

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 51 с., 20 рис., 105 джерел.

Ключові слова: ПЛІВКА ZnO, ІОННО-ПРОМЕНЕВЕ РОЗПИЛЕННЯ, ТЕМПЕРАТУРА ПІДКЛАДКИ, СПЕКТРИ ПРОПУСКАННЯ, РЕНГЕНОГРАМА, ШИРИНА ЗАБОРОНЕНОЇ ЗОНИ.

Об'єкт досліджень – плівки ZnO, сформовані методом іонно-променевого розпилення.

Предмет – спектри пропускання плівок ZnO, рентгенограми плівок ZnO, ширина забороненої зони ZnO.

Мета досліджень – встановити залежність оптичних та структурних властивостей плівок ZnO, сформованих методом іонно-променевого розпилення, від температури підкладки

У дипломній роботі відповідно до технічного завдання проведено аналіз технологій отримання плівок ZnO та їх властивостей. Обґрунтовано вибір методу формування плівок.

Проведено аналіз результатів оптичних та структурних характеристик зразків.

Наведено спектри пропускання та рентгенограми плівок оксиду цинку вирощені в залежності від температури підкладки та осаджених при низьких температурах; встановлено залежність ширини забороненої зони оксиду цинку у сформованих плівках від температури підкладки.

## Abstract

Course project: 51 pages, 20 figures, 105 sources.

Keywords: ZnO thin films, ion-beam sputtering, substrate temperature, spectral transmittance, XRD patterns, the band gap.

Object of the research - ZnO thin films formed by ion-beam sputtering.

Item of the research - spectral transmittance, XRD patterns and the band gap of ZnO thin films formed by ion-beam sputtering.

Goal of the research is to establish the dependence of optical and structural properties of ZnO thin films formed by ion-beam sputtering from the temperature of the substrate.

According to the technical task it was analyzed the technologies of ZnO thin films and its properties. The thin films formed.

Method was justified the analysis of the optical and structural characteristics.

Obtained thin films was carried out the spectral transmittance and XRD patterns of ZnO thin films grown in low and various substrate temperature were listed. The dependence of the band gap in ZnO thin films according to the substrate temperature was defined.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Poortmans J. Thin film solar cells: Fabrication, characterization and application / J. Poortmans, V. Arkhipov. – Leuven, Belgium: John Wiley & Sons, Ltd. IMEC, 2006. – p. 471.
2. Фаренбрук А. Солнечные элементы. Теория и эксперимент / А.Фаренбрук, Р. Бьюб. – Москва: Энергоатомиздат, 1987. – С. 280.
3. II – VI compounds as the top absorbers in tandem solar cell structures / P.Mahawela, G. Sivaraman, S. Jeedigunta [et al.] // Materials Sci. Engin. B. – 2005. – V.116. – P. 282-291.
4. Георгобиани А.Н. Широкозонные полупроводники A<sub>2</sub>B<sub>6</sub> и перспективы их применения / А.Н. Георгобиани // УФН.–1974.–Т. 113, №1.– С.129-155.
5. Kasap S. The springer handbook of electronic and photonic materials / S.Kasap, P. Capper. – Berlin: Springer, 2007. – p.1406 .
6. Owens A. Compound semiconductor radiation detectors / A. Owens, A.Peacock// Nucl. Instrum. Methods. – 2004. – V. 531. – P. 18-37.
7. Гринев Б.В. Сцинтиляционные детекторы и системы контроля радиации на их основе / Б.В. Гринев, В.Д. Рыжиков, В.П. Семиноженко. – Київ: Наукова думка, 2007. – С. 446.
8. Викулин И.М. Инжекционные фотоприемники / И.М. Викулин, Ш.Д.Курмашев, В.И. Стафеев // ФТП. – 2008. – Т. 42, В.1. – С. 113-126.
9. Kolodziejski L.A. Wide-bandgap II-VI heterostructures for blue/green optical sources / L.A. Kolodziejski, R.L. Gunshor, A.V. Nurmikko // Annu. Rev. Mater. Sci. – 1995. – V.25. – P. 711-753.
10. Калинин И.П. Эпитаксиальные пленки соединений A<sub>2</sub>B<sub>6</sub> / И.П.Калинкин, В.Б. Алесковский, А.В. Симашкевич. – Ленинград: Изд-во ЛГУ, 1978. – С. 311.
11. Takahashi K. Wide bandgap semiconductors. Fundamental properties and modern photonic and electronic devices / К. Takahashi, А. Yoshikawa, А.Sandhu. – Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2007. – P. 486 .
12. Физика соединений A<sub>2</sub>B<sub>6</sub> / [Под ред. Георгобиани А.Н.]. – Москва: Наука, 1986. – С. 320 .
13. Panchekha P.A. Structure and technology problems of A<sub>2</sub>B<sub>6</sub> semiconductor films / P.A. Panchekha // Functional materials. – 2000. – V.7, №2. – P. 1-5.
14. Панчеха П.А. Гетерофазность и политекстура пленок теллурида кадмия конденсированных из ионно-молекулярного потока / П.А. Панчеха, О.Г.Алавердова, В.И. Гнидаш // УФЖ. – 2000. – Т.45, №1. – С. 75-80.
15. Вакуумное напыление плёнок в квазизамкнутом объеме / Ю.З. Бубнов, М.С. Лурье, Ф.Г. Старос [и др.]. – Москва: Советское радио, 1975. – С. 60 .
16. Lopez-Otero A. Hot-wall epitaxy / A. Lopez-Otero // Thin Solid Films. – 1977.– V.49. – P. 3–57.
17. Опанасюк А.С. Структурні, електрофізичні та оптичні властивості плівок A<sub>2</sub>B<sub>6</sub> і гетеропереходів на їх основі. Дис. ... докт. фіз.-мат. наук: 01.04.01.- Суми, Сумський державний університет, 2011.- С. 378.

