

ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭКСИТОННОЙ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ МОНОКРИСТАЛЛОВ CdTe:Cl ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАБОТОК

Д.В. Корбутяк¹⁾, А.П. Лоцько¹⁾, Н.Д. Вахняк¹⁾, Л.А. Демчина¹⁾, С.И. Будзуляк¹⁾, С.М. Калитчук¹⁾
Р.В. Конакова¹⁾, Р.А. Редько¹⁾, В.В. Миленин¹⁾, Ю.В. Быков²⁾, С.В. Егоров²⁾, А.Г. Еремеев²⁾

¹⁾Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН Украины

03028, пр. Науки 41, Киев, Украина, e-mail: div47@isp.kiev.ua

²⁾Институт прикладной физики РАН

603950, ул. Ульянова 46, Нижний Новгород, Россия, e-mail: byk@appl.sci-nnov.ru

Методом низкотемпературной фотолюминесценции (ФЛ) исследовано влияние микроволнового излучения и термического отжига на трансформацию экситонно-примесных комплексов в монокристаллах CdTe:Cl. Показано, что микроволновое облучение приводит к активации центров Cl_{Te}, а при оптимальных режимах обработки продолжительностью 30 с обнаружен эффект улучшения кристаллической структуры материала. Отжиг монокристаллов CdTe:Cl при температуре <180 °С не приводит к изменениям экситонных линий ФЛ, что свидетельствует о термической стойкости материала, а при ≥180 °С происходит перестройка экситонно-примесных комплексов вследствие "испарения" атомов хлора с приповерхностной области кристаллов.

Введение

В работах [1-4] исследовано влияние микроволнового излучения на электрофизические и структурные свойства различных полупроводниковых материалов. Однако, влияние СВЧ-излучения на тонкую структуру дефектно-примесного состава монокристаллов CdTe:Cl, в котором хорошо изучена природа дефектов, практически не исследовано. Отметим, что высокоомные компенсированы монокристаллы CdTe:Cl широко используются для создания высокочувствительных неохлаждаемых детекторов X- и γ-излучений [5]. Исследование трансформации примесно-дефектных комплексов монокристаллов CdTe:Cl под действием внешних факторов и выявление оптимальных режимов обработок, улучшающих кристаллическую структуру материала является очень важным и актуальным, в частности, при изготовлении и эксплуатации детекторов.

Условия обработки образцов и методика эксперимента

Исследуемые монокристаллы CdTe:Cl выращены методом Бриджмена. Легирование хлором осуществляли во время выращивания монокристаллов. Концентрация атомов хлора составляла $N_{Cl}=5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$.

Ненагревное СВЧ-облучение CdTe:Cl проводилось в специализированном гиротронном комплексе для микроволновой обработки материалов на частоте 24 ГГц в Институте прикладной физики РАН (г. Нижний Новгород).

Термический отжиг монокристаллов CdTe:Cl, $N_{Cl}=5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ проводился в вакууме при температурах 150-200 °С.

Автоматизированная экспериментальная установка для исследования спектров ФЛ состояла из источника возбуждения (аргоновый лазер ЛГН-503), криостата, спектрального прибора (МДР-23), фотоприемного устройства, изготовленного на основе ФЭУ-62, усилителя и персонального компьютера. Во избежание

перегрева образца при T=5K мощность лазерного излучения не превышала 100 мВт/см².

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Особенности трансформации структурно-примесных комплексов в CdTe:Cl изучались путем анализа изменений интенсивности полос ФЛ в результате СВЧ-облучения и термического отжига.

При низких дозах СВЧ-облучения кристаллов (рис. 1.) наблюдается возрастание интенсивности линии экситонов, связанных на донорных центрах (D⁰,X). Это означает, что донорные центры активируются в процессе СВЧ-обработки.

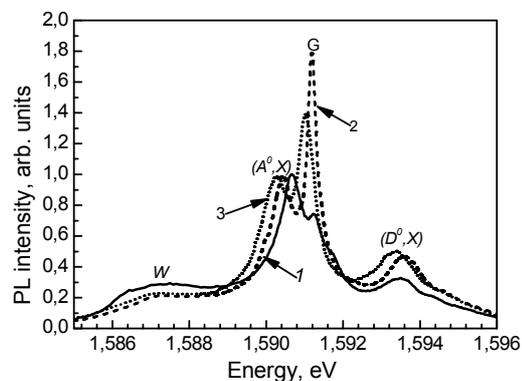


Рис. 1. Спектры ФЛ при T = 5K исходного CdTe:Cl с $N_{Cl}=5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ до (1) и после СВЧ-обработки в течение 30 с (2), 90 с (3)

С целью выяснения возможностей улучшения структурных характеристик CdTe:Cl в результате СВЧ-облучения на частоте 24 ГГц мы исследовали зависимость интегральной интенсивности экситонных линий ФЛ от дозы СВЧ-облучения.

Характерным для СВЧ-облучения является немономонная зависимость интегральной интенсивности экситонных линий ФЛ от дозы

облучения – возрастание с увеличением времени обработки до 30 с сменяется спадом при дальнейшем увеличении экспозиции. Таким образом, эффект улучшения качества материала CdTe:Cl достигается при определенных оптимальных дозах СВЧ-облучения (так называемый эффект малых доз) [6]. При этом происходит эффективное геттерирование безызлучательных центров. При экспозициях СВЧ-облучения CdTe:Cl, превышающих оптимальные, происходит генерация новых центров, формирующих дополнительный канал безызлучательной рекомбинации.

