

ВЛИЯНИЕ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНУЮ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ МОНОКРИСТАЛЛОВ CdTe:Cl

Д.В. Корбутяк¹⁾, А.П. Лоцько¹⁾, Н.Д. Вахняк¹⁾, Л.А. Демчина¹⁾, Р.В. Конакова¹⁾, В.В. Миленин¹⁾,
Р.А. Редько¹⁾, 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

Методами низкотемпературной фотолюминесценции исследовано влияние микроволнового излучения на трансформацию структурно-примесных комплексов в монокристаллах CdTe:Cl. Показано, что микроволновое облучение приводит к активации центров Cl_{Te}, сопровождающейся увеличением интенсивности линии фотолюминесценции экситонов, связанных на соответствующих донорных центрах Cl_{Te}, обнаружена немонотонная зависимость интегральной интенсивности фотолюминесценции от длительности микроволнового облучения. На начальной стадии микроволнового облучения ($t \approx 30$ с) наблюдается увеличение интегральной интенсивности экситонной фотолюминесценции, уменьшающейся с увеличением времени микроволнового облучения. Наблюдаемые изменения носят атермический характер.

Введение

Доклад посвящен исследованию влияния микроволнового (СВЧ) излучения на трансформацию структурно-примесных комплексов в монокристаллах CdTe:Cl методами низкотемпературной (T=5K) фотолюминесценции (ФЛ).

К настоящему времени во многих работах исследовано нетепловое воздействие СВЧ-излучения на электрофизические и структурные свойства различных полупроводниковых материалов [1-6]. В то же время механизмы воздействия и влияния СВЧ-излучения на тонкую структуру дефектно-примесного состава полупроводников, в том числе такого удобного для этих исследований полупроводника как CdTe:Cl, в котором хорошо изучена природа дефектов, практически не исследованы. Отметим, что высокоомные компенсированные монокристаллы CdTe:Cl широко используются для создания высокочувствительных неохлаждаемых детекторов ионизирующего излучения. Поэтому исследования трансформации структурно-примесных комплексов в этих материалах под влиянием внешних воздействий являются важными и актуальными.

Условия облучения, образцы и методика эксперимента

Исследуемые монокристаллы CdTe и CdTe:Cl выращены методом Бриджмена. Легирование хлором осуществляли во время выращивания монокристаллов. Концентрация введенной примеси хлора в выращенных кристаллах составляла $N_{Cl} = 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и $N_{Cl} = 5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$.

Использованы два режима микроволновой обработки:

Первый режим обработки. СВЧ-облучение исследуемых образцов проводили в рабочей камере магнетрона, нагруженного на квазистационарный СВЧ-генератор на частоте 2,45 ГГц. Мощность излучения составляла 7,5 Вт/см². Для предотвращения перегрева образца СВЧ-облучения проводили в специальном режиме по 3 с. Интервал между обработками составлял 4 с. Для исследования спектров ФЛ использованы образцы CdTe:Cl, облученные при трех экспозициях: 10, 30 и 180 с.

Второй режим обработки. СВЧ-облучение проводилось в специализированном гиротронном комплексе для микроволновой обработки материалов на частоте 24 ГГц. Для обеспечения в камере интенсивности 1,5 Вт/см² выходная мощность составляла 150 Вт. Полное время экспозиции набиралось временными интервалами облучения по 10 секунд с промежутками между облучениями 3 минуты. Измерения показали, что в каждом процессе облучения изменения темпера-

туры не превышало 2°C по сравнению с начальной температурой образца.

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 $T=5\text{K}$ мощность лазерного излучения не превышала 100 мВт/см^2 .

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Типичные спектры ФЛ нелегированного и легированного хлором CdTe представлены на рис. 1. В качественных образцах CdTe наблюдается излучение свободных экситонов с энергией максимума $1,596\text{ эВ}$, однако эта линия слабо выражена вследствие сильного самопоглощения. Энергия максимума линии ФЛ экситонов, связанных на нейтральных донорах (D^0, X), составляет $1,593\text{ эВ}$. Донорами в нелегированном CdTe могут быть неконтролируемые примеси III или VII группы, замещающие соответственно атомы Cd или Te. Наиболее интенсивной линией в спектре экситонной ФЛ является линия экситонов, связанных на нейтральных акцепторах (A^0, X) с энергией максимума $1,589 - 1,590\text{ эВ}$. Принято считать, что акцепторами, на которых связываются экситоны, являются примесные центры меди Cu_{Cd} [7]. В монокристаллах CdTe:Cl атомы хлора, замещающие атомы теллура (Cl_{Te}) являются мелкими донорами, на которых связываются экситоны и формируют линии (D^0, X). Кроме того, примесь хлора обуславливает появление новых линий в спектре ФЛ: G ($E_{\text{max}}=1,590-1,591\text{ эВ}$) и W ($E_{\text{max}}=1,586-1,587\text{ эВ}$), которые идентифицируются как излучение экситонов, связанных, соответственно на акцепторных комплексах ($V_{\text{Cd}}-2\text{ Cl}_{\text{Te}}$) и ($V_{\text{Cd}}-\text{Cl}_{\text{Te}}$).

