

ВЛИЯНИЕ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ Cd⁺ НА ЭЛЕКТРОННУЮ СТРУКТУРУ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ZnTe

Ж.Б. Хужаниёзов, Д.А. Ташмухамедова, М.Б. Юсупжонова,

А.Н. Ураков, А.У. Хужаниязова, Б.Е. Умирзаков

Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова,

Ташкент, Узбекистан, ftmet@mail.ru

Методами ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии, спектроскопии поглощения (прохождения) света исследовано влияние имплантации ионов Cd⁺ и последующего отжига на электронную структуру монокристаллического ZnTe (111). Показано, что при бомбардировке ионами Cd⁺ с E₀ = 1 кэВ при дозе насыщения D_h = (6-8) · 10¹⁶ см⁻² происходит полное разупорядочение ионно-легированных слоев и metallизация поверхности. Дальнейший прогрев при T = 850 К приводит к формированию однородной сплошной пленки Zn_{0.5}Cd_{0.5}Te с толщиной 30-35 Å.

Ключевые слова: ионная имплантация; коэффициент отражения света; коэффициент поглощения света; плотности состояния электронов; ширина запрещенной зоны.

EFFECT OF Cd⁺ ION IMPLANTATION ON THE ELECTRONIC STRUCTURE OF MONOCRYSTALLINE ZnTe

Jumanazar Khujaniyozov, Dilnoza Tashmukhamedova,

Maxsuna Yusupjanova, Azim Urakov,

Aziza Xujaniyazova, Baltohodja Umirzakov

Tashkent State Technical University named after Islam Karimov,

Tashkent, Uzbekistan, ftmet@mail.ru

The influence of Cd⁺ ion implantation and subsequent annealing on the electronic structure of single-crystal ZnTe (111) was studied using ultraviolet photoelectron spectroscopy and light absorption (transmission) spectroscopy. It was shown that bombardment with Cd⁺ ions with E₀ = 1 keV at a saturation dose of D_{sat} = (6-8) · 10¹⁶ cm⁻² resulted in complete disordering of the ion-doped layers and metallization of the surface. Further heating at T = 850 K resulted in the formation of a homogeneous continuous Zn_{0.5}Cd_{0.5}Te film with a thickness of 30-35 Å.

Keywords: ion implantation; light reflection coefficient; light absorption coefficient; electron state densities; the width of the forbidden zone.

Введение

В последние годы соединения A^{II}B^{VI} все больше рассматриваются как материалы для использования в солнечной энергетике [1-4]. Они обладают высоким квантовым выходом в зеленой области спектра и представляются очень перспективными для преобразования солнечной энергии в электрическую. Одной из причин, затрудняющих практическое использование гетероструктур на основе соединений CdTe и ZnTe, является заметное несоответствие их кристаллических решеток. В результате на границах раздела возникают механические напряжения, которые могут приводить к разрушению структуры. Из-за несовпадения решеток величина разры-

ва зон известна довольно приблизительно. Так, разброс опубликованных данных о разрыве зон в валентной зоне гетероструктур CdTe/ZnTe достигает ±10% от средней ширины запрещенной зоны [5, 6].

Данные ряда работ [7-9] для гетероструктур бинарных полупроводников, в частности, для системы CdTe/ZnTe с одной и той же номинальной толщиной узкозонного слоя, существенно различаются относительно энергетического положения и формы полосы излучения. Это свидетельствует о сильной зависимости реального строения тонкого слоя от технологических условий его формирования. Для системы CdTe/ZnTe эта проблема актуальна, в частности, в связи с интересом к

КТ CdTe, содержащим точно контролируемое количество магнитных ионов Mn^{2+} [10].

В последнее годы метод низкоэнергетической ионной имплантации широко используется для контролируемого изменения состава, структуры и свойств материалов различной природы [11-13].

Данная работа посвящена модификации поверхности монокристаллических пленок ZnTe имплантацией ионов Cd^+ в сочетании с прогревом и изучению механизмов изменения их электронной структуры.