18. Petritz R.L. Theory of photoconductivity in semiconductor films / R.L. Petritz // *Phys.Rev.* - 1956. – V.104. – P. 1508-1516.
19. Transport phenomena in high performance nanocrystalline ZnO :Ga films deposited by plasma - enhanced chemical vapor deposition / J.J. Robbins, J. Harvey, J. Leaf [et al.] // *Thin solid films.* – 2005. – V.473, – P. 35-40 .
20. Sliva L. M. Study of structural, electrical, optical and magnetic properties of ZnO based films produced by magnetron sputtering. - M.Sc. Thesis: University of Puerterico / L. M. Sliva. – San- Juan, 2006. – P. 139 .
21. Gaduputi J. Characterization of cadmium zinc telluride films and solar cells on glass and flexible substrates by RF sputtering. - M.Sc. Thesis: University of South Florida / J. Gaduputi. – Talahassi, 2004. – P. 128 .
22. Characteristis of aluminium -doped zinc oxide films prepared by chemical spray pyrolysis / R. Asomoza, H. Malodonado, M. D. Olvera [et al.] // *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* – 2000. – V.11, № 5. – P. 383.
23. Effect of annealing on the electrical and optical properties of electron beam evaporated ZnO thin films / R. Al-Asmara, G. Ferblantier, F. Mailyly [et al.] // *Thin Solid Films.* – 2005. – V.473, №1. – P. 49-53.
24. Chang C.C. Fabrication of high sensitivity ZnO thin film ultrasonic devices by electrochemical etch techniques / C.C. Chang, Y.E Chen // *IEEE T Ultrason.* - 1997. – V.44, №3. – P. 624-628.
25. Pushparajaht P. Properties of ZnO films deposited onto by spray pyrolysis / P. Pushparajaht, A. Kariem Aroft, S. Radhakrishnat // *Phys. D. Appl. Phys.,*– 1994. – V.4, №3- P. 1518 -1521.
26. Studenikin S.A. Optical and electrical properties of undoped ZnO films grown by spray Pyrolysis of zinc nitrate solution / S. A. Studenikin, N. Golege, M. Cocivera // *J Appl. Phys.*– 1998. – V.83, №4. – P. 2104-2111.
27. De Merchant J. Preparation and doping of zinc oxide using spray pyrolysis / J. De Merchant, M. Cocivera // *Chem. Mater.* - 1995. – V.7, №9. – P. 1742-1749.
28. Ultraviolet spontaneous and stimulated emissions from ZnO microcrystallite thin films at room temperature / P. Zu Tang, G. K. L. Wong, M. Kawasaki [et al.] // *Solid State.* –1997. - V. 103, №1. - P. 459-463.
29. Bahadur S. Studies of AlN grown by MOVPE for electronic and optoelectronic applications. – PhD Thesis: Ulm University / S. Bahadur. – Ulm, 2010. – P. 163 .
30. Hu J. Textured Aluminum-doped zinc oxide thin films from atmospheric pressure chemical vapor deposition / J. Hu, R.G. Gordon // *J Appl. Phys.*- 1992. - V.71, №1. - P. 880.
31. Deposition and electrical properties of N-In co doped p-type ZnO films by ultrasonic spray pyrolysis / J. M. Bian, X. M. Li, X. D. Gao [et al.] // *Appl. Phys. Lett.* - 2004. – V.84, №4. – P. 541-543.

