

АНОТАЦІЯ

Дипломна робота виконана на 113 сторінках, вони містять 6 розділів, 53 ілюстрацій, 25 таблиць та 53 джерела в переліку посилань.

Предмет роботи – дослідження оптоелектронних властивостей напівпровідникових плівок CuAlO_2 *p*-типу провідності.

Метою роботи є досягнення, зіставних з результатами інших дослідників, оптоелектронних властивостей плівок CuAlO_2 при використанні методу реактивного іонно-променевого розпилення.

У першому розділі розглянуто основні методи нанесення тонких плівок і їх особливості.

У розділі 2 зроблено огляд головних методів дослідження структури, поверхні, складу, оптичних та електричних властивостей тонких плівок.

Третій розділ присвячено літературному аналізу відомих способів отримання тонких плівок CuAlO_2 .

В розділі 4 описується застосований експериментальний метод іонно-променевого розпилення і технологічні режими осадження плівок CuAlO_2 .

У п'ятому розділі представлено результати досліджень характеристик отриманих тонких плівок CuAlO_2 .

У розділі 6 проведено маркетинговий аналіз задля виявлення ринкових можливостей використання результатів роботи.

Робота виконана згідно вимог нормативних документів НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» та чинних державних стандартів.

Ключові слова: тонкі плівки CuAlO_2 , прозорі провідні оксиди, реактивне іонно-променеве розпилення, провідність *p*-типу, прозора електроніка, ППО.

ABSTRACT

This thesis is made on 113 pages, it contains 6 chapters, 53 figures, 25 tables and 53 sources in the list of references.

Subject Work - study of optoelectronic properties of semiconductor films CuAlO_2 p-type conductivity.

The aim is to achieve, comparable with those of other researchers, the optoelectronic properties of films CuAlO_2 when using reactive ion-beam sputtering.

In the first chapter the basic methods of applying thin films and their features.

Chapter 2 reviews the main methods for studying the structure, surface structure, optical to electrical properties of thin films.

The third chapter is dedicated to the literary analysis of known ways to get thin film CuAlO_2 .

Section 4 describes the experimental method used ion-beam sputtering and technological modes of film deposition CuAlO_2 .

The fifth section presents the results of research obtained characteristics of thin films CuAlO_2 .

Chapter 6 conducted market analysis in order to identify market opportunities using the results.

Work carried out in accordance with regulations NTUU "Igor Sikorsky KPI" and the current state standards.

Keywords: CuAlO_2 thin films, transparent conductive oxides, reactive ion-beam sputtering, p-type conductivity, transparent electronics, TCO.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. H. Kawazoe. P-type electrical conduction in transparent thin films of CuAlO_2 / M. Yasukawa, H. Hyodo, M. Kurita, H. Yanagi, H. Hosono // Nature. – 1997. – Vol. 389, 30. – P. 939
2. J. Cai, H. Gong. The influence of Cu/Al ratio on properties of chemical-vapor-deposition-grown *p*-type Cu–Al–O transparent semiconducting films // J. Appl Phys. – 2005. – Vol. 98. – P. 033707
3. Tonooka K. Properties of copper–aluminum oxide films prepared by solution methods / K. Shimokawa, O. Nishimura // Thin Solid Films. – 2002. – Vol. 411. – P. 129-133
4. S. Gao. Preparation of CuAlO_2 nanocrystalline transparent thin films with high conductivity/ Y. Zhao, P. Gou, N. Chen, Y. Xie // Nanotechnology. – 2003. – Vol. 14. – P. 538
5. K. Nomura . Thin-film transistor fabricated in single-crystalline transparent oxide semiconductor / H. Ohta, K. Ueda, T. Kamiya, M. Hirano, H. Hosono // Science. – 2003. – Vol. 300. – P. 1269
6. A. Kudo. SrCu_2O_2 : A *p*-type conductive oxide with wide band gap / H. Yanagi, H. Hosono, H. Kawazoe // Appl. Phys. Lett. – 1998. – Vol. 73. – P. 220
7. Y. R. Ryu. Synthesis of *p*-type ZnO films / S. Zhu, D. C. Look, J. M. Wrobel, H. M. Jeong, H. W. White // J. Crystal Growth. – 2000. – Vol. 216. – P. 330
8. M. A. Marquardt. Crystal chemistry and electrical properties of the delafossite structure / N. A. Ashmore, D. P. Cann // Thin Solid Films. – 2006. – Vol. 496. – P. 146
9. C. H. Ong. Effects of aluminum on the properties of *p*-type Cu–Al–O transparent oxide semiconductor prepared by reactive co-sputtering / H. Gong // Thin Solid Films. – 2003. – Vol. 445. – P. 299
10. Z. Lockman. Rapid formation of transparent CuAlO_2 thin film by thermal annealing of Cu on Al_2O_3 / L.P. Lin, C.K. Yew, S.D. Hutagalung // Sol. Energy Mater. Sol. Cells. – 2009. – Vol. 93. – P. 1383