Методика эксперимента

Образцы устанавливали в сверхвысоковакуумный прибор, который состоит из двух отсеков. В первом отсеке проводили отжиг, термическое окисление и ионную бомбардировку. Во втором исследовали состав, плотность состояния валентных электронов, зонно-энергетические параметры эмиссионные и оптические свойства.

В качестве объектов исследования использованы хорошо полированные и обработанные в травителе монокристаллические образцы ZnTe (111) и пленки ZnTe/Si(111) n-типа. Основные исследования проводили при вакууме не хуже 10^{-7} Па с использованием методов ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии (УФЭС) и спектроскопии упруго-отраженных электронов (СУОЭ).

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Изучение электронной структуры (плотности состояния электронов и параметров энергетических зон) поверхностных слоев осуществлялись с использованием методов УФЭС и спектроскопии поглощения света.

На рис. 1 приведены спектры фотоэлектронов снятых при $h\nu = 10.8$ эВ для ZnTe, имплантированного ионами Cd^+ с $E_0 = 1$ кэВ при $D = 8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ до и после прогрева при $T = 850$ К.

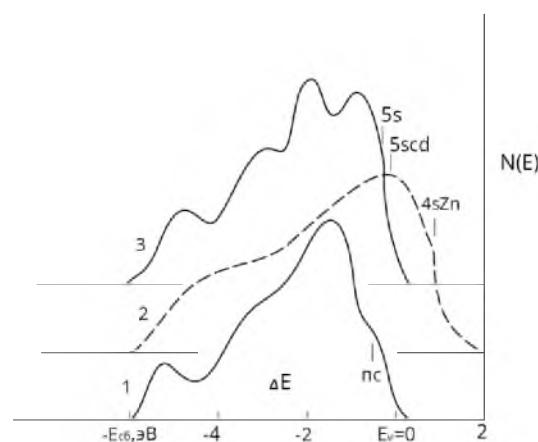


Рис. 1. Спектры фотоэлектронов: 1 – чистый ZnTe, 2 – ZnTe, имплантированный ионами Cd^+ с $E_0 = 1$ кэВ при $D = 8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$, 3 – после прогрева при $T = 850$ К

Структура этих спектров отражают плотности состояния валентных электронов исследуемых материалов [14]. В спектре чистого ZnTe обнаруживается 2 пика при энергиях связи ~ -1.4 и -5.1 эВ, а также особенности при $E_{\text{св}} = -0.5$ эВ, по-видимому, связанного с наличием поверхностных состояний.

После ионной имплантации начало спектра смещается в сторону больших энергий до ~ 1.8 эВ, наблюдается увеличение ширины спектра ΔE , исчезают основные пики характерные для ZnTe (111), появляются новые пики, по-видимому, характерные для Zn, Cd и их соединений.

В таблице 1 приведены зонно-энергетические и оптические параметры, полученные на основе спектров фотоэлектронов и поглощения света ZnTe и $Cd_{0.5}Zn_{0.5}Te/ZnTe$, где E_v – потолок валентной зоны, χ – сродство к электрону, E_F – уровень Ферми, R – коэффициент отражения света, K – коэффициент поглощения света.

Значение E_v определяли по формуле $E_v = h\nu - \Delta E$. ΔE – ширина спектра фотоэлектронов. Оптические параметры определены при $h\nu = 1.2$ эВ.

Из таблицы видно, что зонно-энергетические и оптические параметры пленки $Cd_{0.5}Zn_{0.5}Te$ и ZnTe заметно отличаются друг от друга. В частности, значение E_g трехкомпонентной пленки состав-

Табл. 1. Зонно-энергетические и оптические параметры исследованных пленок

Исследуемые объекты	Параметры зон, эВ			Оптические параметры при $h\nu = 1.2$ эВ		
	E_v	E_g	χ	R	T	K
ZnTe	5.3	2.35	2.95	22	78	0
$Cd_{0.5}Zn_{0.5}Te$	5.35	1.75	3.6	26	74	0

ляет ~ 1.75 эВ, а подложки 2.35 эВ. Дальнейшие исследования показали, что при увеличении T до 900 К значение x в системе $Zn_{1-x}Cd_xTe$ составляла ~ 0.6 , а при T = 950 К – 0.8. При T = 1000-1050 К происходит испарение всех атомов Cd. Изменяя энергию Cd в пределах 1 – 10 кэВ, можно контролируемо изменять толщину пленки $Zn_{1-x}Cd_xTe$ от 30 – 35 Å до 900 – 1000 Å.