32. Young D.L. Structural characterization of zinc stannate thin films / D.L. Young, Williamson, T.J. Coutts // *J Appl. Phys.* – 2002. – V.3, №1 - P. 1464-1471.
33. Igasaki Y. The effects of deposition rate on the structural and electrical properties of ZnO:Al films deposited on (110) oriented sapphire substrates / Y. Igasaki, H. Saito // *J Appl. Phys.*- 1991.- V.70, №3.- P. 3613.
34. P-type ZnO thin films grown by MOCVD / X. Li, S. E. Asher, B. M. Keyes[et al.] // *Materials of the 31st IEEE Photovoltaics Specialists Conference and Song D. Optimisation of ZnO : Al films by change of sputter gas pressure for solar cell application / D. Song, A.G. Aberle, I. Xia // Appl. Surf. Sci.* – 2003. – V.195, №3. – P. 291-296.
35. Shan F. K. Band gap energy of pure and Al-doped ZnO thin films / F.K. Shan, Y.S. Yu // *J Eur. Ceram. Soc.* –2004. –V. 24, №2. - P. 1869-1872.
36. Kim Y.S. Effect of preheating temperature on Structural and optical properties of ZnO thin films by sol-gel process / Y.S. Kim, W.P. Tai, S.J. Shu // *Thin Solid Films.* –2005 –V.491, №1. - P.54–60.
37. Rozati S.M. Influence of substrate temperature on the structure of ZnO:Al thin films / S.M. Rozati, S.H. Akese // *Cryst. Res. Technol.* – 2007. – V.43, №1-3. – P. 273-275.
38. In-situ cleaning and characterization of oxygen and zinc-terminated n-type ZnO(OOOL) surfaces / B.J. Coppa, C.C. Fulton, P. J. Hartlieb [et al.] // *J Appl. Phys.*- 2004. – V.95, №10. – P. 5856-5864.
39. Goerge C.D. Studies of electrical and optical properties of ZnO:Al films / C.D. Goerge, M. Kapur, A. Mitra // *Thin Solids Films.* – 1986. – V.135, №2. – P. 35-
40. Nanostructured ZnO and ZAO transparent thin films by sputtering-surface characterization / M. Sushea, S. Christoulakis, K. Moschovisk [et al.] // *Rev. Adv. Mater. Sci.* – 2005. – V.10, №2. – P. 335-340.
41. Li Q. Durability of nano ZnO antibacterial cotton fabric to sweat / Q. Li // *J. Appl. Polym. Sci.* – 2006. – V.103, №3. – P.41.
42. Thomas J.M. Lattice imperfections in organic solids. Part 3, 4 / J.M. Thomas
43. J.O. Williams, L.M. Turton // *Trans. Faraday Soc.*–1968.–V. 64.–P. 2496-2504.
44. Su. X. Synthesis and photoluminescence of aligned ZnO nanorods by thermal decomposition of zinc acetate at a substrate temperature of ~250°C / X. Su, Z. Zhang, Y. Wang, M. Zhu // *J. Phys. D: Appl. Phys.* – 2005. – V.38, №7. – P.3934-3937.
45. Temperature-dependent photoluminescence of nanocrystalline ZnO thin films grown on Si(100) substrates by the sol-gel process / Y. Zhang, B. Lin, X. Sun [et al.] // *Appl. Phys. Lett.*– 2005.- V.6., №1 - P.66-72.
46. Orton J.W. On the analysis of space-charge-limited-current-voltage characteristics and the density of states in amorphous silicon / J.W.Orton//*Phil. Mag.* – 1984.– V. B49, №1.– P. L1-L7.
47. Injection currents in lamellar crystals of gallium telluride / R.S. Madatov, T.B.Tadiev, I.A. Gabulov [et al.] // *Semicond. Phys. Quant. Electr. Optoelectron.* – 2003. – V.6, №3. – P. 278-281.

