

Поскольку для нейтрального атома Eu^0 ($4f^7 6s^2$) $\delta \sim 5$ мм/с [7], можно утверждать, что в соединениях Ga_2S_3 и Ga_2Se_3 европий находится в состоянии Eu^{2+} ($4f^7$). Так как легирование европием не приводит к изменению типа проводимости соединений Ga_2S_3 (исходный n -тип) и Ga_2Se_3 (исходный p -тип) [6, 8], следует предположить, что атом европия в этих соединениях не создает электрически активных уровней в запрещенной зоне кристалла. Это является дополнительным аргументом в пользу того, что европий не является примесью замещения в исследованных соединениях.

Таким образом, мы приходим к следующему заключению. В отличие от полупроводников с бездефектной структурой в соединениях $\text{Al}^{\text{III}}\text{V}_3^{\text{VI}}$ европий не замещает атом решетки, а взаимодействует с вакансией, образуя «двойной» центр типа $(\text{Eu}^{2+} - \text{V}_{\text{Ga}}^2)^0$. Это, в свою очередь, может приводить к появлению энергетических уровней в запрещенной зоне, ответственных за линию люминесценции в области 0.54 мкм [9, 10]. Очевидно, что это состояние в запрещенной зоне сформировано из зонных, т. е. отщелчено от разрешенных зон вследствие снятия вырождения за счет сильных локальных напряжений.

По-видимому, и другие РЗЭ могут вести себя подобным же образом. В частности, отсутствие спектра ЭПР иттербия указывает на то, что и эта примесь не является примесью замещения в $\text{Al}^{\text{III}}\text{V}_3^{\text{VI}}$, поскольку во всех изученных полупроводниках, где она является таковой, ее состояние Yb^{3+} ($4f^{13}$) (см., например, [1]), в то время как ион Yb^{2+} имеет электронную конфигурацию $4f^{14}$, т. е. диамагнитен.

Список литературы

- [1] Мастеров В. Ф. // ФТП. 1984. Т. 18. В. 1. С. 3—23.
- [2] Manolikas C. // Phys. St. Sol. (a). 1982. V. 69. P. 393—405.
- [3] Аллазов М. Ф., Бабаева П. К., Рустамов П. Г. // Изв. АН СССР. Неорг. матер. 1979. Т. 15. В. 7. С. 1177—1181.
- [4] Finkman E., Tauc J., Kershaw R., Wold A. // Phys. Rev. B. 1975. V. 11. N 10. P. 3785—3794.
- [5] Griscom D. L. // J. Non-Cryst. Sol. 1980. V. 40. P. 211—272.
- [6] Горюнова Н. А. Сложные алмазоподобные полупроводники. М., 1968. 268 с.
- [7] McNab T. K., Micklitz H., Barret P. H. // Messbauer isomer shifts // Ed. by G. K. Shenoy. Amsterdam, 1978. P. 223—250.
- [8] Рустамов П. Г. Халькогениды галлия. Баку, 1967. 130 с.
- [9] Donohue P. C., Hanlon J. E. // J. Electrochem. Soc. 1974. V. 121. N 1. P. 137—142.
- [10] Золин В. Ф., Корнева Л. Г. Редкоземельный зонд в химии и биологии. М., 1980. 349 с.

Ленинградский
политехнический институт
им. М. И. Калинина

Получено 5.12.1988
Принято к печати 9.03.1989

ФТП, том 23, вып. 7, 1989

ФОТОПРОВОДИМОСТЬ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$

Назаренкова Т. И., Сальков Е. А., Сочинский Н. В.

Полумагнитный полупроводник $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ образует непрерывный ряд гомогенных твердых растворов со структурой сфалерита в области составов $0 \leq x \leq 0.35$ мол. долей [1]. Повышенный интерес, проявляющийся в последние годы к этому материалу, обусловлен перспективой его широкого применения в ИК фотоэлектронике [2, 3].

Вопросы получения и исследования свойств эпитаксиальных слоев (ЭС) $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ рассмотрены в работах [4—6]. Основным недостатком ЭС, сдерживающим их практическое использование, является обусловленная особенностями технологии получения слабая фоточувствительность. Вследствие этого фотоэлектрические свойства эпитаксиального $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ в литературе не рассматривались.

В настоящей работе приводятся первые результаты по получению фоточувствительных нелегированных ЭС $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ и исследованию их фотопроводимости (ФП).