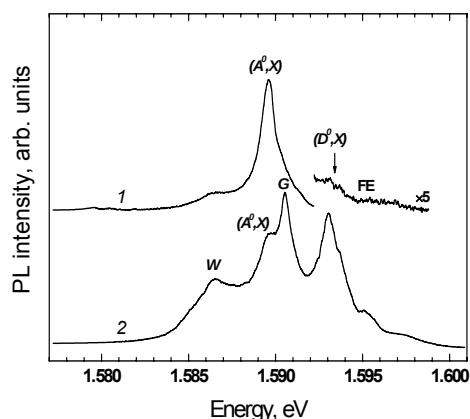


Рис. 1. Спектры экситонной ФЛ нелегированного (1) и легированного хлором CdTe (2), измеренные при $T=5\text{ K}$.

Особенности трансформации структурно-примесных комплексов в CdTe:Cl изучались путем анализа изменений интенсивности полос ФЛ

в результате СВЧ-облучения в двух режимах. Главное отличие режимов СВЧ-облучения заключалось в частоте микроволнового излучения (I режим – при частоте $2,45\text{ ГГц}$, II режим – при частоте 24 ГГц). При этом влиянии обоих режимов СВЧ-облучения характеризуется как общими чертами, так и определенными отличиями (рис. 2, 3).

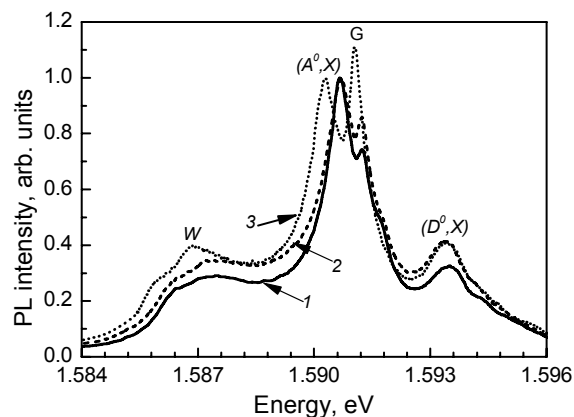


Рис. 2. Спектры ФЛ при $T = 5\text{ K}$ исходного CdTe:Cl с $N_{\text{Cl}}=5 \cdot 10^{19}\text{ см}^{-3}$ (1) и после СВЧ-обработки (I режим) в течение 30 с (2), 180 с (3).

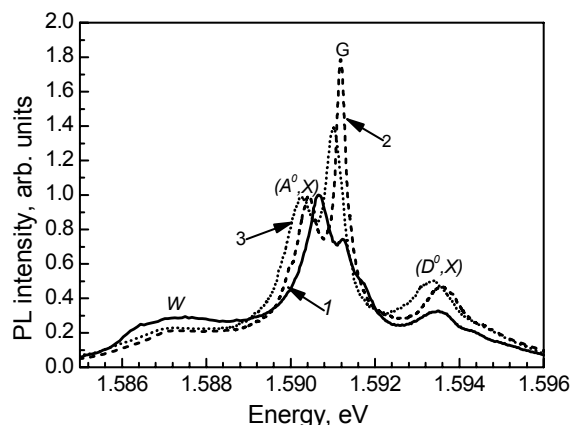


Рис. 3. Спектры ФЛ при $T = 5\text{ K}$ исходного CdTe:Cl с $N_{\text{Cl}}=5 \cdot 10^{19}\text{ см}^{-3}$ (1) и после СВЧ-обработки (II режим) в течение 30 с (2), 90 с (3).

1. Активация центров Cl_{Te} . При низких дозах СВЧ-облучения с использованием как первого, так и второго режимов СВЧ-облучения происходит возрастания интенсивности линии экситонов, связанных на донорных центрах (D^0, X). Это означает, что донорные центры активируются в процессе СВЧ-обработки. Следовательно, СВЧ-облучение приводит к тому, что атомы хлора занимают узлы теллура.

2. Эффект малых доз. С целью выяснения возможностей улучшения структурных характеристик CdTe:Cl в результате СВЧ-облучения мы исследовали зависимость интегральной интенсивности экситонных линий ФЛ от дозы СВЧ-облучения. Известно, что изменение интенсивности прикраевых (экситонных) полос ФЛ в результате различных воздействий внешних факторов является достаточно чувствительным индикатором

ром изменения безызлучательных потерь, времени жизни неравновесных носителей заряда и, как следствие, структурного совершенства материала.