48. Сердюк В.В. Фотоэлектрические процессы в полупроводниках /В.В.Сердюк, Г.Г. Чемересюк, М. Терек. – Одесса: Вища школа. Главное издательство, 1982. Influence of interface charge on electrical properties of ZnO/Si Heterojunction / L. Huan, L. C. Hui, L. Bixia [et al.] // Chin. Phys. Lett. - 2005. – V.22, №1. – P. 185-187.
49. Saito M. Antibacterial, Deodorizing, and UV absorbing materials obtained with zinc oxide (ZnO) coated fabrics / M. Saito. - J. Indust. Text. – 1993. – V.473, №23. – P. 150-155.
50. Matare H.F. Carrier transport at grain boundaries in semiconductors / H.F.Matare // J. Appl. Phys. – 1984. – V. 56, № 10. – P. 2605-2631.
51. Subramanyam T. Optimisation of ZnO:Al films by change of sputter gas pressure for solar cell application / T. Subramanyam, B. Srinivasulunaido, S. Uthanna // Cryst. Res. Technol. – 1999. – V. 34, №1. – P.981-988.
52. Song D. Optimisation of ZnO : Al films by change of sputter gas pressure for solar cell application / D. Song, A.G. Aberle, I. Xia // Appl. Surf. Sci. – 2003. – V.195, №3. – P. 291-296.
53. Stafiniak A. Properties of AlN<sub>x</sub> thin films prepared by DC reactive magnetron sputtering / A.Stafiniak, D. Muszynska, A.Szyska // Optica Applicata.-2009.- V.39, №4.- P. 717-722.
54. Belyanen A.F. Impact-resistant protective film coatings based on AlN in electronic engineering / A.F. Belyanen , M.I, Samoelovich , V. D, Zhitkovsky // Technol. Design Electron. Equip. - 2005. – V.5,№1.-P.35-41.
55. Bi Z.X. Dielectric properties of AlN film on Si substrate / Z.X.Bi, Y.D. Zheng, R. Zhang // J Mater. Sci: Mater. Electron. – 2004, - V.15, №3. – P. 317-320.
56. Mohammad S.N. Emerging gallium nitride based devices. / S.N.Mohammad, A.A. Solvador, H.M. Morkoc // Proceedings of the IEEE 83.-1995.- V.5,№ 7. - P. 1346-1355.
57. Горелик С.С. Рентгенографический и электронно оптический анализ / С.С. Горелик, Л.Н. Расторгуев, Ю.А. Скаков. – Приложение. – М.: Металлургия, 1970. – С. 109 .
58. Тарбаев Н.И. Две серии полос «дислокационной» фотолюминесценции в кристаллах теллурида кадмия / Н.И. Тарбаев, Г.А. Шепельский // ФТП. – 2006.– Т.40, №10. – С. 1175-1180.
59. Wienke J. ZnO:In deposition by spray pyrolysis -influence of the growth condition of the electrical and optical properties / J. Wienke, A.S. Booij // Thin Solid Films. – 2007. – V3.№ 4. – P. 5-11.
60. Drabold D.A. Theory of defects in semiconductors / D.A. Drabold, S.K.Estreicher. – Berlin: Springer-Verlag, 2007. – P. 295 .
61. Temperature-dependent dielectric and electro-optic properties of a ZnO-BaTiO<sub>3</sub>- ZnO heterostructure grown by pulsed-laser deposition / B. N. Mbenkum, N. Ashkenov, M. Lorenz [et al.] // Appl. Phys. Lett. – 2005. – V.86, №2. – P. 1904.

