

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 $E_0 = 1$ кэВ при дозе насыщения $D_n = (6-8) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ происходит полное разупорядочение ионно-легированных слоев и металлизация поверхности. Дальнейший прогрев при $T = 850$ К приводит к формированию однородной сплошной пленки $\text{Zn}_{0.5}\text{Cd}_{0.5}\text{Te}$ 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 $E_0 = 1$ keV at a saturation dose of $D_{\text{sat}} = (6-8) \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ 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 $\text{Zn}_{0.5}\text{Cd}_{0.5}\text{Te}$ 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 $\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{VI}}$ 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 $\pm 10\%$ 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.

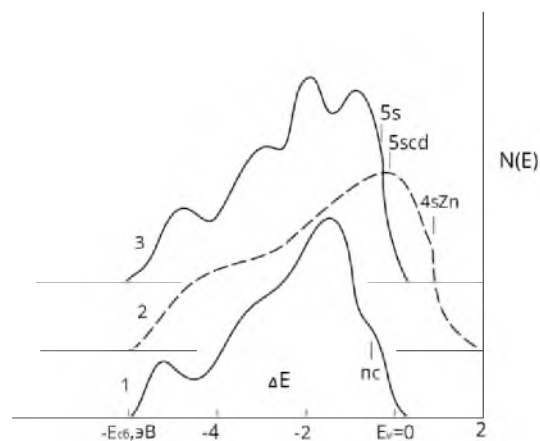


Рис. 1. Спектры фотоэлектронов: 1 – чистый ZnTe, 2 – ZnTe, имплантированный ионами Cd^{+} с $E_0 = 1$ кэВ при $D = 8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$, 3 – после прогрева при $T = 850$ К

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 $E_{св} = -0.5$ 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

- 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.
- Dunstan D.J., Prins A.D., Gil B., Faurie J.P. *Phys. Rev. B* 1991; 44(8): 4017.
- 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.
- 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.
- Ergashov Y.S., Tashmukhamedova D.A., Djura-bekova 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.
- Sahana Nagappa Moger, Mahesha M.G. Investigation on ZnTe/Cd_xZn_{1-x}Te heterostructure for photo-detector applications. *Sensors and Actuators A: Physical* 2020; 315: 112294.
- Kapitonov A.M., Woggon U., Kayser D., Hommel D., Itoh T. *J. Lumin.* 2005; 112: 177.
- Kim J.S., Kim H.M., Park H.L., Choi. J.C. *Solid State Commun.* 2006; 137: 115.
- Абдувайтов А.А., Болтаев Х.Х., Умирзаков Б.Е., Ташмухамедова Д.А., Абдурахмонов Г., Изучение изменения состава поверхности CdTe при имплантации ионов O₂⁺ и последующего отжига. *Известия РАН. Серия физическая* 2024; 88(11): 159-163.
- Sawicki K., Malinowski F.K., Galkowski K., Jakubczyk T., Kossacki P., Pacuski W., Suffczynski J. *Appl. Phys. Lett.* 2015; 106: 012101.
- Chemam R., Bouabellou A., Grob J.J., Muller D., Schmerber G. ZnTe nanoparticles formed by ion implantation in a SiO₂ layer on silicon. *Nucl. Instr. and Meth. B* 2004; 216: 116-120.
- Ташмухамедова Д.А., Исследование состава и электронной структуры границы раздела Co-Si₂/Si. *Известия РАН. Серия Физическая* 2006; 70(8): 1230-1232
- 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.
- 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.