Характерным для обоих режимов СВЧ-облучения является немонотонная зависимость интегральной интенсивности экситонных линий ФЛ от дозы облучения – возрастание с увеличением временем обработки до 30 с сменяется спадом при дальнейшем увеличении экспозиции. Отличие режимов обработки заключается в том, что при первом режиме интенсивность ФЛ вначале незначительно падает (вследствие генерации безызлучательных центров рекомбинации), в то время как при втором режиме обработки возрастание интенсивности ФЛ происходит при самых малых дозах СВЧ-облучения, достигая максимума при времени обработки 30 с. Таким образом, эффект улучшения качества материала CdTe:Cl достигается при определенных оптимальных дозах СВЧ-облучения (так называемый эффект малых доз) [5, 6]. При этом происходит эффективное геттерирование безызлучательных центров (как исходных, так и генерируемых при минимальных дозах СВЧ-облучения) в области стоков – границ раздела матрицы полупроводника с микровключениями или к поверхности полупроводника, наблюдаемое ранее при малодозовом облучении гамма квантами ^{60}Co монокристаллов и эпитаксиальных структур GaAs и других соединений A^3B^5 [9]. При экспозициях СВЧ-облучения, превышающих оптимальные, происходит генерация новых центров, формирующих дополнительный канал безызлучательной рекомбинации.

Заключение

В результате микроволнового облучения монокристаллов CdTe:Cl на частотах 2,45 и 24 ГГц

происходит активации центров Cl_{Te} , наблюдаемая по возрастанию интенсивности линии экситонов, связанных на донорных центрах (D^0, X). С увеличением частоты микроволновой обработки эффект улучшения параметров CdTe:Cl наблюдается при меньших дозах облучения.

Список литературы

1. Беляев А.А., Беляев А.Е., Ермолович И.Б., Комиренко С.М., Конакова Р.В., Ляпин В.Г., Миленин В.В., Соловьев Е.А., Шевелев М.В. // ЖТФ. – 1998. – Т. 68. – 12. – С. 49.
2. Ермолович И. Б., Миленин Г. В., Миленин В. В., Конакова Р. В., Редько Р. А. // ЖТФ. – 2007. – Т. 77. – 9. – С. 71.
3. Atanassova E.D., Konakova R.V., Lytvyn P.M., Mitin V.F., Shynkarenko V.V. // Semicond. Sci. Technol. 2008. – 23. – 035004 (10pp).
4. Belyaev A.E., Boltovets N.S., Vitusevich S.A., Ivanov V.N., Konakova R.V., Kudryk Ya.Ya., Lebedev A.A., Milenin V.V., Sveschnikov Yu.N., Sheremet V.N. // Semiconductors. – 2010. – V. 44. – 6. – С. 745.
5. Корбутяк Д.В., Лоцько А.П., Вахняк Н.Д., Демчина Л.А., Конакова Р.В., Миленин В.В., Редько Р.А. // ФТП. – 2011. – Т. 45. – 9. – С. 1175.
6. Быков Ю.В., Еремеев А.Г., Жарова Н.А., Плотинов И.В., Рыбаков К.И., Дроздов М.Н., Дроздов Ю.Н., Скупов В.Д. // Известия вузов. Радиофизика. – 2003. – XLVI, (8-9). – С. 836.
7. 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.
8. Мамонтов А.П., Чернов И.П. Эффект малых доз ионизирующего излучения. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 286 с.
9. 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: ИФ УССР. – 1986. – 68с.

EFFECT OF MICROWAVE RADIATION TREATMENT ON THE LOW-TEMPERATURE PHOTOLUMINESCENCE OF CDTE:CL SINGLE CRYSTALS

D.V. Korbutyak¹), A.P. Lotsko¹), N.D. Vakhnyak¹), L.A. Demchina¹), R.V. Konakova¹), V.V. Milenin¹), R.A. Red'ko¹), Yu.V. Bykov²), S.V. Egorov²), A.G. Ereemeev²)

¹) V.E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics 41, pr. Nauki, Kyiv, 03028, Ukraine, Tel.: 38 (044) 525-94-64; fax: 38 (044) 525-83-42, e-mail: div47@isp.kiev.ua

²) Institute of Applied Physics, Russian Academy. of Sciences, Nizhny Novgorod, 603950, Russia e-mail: byk@appl.sci-nnov.ru

To study an influence of the microwave radiation treatment on the transformation of structural impurity-involved complexes in CdTe:Cl single crystals we have used low-temperature photoluminescence technique. It has been shown that microwave radiation results in an activation of Cl_{Te} centers. This is accompanied by an increase of the intensity of exciton photoluminescence band associated with the bound to corresponding Cl_{Te} donor centers. We have observed non-monotonous dependence of the integral intensity of photoluminescence with microwave treatment duration. An increase of the integral intensity of exciton photoluminescence was observed in first stage of microwave radiation exposure ($t = 30$ s). The decrease of photoluminescence intensity with a further increase of the duration of microwave radiation treatment has been observed. These changes are not-thermal.