

К. ф.-м. н. А. БАЙДУЛЛАЕВА, д. ф.-м. н. А. И. ВЛАСЕНКО,  
А. В. ЛОМОВЦЕВ, д. ф.-м. н. П. Е. МОЗОЛЬ

Украина, г. Киев, Ин-т физики полупроводников НАНУ  
E-mail: baidulla@class.semicond.kiev.ua

Дата поступления в редакцию  
30.01 2001 г.  
Оппонент д. т. н. Л. А. КАРАЧЕВЦЕВА

## СОЗДАНИЕ ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПАМЯТЬЮ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛОВ CdTe

*Результаты работы могут быть использованы для получения новых материалов и для создания переключающих элементов с памятью.*

Полупроводниковые соединения  $A_2B_6$  и их твердые растворы используются для изготовления солнечных элементов, детекторов радиационных излучений и ИК-приборов, которые широко применяются в мирной, военной и космической технике. В связи с расширением диапазона применения этих приборов резко возрастает требование к их эффективности и надежности, что, в свою очередь, стимулирует совершенствование существующих приборов, поиск новых принципов их работы и новых материалов.

Одним из эффективных и дешевых методов получения полупроводниковых материалов с заданными свойствами и защитными покрытиями от коррозии является лазерная обработка их поверхности. Преимущества лазерных способов обработки полупроводниковых материалов (локальность, "технологическая" чистота, быстрота и воспроизводимость) обуславливают перспективность применения лазерного излучения для изменения физических свойств и структуры материалов с целью изготовления  $p-n$ -переходов, матриц диодных элементов, омических контактов и т. д.

Лазерная обработка полупроводников  $A_2B_6$ , в частности, CdTe, приводит к генерации собственных дефектов в приповерхностной области кристалла и образованию пленки Te на его поверхности, тем самым создавая на поверхности кристалла двух- или трехслойные структуры — в зависимости от типа проводимости исходного материала [1–3]. В связи с этим важно исследовать функциональные характеристики таких структур с целью их использования для элементной базы в микро- и оптоэлектронике. В данной работе приведены результаты исследований эффекта переключения с электрической памятью в теллуриде кадмия при температуре 300 К, проявляющегося после облучения кристаллов импульсами излучения лазера.

Исследования проведены на монокристаллах  $n$ -CdTe, легированных индием, и поликристаллических пленках  $p$ -CdTe. Образцы  $n$ - и  $p$ -типов CdTe были высокоомными. Удельное сопротивление ( $\rho$ ) кри-

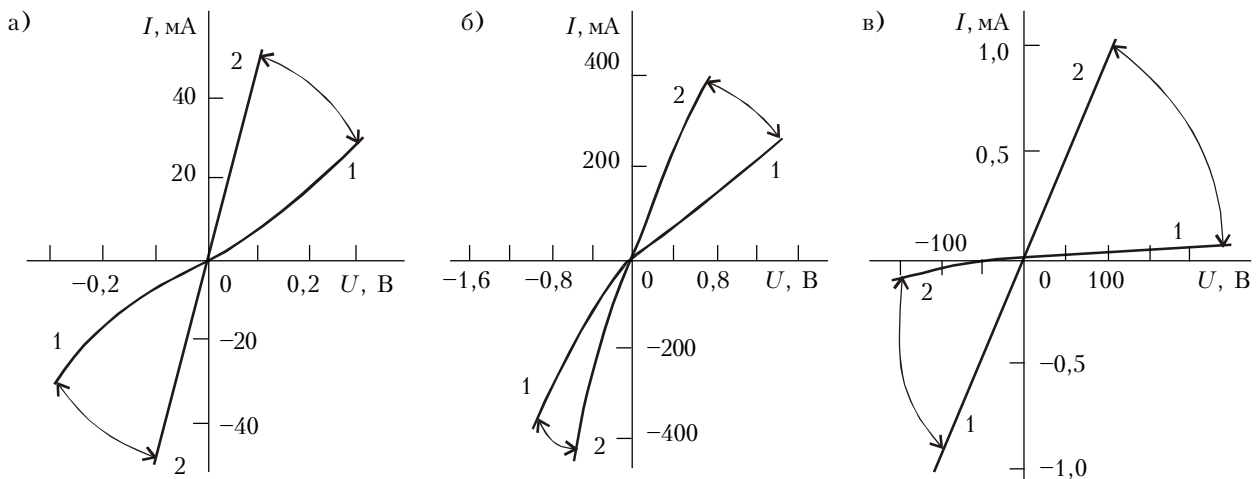
сталлов  $n$ -CdTe в зависимости от концентрации легирующих примесей индия составляли  $10^5$ – $10^9$  Ом·см, а пленок  $p$ -CdTe —  $10^{12}$  Ом·см. Образцы облучались импульсами излучения рубинового лазера, работающего в режиме модулированной добротности, длительностью импульса  $2 \cdot 10^{-8}$  с. Облучение проводилось при комнатной температуре с плотностью мощности излучения ниже порога разрушения материала.