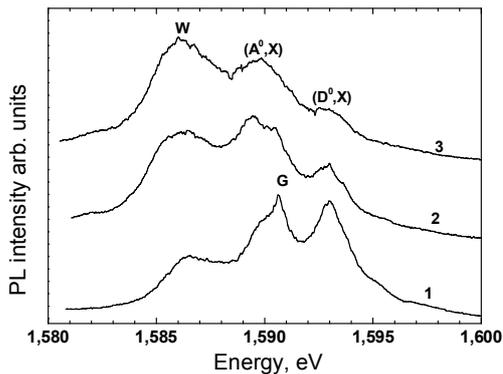


Рис. 2. Спектры ФЛ монокристаллов CdTe:Cl до (1) и после отжига в вакууме продолжительностью 20 мин. при, 180 °C (2) и 200 °C (3)

При анализе полученных результатов (рис. 2.) нами установлено, что после термических обработок монокристаллов CdTe:Cl при температурах <180 °C существенных изменений экситонной ФЛ не наблюдается, что подтверждает термическую устойчивость донорных (Cl_{Te}) и акцепторных комплексов ($V_{Cd-2Cl_{Te}}$), ($V_{Cd-Cl_{Te}}$) на которых связываются экситоны. После термической обработки монокристаллов CdTe:Cl при температурах отжига ≥ 180 °C наблюдается уменьшение интенсивности экситонных линий ФЛ (D^0 , X), G, и

усиление W. Это свидетельствует об уменьшении концентрации донорных центров Cl_{Te} и перестройке акцепторных комплексов вследствие "испарения" атомов хлора с приповерхностной области кристаллов.

Заключение

В результате микроволнового облучения монокристаллов CdTe:Cl на частоте 24 ГГц происходит активация центров Cl_{Te} . При режимах обработки продолжительностью 30 с обнаружен эффект улучшения кристаллической структуры материала.

Термический отжиг монокристаллов CdTe:Cl при $T < 180$ °C не приводит к изменениям экситонных линий ФЛ, что свидетельствует о термической стойкости материала. А при $T \geq 180$ °C происходит перестройка экситонно-примесных комплексов вследствие "испарения" атомов хлора с приповерхностной области кристаллов.

Список литературы

1. Беляев А.А., Беляев А.Е., Ермолович И.Б., Комирченко С.М., Конакова Р.В., Ляпин В.Г., Миленин В.В., Соловьев Е.А., Шевелев М.В. // ЖТФ. – 1998. – 68. – 12. – С. 49.
2. Ермолович И.Б., Миленин Г.В., Конакова Р.В., Редько Р. А. // ЖТФ. – 2007. – 77. – 9. – С.71.
3. Корбутяк Д.В., Лоцько А.П., Вахняк Н.Д., Демчина Л.А., Конакова Р.В., Миленин В.В., Редько Р.А. // ФТП. 2011. – 45. – 9. – С. 1175.
4. Быков Ю.В., Еремеев А.Г., Жарова Н.А., Плотников И.В., Рыбаков К.И., Дроздов М.Н., Дроздов Ю.Н., Скупов В.Д. // Известия вузов. Радиофизика. - 2003. – XLVI. - 8-9. - С. 836.
5. Корбутяк Д.В., Мельничук С.В., Корбут Е.В., Борисюк М.М. Теллурид кадмия: примесно-дефектные состояния и детекторные свойства. - Киев: Иван Федоров, 2000. - 198 с.
6. Борковская О.Ю., Дмитрук Н.Л., Конакова Р.В., Литовченко В.Г., Тхорик Ю.А., Шаховцов В.И. Эффекты радиационного упорядочения в слоистых структурах на основе соединений A^3B^5 . Препринт № 6. - Киев: ИФАН УССР, 1986. - 68 с.

THE TRANSFORMATION OF EXCITON PHOTOLUMINESCENCE OF CdTe:Cl SINGLE CRYSTALS CAUSED BY TECHNOLOGICAL TREATMENTS

D.V. Korbutyak¹, A.P. Lotsko¹, N.D. Vakhnyak¹, L.A. Demchuna¹, S.I. Budzulyak¹, S.M. Kalytchuk¹, R.V. Konakova¹, R.A. Red'ko¹, V.V. Milenin¹, Yu.V. Bykov², S.V. Egorov² and A.G. Eremeev²

¹V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 41 Nauki pr., Kyiv 03028, Ukraine, e-mail: div47@isp.kiev.ua

²Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, 46 Ul'yanov Street, 603950, Nizhny Novgorod, Russia, e-mail: byk@appl.sci-nnov.ru

The effect of microwave radiation and thermal annealing on the transformation of exciton-impurity complexes in CdTe:Cl single crystals is studied using low-temperature photoluminescence (PL) measurements. It is shown that microwave radiation activates Cl_{Te} centers. The improvement of crystal structure perfection is obtained at optimal regime of microwave treatment (30s). Changes in the excitonic bands due to thermal annealing at temperature <180 °C is not observed. This testifies about thermal stability of studied material. But the restructuring of exciton-impurity complexes due to annealing at temperature ≥ 180 °C is observed, which is related with "evaporation" of the chlorine atoms from the surface of the crystals.