ЭС выращивались при температурах $700\div 880\text{ K}$ по комбинированной методике с последовательным применением в едином технологическом процессе парофазной и жидкофазной эпитаксии [7]. Жидкофазную эпитаксию проводили из теллурических растворов ртути и марганца. В качестве подложек использовались монокристаллические пластины CdTe ориентации (111) А со средними размерами $15\times 15\times 1.5\text{ мм}$, металлографической плотностью дислокаций $(1\div 5)\cdot 10^5\text{ см}^{-2}$ и удельным сопротивлением $10^3\div 10^5\text{ Ом}\cdot\text{см}$. Применявшиеся ростовые устройства позволяли получать ЭС на одной или обеих сторонах подложек. Скорости парофазного и жидкофазного роста составляли соответственно $1\div 2\text{ мкм/ч}$ и $0.5\div 1.2\text{ мкм/мин}$.

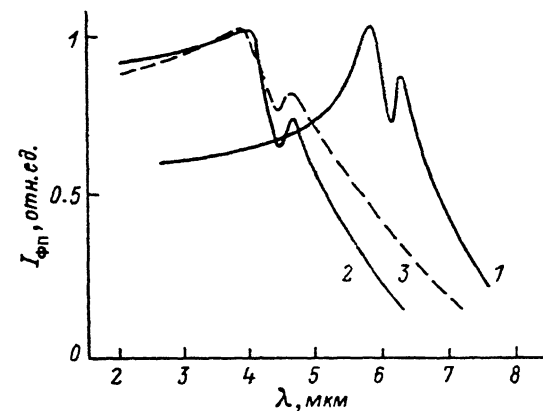


Рис. 1. Спектры ФП ЭС $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ при 77 K . 1 — свежеработанный ЭС с необработанной ростовой поверхностью ($x=0.12$), 2 — ЭС с полированной ростовой поверхностью ($x=0.14$), 3 — ЭС с $x=0.14$, сполитированный до толщины 8 мкм .

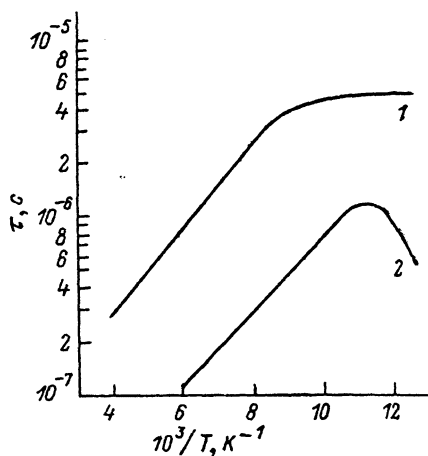


Рис. 2. Температурная зависимость постоянной времени релаксации ФП. 1 — ЭС с локальными неоднородностями n , 2 — электрически однородные ЭС.

Выращенные ЭС были монокристаллическими и имели зеркально гладкую поверхность с обычной для жидкофазной эпитаксии дефектной микроструктурой в виде ростовых террас, расходящихся от центров преимущественного роста [8]. Толщина ЭС составляла $10\div 40\text{ мкм}$. Планарность гетерограниц и распределение компонентов по толщине исследовали на свежих сколах структур ЭС/подложка методами растровой электронной микроскопии и рентгеновского микрозондового анализа. Области переменного состава по марганцу и кадмию в ЭС, обусловленные диффузионным размытием гетерограницы в процессе эпитаксии, имели толщины $2\div 4$ и $3\div 7\text{ мкм}$ соответственно. Управление температурным режимом жидкофазной эпитаксии давало возможность получать ЭС $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ n -типа непосредственно в процессе выращивания без применения дополнительного отжига в парах ртути.

Для исследования спектров в ФП и температурных зависимостей постоянной времени релаксации ФП (τ) использовали образцы с поперечными омическими индиевыми контактами, приготовленные из ЭС с шириной запрещенной зоны $E_g=100\div 300\text{ мэВ}$. Концентрации и подвижности электронов в них, определенные по холловским измерениям, составляли соответственно при 300 K $n=(1\div 30)\cdot 10^{16}\text{ см}^{-3}$ и $\mu=(7\div 12)\cdot 10^3\text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, при 77 K $n=(2\div 10)\cdot 10^{15}\text{ см}^{-3}$ и $\mu=(3\div 18)\cdot 10^4\text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

ФП измеряли по модуляционной методике. Частота модуляции светового потока составляла 600 Гц .

Кривые релаксации фототока после короткого ($2\cdot 10^{-8}\text{ с}$) импульса возбуждения от Nd-лазера ($\lambda=1.06\text{ мкм}$) обычно имели две составляющие — быструю ($\tau < 10^{-8}\text{ с}$) и медленную ($\tau > 10^{-7}\text{ с}$), связанные соответственно с поверхност-

ной и объемной рекомбинацией. Значения τ в объеме ЭС определяли при температурах $77 \div 250$ К из анализа медленной составляющей кривых релаксации.