Заключение

Имплантацией ионов Cd^+ в ZnTe с последующим прогревом до T = 850 К получены однородные гладкие пленки $Cd_{0.5}Zn_{0.5}Te$ с толщиной 30-35 Å.

Библиографические ссылки

1. Zhang L., Liu C., Yang Q., Cui L., Zeng Y., Growth and characterization of highly Nitrogen doped ZnTe films on GaAs (001) by molecular beam epitaxy. *Mater. Sci. Semicond. Process.* 2015; 29: 351-356.
2. Dunstan D.J., Prins A.D., Gil B., Faurie J.P. *Phys. Rev. B* 1991; 44(8): 4017.
3. Ilanchezhiyan P., Mohan Kumar G., Xiao F., Madhankumar A., Siva C., Yuldashev Sh.U., Cho H.D., Kang T.W., Interfacial charge transfer in ZnTe/ZnO nano arrayed heterostructures and their improved photoelectronic properties. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 2018; 183: 73-81.
4. Zhu X., Wu J., Li W., Liu C., Zhang J., Hu S., Exploring epitaxial growth of ZnTe thin films on Si substrates. *Vacuum* 2022; 202: 111163.
5. Ergashov Y.S., Tashmukhamedova D.A., Djurabekova F.G., Umirzakov B.E. Effect of surface microroughness on the composition and electronic properties of CdTe/Mo(111) films. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics* 2016; 80(2): 138.
6. Sahana Nagappa Moger, Mahesha M.G. Investigation on $ZnTe/Cd_xZn_{1-x}Te$ heterostructure for photodetector applications. *Sensors and Actuators A: Physical* 2020; 315: 112294.
7. Kapitonov A.M., Woggon U., Kayser D., Hommel D., Itoh T. *J. Lumin.* 2005; 112: 177.
8. Kim J.S., Kim H.M., Park H.L., Choi. J.C. *Solid State Commun.* 2006; 137: 115.
9. Абдуваитов А.А., Болтаев Х.Х., Умирзаков Б.Е., Ташмухамедова Д.А., Абдурахмонов Г., Изучение изменения состава поверхности CdTe при имплантации ионов O_2^+ и последующего отжига. *Известия РАН. Серия физическая* 2024; 88(11): 159-163.
10. Sawicki K., Malinowski F.K., Galkowski K., Jakubczyk T., Kossacki P., Pacuski W., Suffczynski J. *Appl. Phys. Lett.* 2015; 106: 012101.
11. Chemam R., Bouabellou A., Grob J.J., Muller D., Schmerber G. ZnTe nanoparticles formed by ion implantation in a SiO_2 layer on silicon. *Nucl. Instr. and Meth. B* 2004; 216: 116-120.
12. Ташмухамедова Д.А., Исследование состава и электронной структуры границы раздела $Co-Si_2/Si$. *Известия РАН. Серия Физическая* 2006; 70(8): 1230-1232.
13. Ghosh K., Ghorai G., Sahoo P.K., Cathodoluminescence and structural properties of ZnTe nanocrystals synthesized from Te/ZnO thin films. *Journal of Alloys and Compounds* 2023; 960: 170655.
14. Boltaev Kh.Kh., Tashmukhamedova D.A., Umirzakov B.E., Structure and electronic properties of nanoscale phases and nanofilms of metal silicides produced by ion implantation in combination with annealing, *Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques* 2014; 8(2): 326-331.