11. J. Bandara. P-type oxide semiconductors as hole collectors in dye-sensitized solid-state solar cells / J.P. Yasomanee // *Semicond. Sci. Technol.* – 2007. – Vol.22. – P.20
12. R. Brahimi. CuAlO₂/TiO₂ heterojunction applied to visible light H₂ production / Y. Bessekhoud, A. Bouguelia, M. Trari // *J. Photochem. Photobiol.* – 2007. – Vol.186. – P.242
13. X.G. Zheng. Room temperature sensing of ozone by transparent p-type semiconductor CuAlO₂ / K. Taniguchi, A. Takahashi, Y. Liu, C.N. Xu // *Appl. Phys. Lett.* – 2004. – Vol.85. – P.1728
14. Петухов В.Ю. Ионно-лучевые методы получения тонких пленок: учебно-методическое пособие для студентов физического факультета/ Петухов В.Ю., Гумаров Г.Г.- Казань, 2010.- 87 с.
15. Смирнов В. И. Физико-химические основы технологии электронных средств: учебное пособие/ Смирнов В. И.- Ульяновск: УлГТУ, 2005.- 112 с.
16. Проценко І.Ю. Прилади і методи дослідження плівкових матеріалів: навчальний посібник/ Черноус А.М., Проценко С.І. – Суми: Вид-во СумДУ, 2007. – 264с.
17. Кузьмичев А. И. Магнетронные распылительные системы. Книга 1. Введение в физику и технику магнетронного распыления. – М.: Аверс, 2008. – 244 с.
18. Аброян И.А. Физические основы электронной и ионной технологии/ Аброян И.А., Андронов А.Н., Титов А.И.- М.: Высшая школа, 1984.- 320с
19. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. — М.: Физматлит, 2007. — 416 с.
20. Изучение устройства и принципов работы вакуумно-технологической системы, реализующей корпускулярно-лучевые методы. — Режим доступа до ресурсу: <http://mt11.bmstu.ru/method/104>
21. Федоров А.В. Физика и технология гетероструктур, оптика квантовых наноструктур: учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009.- 195 с
22. Газофазная эпитаксия / Федеральный интернет-портал "Нанотехнологии и наноматериалы". – Режим доступа до ресурсу:

http://www.portalnano.ru/read/tezaurus/definitions/vapor-phase_epitaxy

23. Крылова, Т. Н. Интерференционные покрытия / Т. Н. Крылова. – Л.: Машиностроение, 1973. – 224 с
24. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. – М.: Техносфера, 2005. – 144 с.
25. Руководство пользователя. Зондовая нанолaborатория «Интегра», СЗМ «NanoEducator». – М.: (Зеленоград). ЗАО «Нанотехнология – МДТ», 2007. – 410 с
26. Путилин, Э.С. Оптические покрытия / Э.С. Путилин. – СПб: ГУИТМО, 2005. – 230 с
27. Atomic-force microscopy – Wikipedia. – Режим доступа до ресурсу:
https://en.wikipedia.org/wiki/Atomic-force_microscopy
28. Руководство пользователя. СЗМ “Solver PRO”. –М.: ЗАО «Нанотехнология – МДТ», 2006. –156 с.
29. Смирнов, В. И. Неразрушающие методы контроля параметров полупроводниковых материалов и структур : учебное пособие . – Ульяновск: УлГТУ, 2012. – 75 с
30. Современная кристаллография. под. ред. Б.К. Вайнштейна, А.А. Чернова, Л.А. Шувалова. — Москва : Наука, 1980. — Т. 1 : 375 с.
31. А.В. Пирогов, Н.В. Малехонова, А.И. Бобров, Н.О. Кривулин, Д.А. Павлов. Энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия. Электронное учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014. –73 с
32. Energy-dispersive X-ray spectroscopy – Wikipedia. – Режим доступа до ресурсу:
https://en.wikipedia.org/wiki/Energy-dispersive_X-ray_spectroscopy
33. В.А. Швец, Е.В. Спесивцев, С.В. Рыхлицкий, Н.Н. Михайлов. Эллипсометрия – прецизионный метод контроля тонкопленочных структур с субнанометровым разрешением. – 2009.- №3-4.- с. 72-84
34. Ellipsometry – Wikipedia. – Режим доступа до ресурсу:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Ellipsometry>

