и их узость (0.7 meV) дают веские основания считать, что ионы Er^{3+} занимают в исследованных образцах GaN преимущественно одну регулярную позицию, образуя основной эрбиевый центр. Наиболее вероятным представляется замещение галлия. Наряду с основным Er^{3+} -центром в GaN могут образовываться (в существенно меньшей концентрации) комплексы, состоящие из ионов Er^{3+} , собственных дефектов кристалла и/или неконтролируемых примесей. Об этом свидетельствуют результаты [3], где исследование селективно возбуждаемой фотолуминесценции пленок GaN:Er^{3+} позволило выявить 9 различных эрбиевых центров. Следует заметить, что многоцентровость в примесных кристаллах — достаточно общее явление. Так, например, в легированных ионами Er^{3+} конгруэнтных кристаллах LiNbO_3 наблюдалось четыре Er^{3+} -центра [4], а в стехиометрических — одиннадцать [5]. Существование нескольких типов эрбиевых центров в этих кристаллах связано с замещением примесными ионами различных регулярных позиций в кристаллической решетке и с различными механизмами компенсации избыточного заряда.

Результаты настоящей работы являются, по нашему мнению, первым наблюдением спектров поглощения в кристаллах GaN:Er^{3+} .

Работа частично поддержана РФФИ (проект 99-02-18319).

Список литературы

- [1] *Gruber J.B., Henderson J.R., Muramoto M.* et al. // J. Chem. Phys. 1966. V. 45. N 2. P. 477–482.
- [2] *Kisliuk P., Krupke W.F., Gruber J.B.* // J. Chem. Phys. 1964. V. 40. N 12. P. 3606–3610.
- [3] *Kim S., Rhee S.J., Li X.* et al. // J. of Electronic Materials. 1999. V. 28. N 3. P. 266–274.
- [4] *Polgar K., Skvortsov A.P.* // Opt. Spectrosc. 1985. V. 58. P. 140–141.
- [5] *Dierolf V., Koerdts M.* // Phys. Rev. B. 2000. V. 61. N 12. P. 8043–8052.