После облучения образуется гетероструктура CdTe—Te, о чем свидетельствуют данные по спектру комбинационного рассеяния света. Толщина слоя Te варьировалась (в основном, в зависимости от мощности лазерного излучения [1–3]) в пределах  $\sim 10$ – $300$  Å. Контакты напылялись как со стороны CdTe, так и со стороны слоя Te. В качестве контактов со стороны  $n$ -CdTe использовался слой индия, в случае  $p$ -CdTe сначала осаждали медь, затем наносили индий. Известно, что теллур имеет всегда  $p$ -тип проводимости [4], поэтому со стороны Te напылялся электрод из сплава (50% Pb + 50% Sn).

На рисунке приведены вольт-амперные характеристики (ВАХ) при температуре 300 К структур, полученных в результате лазерного облучения с плотностью мощности  $8$  МВт/см<sup>2</sup>. Характерной особенностью структуры является то, что для CdTe:In с  $\rho \sim 10^5$  Ом·см при приложении напряжения  $0,3$  В в прямом смещении происходит переключение гетероструктуры из высокоомного 1 в низкоомное состояние 2 (см. рис., а). При этом сопротивление структуры падает до десятков Ом. В связи с этим во избежание пробоя структуры In—CdTe—Te—(Pb+Bi) значение тока ограничивалось нагрузочным сопротивлением. Для CdTe:In с  $\rho \sim 10^9$  Ом·см переключение из состояния 1 в 2 происходит при  $U_{п} = 1,4$  В (рис., б).

Эффект переключения с памятью наблюдается как в толстых ( $d=2$  мм) кристаллах  $n$ -CdTe, так и в тонких пленках ( $d=100$  мкм)  $p$ -CdTe. Ход ВАХ  $p$ -CdTe такой же, как и для CdTe:In, а значения пороговых напряжений и тока составляют  $200$  В и  $1$  А (рис., в).

Низкоомное состояние во всех структурах сохраняется в течение нескольких месяцев при нулевом смещении и может быть возвращено в высокоомное состояние при приложении обратного смеще-



Вольт-амперные характеристики CdTe *n*- и *p*-типов проводимости при 300 К:  
*a* — *n*-CdTe с  $\rho=10^5$  Ом·см; *b* — *n*-CdTe с  $\rho=10^9$  Ом·см, *v* — *p*-CdTe

ния. Характеристика "ток — напряжение" низкоомного состояния линейная. Высокоомное состояние стабильно и сохраняется бесконечно долго при нулевом смещении.

Одним из параметров, характеризующих эффект переключения, является время переключения. В наших структурах время переключения составляет 10–100 нс.

Анализ ВАХ показывает, что исходные кристаллы имеют линейную зависимость тока от приложенного напряжения. Поэтому важно выяснить, с чем (объемом или поверхностью) связаны процессы, вызывающие эффект переключения с памятью в CdTe после лазерного облучения. С этой целью облученные образцы промывались в растворе 1н КОН в метаноле, т. е. с поверхности образцов удалялся слой Te, образующийся в результате лазерного облучения [2]. Исследование ВАХ образцов показало, что после смывки слоя Te полностью исчезает эффект переключения с памятью. Это свидетельствует о том, что эффект переключения с памятью связан именно с образованием на поверхности CdTe тонкой пленки Te в результате лазерного облучения.

Такой же эффект переключения и электрической памяти в кристаллах CdTe наблюдался в работе [5]. Ход ВАХ соответствовал моностабильному переключению, и повторное переключение происходило при кратковременном химическом травлении образцов. Поэтому предполагаем, что и в этом случае эффект переключения обусловлен слоем Te, поскольку после химического травления последний присутствует на поверхности кристалла [6]. Очевидно, что предлагаемая нами в этой работе методика получения структур со свойством переключения с памятью достаточно проста и надежна.

Механизмы эффекта переключения с памятью требуют специального исследования.

Таким образом, после лазерного облучения исходного CdTe, независимо от типа проводимости и кристаллической структуры, образуется гетероструктура CdTe—Te, которая обладает свойством переключения с памятью. При нулевом смещении электрическая память сохраняется в течение нескольких месяцев.

Результаты данной работы могут быть использованы как для получения новых материалов, так и для создания переключающих элементов с памятью на основе CdTe

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Артамонов В. В., Байдуллаева А., Валах М. Я. и др. Стимулированное лазерным излучением изменение свойств приповерхностной области кристаллов  $A_2B_6$  // Изв. АН СССР, сер. Физическая. — 1988. — Т. 52, № 6. — С. 1831–1838.
2. Байдуллаева А., Власенко А. И., Гнатюк В. А. и др. Фотоэлектрические свойства пленок теллурида кадмия, подвергнутых лазерному облучению // Физика и техника полупроводников. — 1993. — Т. 27, вып. 1. — С. 56–59.
3. Бабенцов В. Н., Байдуллаева А., Власенко А. И. и др. Механизмы образования нарушенного слоя в *p*-CdTe под действием лазерных импульсов наносекундной длительности // Там же. — 1993. — Т. 27, вып. 10. — С. 1618–1623.
4. Чижиков Д. М., Счастливый В. П. Теллур и теллуриды. — М.: Наука, 1966.
5. Дымко Л. Н., Кица М. С., Лихобабин Н. П. Исследование эффекта переключения в монокристаллах CdTe // Физическая электроника (Львов). — 1987. — № 34. — С. 33–36.
6. Amirharaj P. M., Pollak P. H. Raman slattering study of the properties and removal of excess Te on CdTe surfaces // Appl. Phys. Lett. — 1984. — Vol. 45, N 7. — P. 789–791.