35. Фелдман Л., Майер Д. Основы анализа поверхности и тонких пленок: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989.- 344 с.
36. Интерференция в тонких пленках. – Режим доступа до ресурсу: http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/Колебания_и_волны.Геометрическая_и_волновая_оптика/08-5.htm
37. Michelson interferometer – Wikipedia. – Режим доступа до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Michelson_interferometer
38. Брук В.А., Гаршенин В.В. Курносков А.И. Производство полупроводниковых приборов: учебное пособие. – М.: Профтехиздат, 1963. – 295 с.
39. Павлов Л.П. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов. – М.: Высш. шк. 1987. - 239 с.
40. Аргентум 107 - Лабораторное оборудование, химреактивы, рН метры. – Режим доступа до ресурсу: <http://argentum107.ru/?m=prosp&an=AWB1>
41. Бёккер Ю. Спектроскопия / Пер. с нем. Л. Н. Казанцевой, под ред. А. А. Пупышева, М. В. Поляковой. — М.: Техносфера, 2009. — 528 с
42. Учебно-методический комплекс «Спектроскопические методы анализа нанокompозитных материалов». – Режим доступа до ресурсу: <http://pandia.org/text/78/416/72022-7.php>
43. H. Yanagi. Electronic structure and optoelectronic properties of transparent p-type conducting CuAlO_2 / Shin-ichiro Inoue, K. Ueda, H. Kawazoe, Hideo Hosono, Noriaki Hamada // Journal of Applied Physics. – 2000. – Vol.88. – P.4159
44. H. Gong. Nanocrystalline p-type transparent Cu–Al–O semiconductor prepared by chemical-vapor deposition with $\text{Cu}(\text{acac})_2$ and $\text{Al}(\text{acac})_3$ precursors / Y. Wang, Y. Luo // Appl. Phys. Lett. – 2000. –Vol.76. – P.3959
45. L. Dloczik. CuAlO_2 prepared by ion exchange from LiAlO_2 / Y. Tomm, R. Könenkamp, M. C. Lux-Steiner, T. Dittrich // Thin Solid Films. – 2004. – Vol.451/452. – P.116
46. C. Bouzidi. Fabrication and characterization of CuAlO_2 transparent thin films prepared by spray technique / H. Bouzouita, A. Timoumi, B. Rezig // Mater. Sci. Eng. – 2005. – Vol.118. – P.259

47. R. E. Stauber. Thin Film Growth of Transparent p-Type CuAlO_2 / J. Perkins, P. Parilla, D. Ginley // *Electrochem. Sol. State Lett.* – 1999. – Vol.2. – P.654
48. Y. M. Lu. RF reactive sputter deposition and characterization of transparent CuAlO_2 thin films / Y. B. He, B. Yang, A. Polity, N. Volbers, C. Neumann, D. Hasselkamp, B.K. Meyer // *Phys. Stat. Sol. (c)* – 2006. – Vol.3, No.8. – P.2895
49. A.I. Ievtushenko, V.A. Levchenko, M.G. Dusheyko, V.A. Karpyna, O.I. Bykov, P.M. Lytvyn, O.I. Olifan, A.A. Korchovyi, S.P. Starik, S.V. Tkach, E.F. Kuzmenko, G.V. Lashkarev. The influence of substrate temperature on the properties of Cu-Al-O films deposited by reactive ion beam sputtering method // *Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics.* – 2017
50. M. R. Johan. Annealing effects on the properties of copper oxide thin films prepared by chemical deposition / M. S. M. Suan, N. L. Hawari¹, H. A. Ching // *Int. J. Electrochem. Sci.* – 2011. – Vol.6. – P.6094
51. M. Salavati-Niasari. Synthesis and characterization of spinel-type CuAl_2O_4 nanocrystalline by modified sol–gel method / F. Davar, M. Farhadi. // *J Sol-Gel Sci Technol.* – 2009. – Vol.51. – P.48.
52. V.A. Levchenko. CuAlO_2 films formation using the reactive ion beam sputtering method / A.I. Ievtushenko, M.G. Dusheyko, V.A. Karpyna, O.I. Olifan, P.M. Lytvyn, A.A. Korchovyi, S.P. Starik, S.V. Tkach, S.F. Korichev, E.F. Kuzmenko, G.V. Lashkarev // *Proceed. of Ukrainian Conf. with International participation "Chem., phys. and technology of surface"* – Kyiv: proceedings. – 2017. – P.99
53. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с