62. Aluminum nitride thin films for high frequency smart ultrasonic sensor systems / T. Herzog, S. Walter, S. Hillmann [et al.] // 18th World Conference on Nondestructive Testing Proceedings, -2012. – P. 21-28.
63. Characterization of aluminium nitride nanostructures by XANES and FTIR spectroscopies with synchrotron radiation / S. Balasubramanian, S. Belucci, G. Cinque [et al.] // J. Phys: Cond. Matt.-2006. – V.18. P. S2095-S2104.
64. Group III-Nitride alloys as photovoltaic materials / J.W. Ager-III, J. Wu, K.M. Yu [et al.] // SPIE proceedings of the 4th International conference on Solid State Lighting. – 2004. – P. 308-315.
65. Electronic structure of aluminum nitride: theory and experiment / S. Loughin, R.H. French, W.Y. Ching [et al.] // Appl. Phys. Lett. – 1993. – V.63, №9. – P.1182-1184.
66. Optical properties of AlN determined by vacuum ultraviolet spectroscopy and spectroscopic ellipsometry data / D.J. Jones, R.H. French, H. Müllejans [et al.] // J. Mater. Res. – 1999. – V.14, № 11. – P.4337-4344.
67. Band structure and fundamental optical transitions in wurtzite AlN / J. Li, K.B. Nam, M.L. Nakarmi [et al.] // Appl. Phys. Lett. – 2003. – V.83, № 25. – P. 5163- 5165.
68. Properties of AlN<sub>x</sub> thin films prepared by DC reactive magnetron sputtering / A. Stafiniak, D. Muszynska, A. Szyszka [et al.] // Optica Applicata. -2009. – V.39, № 4. – P. 717-722.
69. Characterization of AlN thin films deposited by DC reactive magnetron sputtering / M. Garcia-Mendez, S. Morales-Rodriguez, R. Machorro [et al.] // Revista mexicana de fisica. – 2008. – V.54, № 4. – P.271 278.
70. Electrical and photovoltaic properties of Zinc-oxide-silicon heterojunctions / F. Zhu, K. Zhang, E. Guenther [et al.] // Thin Solid Films.– 2000. – V.336, №4. – P.314.
71. Chemical inhomogeneity in zinc telluride thin films prepared by thermal evaporation / E.E. Khawaja, M.A. Al-Daous, S.M. Durrani [et al.] // Thin Solid Films. – 2005. – V. 485, №3. – P. 16-21.
72. Murali K.R. Vacuum evaporated CdSe thin films and their characteristics / K.R. Murali, K. Srinivasan, D.C. Trivedi // Mater. Lett.–2005.–V.59.– P.15-18.
73. Composition, structural, dielectric and DC characterization of vacuum-deposited ZnSe thin films / S. Venkatachalam, D. Mangalaraj, S.K.Narayandass [et al.] // Vacuum. – 2007. – V. 81. – P. 928-933.
74. Aqili A.K.S. Characterization of zinc telluride thin films deposited by two source technique and post-annealed in nitrogen ambient / A.K.S. Aqili, Z. Ali, A. Maqsood // J. Crystal Growth.- 2011.- V.317.- P.47-51.
75. Investigation on the properties of molecular beam deposited ZnSe films / C.W.Huang, H.M. Weng, Y.L. Jiang [et al.] // Thin Solid Films. – 2009. – V.517. – P. 3667-3671.

76. Optical properties of ZnTe films prepared by molecular beam epitaxy / D.Franta, I. Ohlidal, P. Klapetek [et al.] // *Thin Solid Films*. – 2004. – V. 468. – P. 193-202.
77. Twin coarsening in CdTe (111) films grown on GaAs(100) / C. Polop, I.MoraSero, C. Munuera [et al.] // *Acta Mat*. – 2006.– V. 54.– P. 4285-4291.
78. Development of tin oxide synthesis by plasma-enhanced chemical vapor deposition / J.J. Robbins, R.T. Alexander, M. Bai [et al.] // *J. Vac. Sci. Technol*. – 2001. – V4., №1.– P. 2762-2766.
79. Natsume Y. Zinc Oxide films prepared by sol-gel spin-coating / Y. Natsume, H. Sakata // *Thin Solid Films*.- 2000. –V.372. -P. 30-36.
80. Plasma - Assisted chemical vapor deposition University of Stanford / D.A. Boyd, L. Greengard, M. Brongersma [et al.] // *California*. – 2006. – V.45. – P. 2592- 2597.
81. Method of control of nitrogen content in ZnO films: structural and photoluminescence properties / J.G. Ma, Y.C. Lin, R. Mu [et al.] // *J. Vac. Sci. Technol*. – 2003. – V.22. – P. 94-98.
82. <http://www2.unine.ch/pv>. . – 2001.
83. Park S.Transparent p-type conducting BaCu<sub>2</sub>S<sub>2</sub> films / S. Park, D.A. Keszler // *Appl. Phys. Lett*. – 2002. – V.180, №23. – P. 4393-4394.
84. Robbins J.J. High mobility oxides: Engineered structures to overcome intrinsic performance limitations of transparent conducting oxides / J.J. Robbins, C. Wolden // *Appl. Phys*.– 2003. – V.83, №19. – P. 3933-3935.
85. Ismail R.A. Preparation and characteristics study of ZnO: (Al , Cu ,I) thin films by chemical spray pyrolysis / R. A. Ismail, A. Al- Naimi, A.A. Al-Ani // *Eur. J. Surf. Sci. Nanotech*. – 2006. – V. 4 – P. 636-639.
86. Banerjee A.N. Recent developments in the emerging field of crystalline p-type transparent conducting oxide thin films / A.N. Banerjee, K.K. Chattopadhyay // *Cryst. Growth Charact. Mater*. - 2005. - V.50. - P. 47-53.
87. Formation of p-type ZnO film on InP substrate by phosphor doping / K. Bang, D. Hwang, M. Park [et al.] // *Appl. Surf. Sci*. – 2003. – V3., №6. - P. 99-104.
88. Kemell M. Electrodeposition of CuInSe<sub>2</sub> and Doped ZnO Thin Film for Solar cells. – M.Sc. Thesis: University of Helsinki / Marrianna Kemell. - Helsinki, 2003. – P. 130 .
89. Lokhande B.J. Structural, optical and electrical studies on spray deposited highly oriented ZnO films / B.J. Lokhande, M.D. Uplane// *Appl. Surf. Sci*.-2000.- V.167.- P. 243–246.
90. Preparation of transparent conducting ZnO: Al films on polymer substrates by R.F. magnetron sputtering / D.H. Zhang, T.L. Yang, J. Ma [et al.] // *Appl. Surf. Sci*. - 2000. - V.158, №110 - P. 43-48.
91. Investigations on solution derived aluminum doped zinc oxide thin films / S.B. Majumder, M. Jain, P. S. Dobal [et al.] // *Mater. Sci. Engin*. – 2003. – V. 103. - P. 16-25.