Типичные спектры ФП ЭС $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ при 77 К приведены на рис. 1. Для образцов состава $x=0.12 \div 0.15$ мол. долей они состоят из двух полос. Коротковолновая полоса соответствует переходам «валентная зона—зона проводимости», а длинноволновая — переходам «акцепторный уровень—зона проводимости». Расстояние между максимумами полос уменьшается от 55 до 15 мэВ с уменьшением x от 0.15 до 0.12 мол. долей. Сопоставление энергетического положения длинноволновой полосы ФП ЭС с аналогичной полосой в спектрах ФП объемных кристаллов $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ сравнимого состава [9] позволяет сделать вывод о том, что наблюдаемый акцепторный уровень в ЭС и кристаллах имеет одинаковое «объемное» происхождение.

В спектрах ФП свежeverащенных ЭС с необработанной ростовой поверхностью (кривая 1) наблюдается резкий коротковолновый спад, обусловленный интенсивной поверхностной рекомбинацией. После полирующего травления поверхности ЭС на глубину $2 \div 5$ мкм коротковолновый участок спектров ФП становится более пологим (кривая 2). При дальнейшем утоньшении ЭС наблюдается небольшое (~ 12 мэВ) смещение в коротковолновую область связанного с межзонными переходами максимума кривой 3 по отношению к кривой 2, а более пологий ход длинноволнового участка кривой 3 обусловлен вариационностью ЭС. Из сравнения кривых 2 и 3 также следует вывод о том, что положение связанного с межзонными переходами максимума в спектре ФП определяется преимущественно концентрацией марганца в ЭС и слабо зависит от диффузионного проникновения в них кадмия.

По виду температурной зависимости τ , представленной на рис. 2, все исследованные образцы можно разделить на две группы. Для образцов, приготовленных из ЭС с локальными неоднородностями n по площади (первая группа), характерно наличие участка слабой зависимости τ от T при низких температурах $77 \leq T \leq 110$ К (кривая 1), а для электрически однородных образцов (вторая группа) — наличие низкотемпературного участка термоактивации акцепторного уровня рекомбинации (кривая 2). Для $x=0.14$ мол. долей энергия активации $E_a=45$ мэВ. Численные значения τ в образцах первой группы всегда больше, чем в образцах второй. Это может быть связано с сенсibiliзирующим влиянием дефектных уровней и с пространственным разделением носителей заряда разного знака вблизи границ раздела областей с различными значениями n . При высоких температурах уменьшение τ обусловлено усилением межзонной оже-рекомбинации. Сопоставление наших результатов с данными [10] по τ -метрии объемных кристаллов $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ со сравнимыми значениями E_a подтверждает вывод об определяющем влиянии на τ концентрационной неоднородности образцов.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Delves R. T., Levis B. // J. Phys. Chem. Sol. 1963. V. 24. N 7. P. 549—556.
- [2] Furdina J. K. // Proc. Soc. Phot. Instr. Eng. 1983. N 409. P. 43—52.
- [3] Wall A., Caprile C., Franciosi A., Reifenberger R., Debska U. // J. Vac. Sci. Techn. 1986. V. A4. N 3. P. 818—822.
- [4] Becla P., Wolff P. A., Aggarwal R. L., Yuen S. Y. // J. Vac. Sci. Techn. 1985. V. A3. N 1. P. 116—118.
- [5] Takita K., Uchino T., Ipposhi T., Masuda K. // Sol. St. Commun. 1985. V. 56. N 7. P. 603—606.
- [6] Faurie J. P., Reno J., Sivananthan S., Sou I. K., Chu K., Boukerche M., Wijewarnasuriya R. S. // J. Vac. Sci. Techn. 1986. V. B4. N 2. P. 585—589.
- [7] Sand E., Levi D., Nemirovsky Y. // Appl. Phys. Lett. 1985. V. 46. N 5. P. 501—503.
- [8] Жовнир Г. И., Сальков Е. А., Сочинский Н. В., Ханат Л. Н., Чалая В. Г., Чюкан И. П. // Тез. докл. XII Всес. конф. по микроэлектронике. Тбилиси, 1987. Ч. II. С. 121—123.
- [9] Гельмонт Б. Л., Голомска Р. Р., Вахабова Э. М., Иванов-Омский В. И., Постолаки И. Т., Смирнов В. А. // ФТП. 1986. Т. 20. В. 1. С. 73—79.
- [10] Pratt R. G., Hewett J., Capper P., Jones C. L., Judd N. // J. Appl. Phys. 1986. V. 60. N 7. P. 2377—2385.