92. Работкин С.В. Нанесение прозрачных покрытий на основе оксида цинка методом магнетронного распыления. Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.27.02 - Томск, Томский государственный университет системуправления и радиоэлектроники, 2009.- С. 17.
93. Nanda Sh. Structural and optical properties of sol - gel prepared ZnO thin film / Sh.Nanda, P.S Gupta // Appl. Phys. Res. – 2010. – V.2, №1. – P. 19-23.
94. Ali F.A. Effect of annealing on structural and optical properties of ZnO thin films by sol-gel technique / F.A. Ali, C.Sanjeeviraja, V.Swaminathan // Chalc. Lett. -2011. – V.8, №9. – P. 511-514.
95. Alhamed M. Structural and optical properties of ZnO:Al Film prepared by the sol- gel method / M.Alhamed,W.Abdullah // J Electron. device - 2010. – V.7, №1. – P.245-249.
96. Хрипко С.Л. Структурні, електричні та оптичні властивості тонких Плівки ZnO:Al / С.Л. Хрипко // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. - 2009. – Т.7, №3. – С. 833.
97. Large scale fluorine doped textured transparent conducting SnO<sub>2</sub> films deposited by atmospheric pressure chemical vapour deposition / H.L Ma, D.H. Zhang, Y.P. Chen [et al.] // Thin Solid Films.- 1997.- V.298. №2.- P. 151-155.
98. Zhuxi F. Photoluminescence and structure of ZnO films deposited on Si substrates by metal-organic chemical vapor deposition / F. Zhuxi, L. Bixia, J. Zu// Thin Solid Films. – 2002. – V.3№ -2. – P. 302-306.
99. Kenji Y. Structural and magnetic characterization of Mn doped ZnO films grown by sol- gel method / Y. Kenji, O. Satoshio, Y. Minory // J. Mater. Sci. Engin. – 2008. – V.148. – P. 236-240.
100. <http://www.izovac.com/technology/ionbeamsputtering/>
101. Технологія тонких плівок. — Довідник. — Під ред. Л. Майссела, Р. Гленга. Том 1. — М.: Радянське радіо. — 1977.
102. Сушенцов М. І. Основи технології мікроелектроніки / Сушенцов М. І Лабораторний практикум. — Йошкар-Ола. — 2005.
103. Панфілов Ю. Нанесення тонких плівок у вакуумі / Панфілов Ю. "Технології в електронній промисловості, —№ 3'2007», — С 76-80.
104. Григор 'єв Ф. І. Плазмохімічне та іонно-хімічне травлення в технології мікроелектроніки. / Григор 'єв Ф. І. Навчальний посібник. М.: —2003.