

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота виконана на 130 сторінках, вони містять 4 розділи, 40 ілюстрацій, 28 таблиць та 40 джерел в переліку посилань.

Предмет дослідження - технологія зтворення таких тонкоплівкових сенсорів, як надпровідникові тунельні переходи та оптичні хвилеводні сенсори з металічним підслоєм, методи експрес контролю створюємих структур і виявлення зв'язків між властивостями тонких плівок та тонкоплівкових структур з технологічними режимами їх отримання.

Метою роботи є аналіз методів контролю тонкоплівкових сенсорних пристроїв на основі *Nb/Al* технології.

У першому розділі проведено аналіз розвитку технології тонкоплівкових надпровідникових тунельних переходів на сьогоднішній день.

У розділі 2 розглянуто застосування рідинного анодного окислення в технологічних процесах, також досліджено процес формування площі тунельних переходів з використанням двох процесів анодування.

У розділі 3 досліджені технології отримання над провідникових тунельних переходів *Nb/Al-AIO<sub>x</sub>/Nb* за допомогою методів електронно-променевого випаровування та магнетронного розпилення.

В розділі 4 представлена розробка стартап - проекта.

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

## ABSTRACT

This thesis performed at 130 pages, it contains 4 chapters, 40 figures, 28 tables and 40 sources in the list of references.

Subject of research - the technology of creation thin-film sensors as tunnel superconducting transitions and optical waveguide sensors with metallic sublayer, research methods of express control produced structures and identify connections between the properties of thin films and thin film structures with technological modes of their receipt.

The aim is to analyze the methods of control thin film sensor devices based on Nb / Al technology.

The first section analyzes the technology of thin-film superconducting tunnel junctions for nowadays.

Section 2 deals with the use of liquid anodic oxidation in industrial processes, also studied the formation area of tunnel junctions using two anodizing processes.

In Section 3 investigated technologies of semiconductor tunnel junctions Nb / Al-AlO<sub>x</sub> / Nb methods using electron-beam evaporation and magnetron sputtering.

Section 4 Submitted startup - project.

Work carried out in accordance with regulations NTU "KPI" and the current state standards.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Войтович, І.Д.** Інтелектуальні сенсори [Текст] / І.Д. Войтович, В.М. Корсунський // К., Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова: 2007. - С. 16.
2. **Готра, З.Ю.** Технология микроэлектронных устройств [Текст]: Справочник / З.Ю. Готра // М.: «Радио и связь», 1991 - С. 262.
3. **Blamire, M.G.** Microstructure effects on electronic properties of Nb/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Nb tunnel junctions [Text] / M.G. Blamire, R.E. Somekh, Z.N. Barber [et al.] // J. appl. Phys. – 1988. – Vol. 64, № 11. – P. 6396-6405.
4. **Monaco, R.** Investigation of low-temperature I-V curves of high quality Nb/Al-AlO<sub>x</sub>/Nb Josephson Junctions [Text] / R. Monaco, R. Cristiano, L. frunzio and C. Nappi // J. Appl. Phys. – 1992. – Vol. 71, № 4. – P. 1888-1892.
5. **Корнев, В.К.** Эффект Джозефсона и его применение в сверхпроводниковой электронике [Текст] / В.К. Корнев // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – Т. 7, №8. – С. 83-90.
6. **Likharev, K. K.** RSFQ logic/memory family: A new Josephson-junction technology for sub-terahertz clock frequency digital system [Text] / K. K. Likharev, V. K. Semenov // IEEE Trans. on Appl. Supercond. - 1991. - Vol. 1. № 1. - P. 3-23.
7. **Kaplunenko, V K.** Experimental study of the RSFQ logic elements [Text] / V. K. Kaplunenko, M. I. Khabipov V. P. Koshelets [et al.] // IEEE Trans. On Magn. - 1989.-Vol. 25. - P. 861-864.
8. **Chen, W.** Superconductor digital frequency divider operating up to 750 GHz [Text] / W. Chen, A.V. Rylyakov, V. Patel [et al.] // Appl. Phys. Lett. -1998. - Vol. 73, № 19. - P. 2817-2819.
9. **Chen, W.** Rapid single flux quantum T-flip flop operating up to 770 GHz [Text] / W. Chen, A.V. Rylyakov, V. Patel [et al.] // IEEE Trans. on Appl. Supercond. - 1999. - Vol. 9, № 2. - P. 3112-3211
10. **Harris, R.** Sign- and Magnitude- Tunable Coupler for Superconducting Flux Qubits [Text] / R. Harris, A.J. Berkley, M.W. Johnson [et al.] // Phys. Rev.

- Lett. - 2007.-Vo1. 98.- P. 177001
11. **Peacock, T.** Superconducting tunnel junction as detectors for ultraviolet, optical and near infrared astronomy [Text] / T. Peacock, P. Verhoev, N. Rando [et al.] // Astron. Astrophys. Suppl. - 1997, - Vo1. 123. - P. 581-587.
  12. **Shiki, S.** Development of a superconducting tunnel junction as optical detector [Text] / S. Shiki, C. Otani, H. Sato [et al.] // RIKEN Review. - 2002. - Vo1.47. - P. 7-9.
  13. **Kurakado, M.** Further development of series-connected superconducting tunnel junction to radiation detection [Text] / M. Kurakado, D. Oshawa, R. Katano [et al.] // Rev. Sci. Instr. 1997. – Vol. 68. - № 10. - P. 3685-3696.
  14. **Cristiano, R.** Nb-based Josephson junction devices for nuclear radiation detection: Design and preliminary experimental results [Text] / R. Cristiano, E. Esposito, L. Frunzio [et al.] // J.Appl. Phys. - 1994. - Vo1. 75, № 10. - P. 5210-5217.
  15. **Wilson, C.M.** Optical/UV single-photon imaging spectrometers using connected superconducting tunnel junction [Text] / C.M. Wilson, K. Segal, L. Frunzio // Nucl. Instr. Meth. in Phys. Res. A. - 2000. - Vo1. 444. - P. 449-452.
  16. **Kaplan, S.B.** Quasiparticle and phonon lifetimes in superconductors [Text] / S.B. Kaplan, C.C. Chi, D.N. Lanfenberg [et al.] // Phys. Rev. B. - 1976. - Vo1. 14, №11. - P. 4854-4873.
  17. **Andrews, D.H.** Attenuated superconductors For Measuring Infra-Red Radiation [Text] / D.H. Andrews, W.F. Brucksch, W.T. Ziegler and E.R. Blanchard // Rev. Sci. Instrum. - 1942. - Vo1. 13. - P. 281.
  18. **Lee, A.T.** A superconducting bolometer with strong electrothermal feedback [Text] / A.T. Lee, P.L. Richards, Nam Sae Woo // Appl. Phys. Lett. -1996. - Vo1. 69, № 12. - P. 1801-1803.
  19. **Cunningham, M.F.** High-resolution operation of frequency-multiplexed transition-edge photon sensors [Text] / M.F. Cunningham, J.N. Ullom, T. Miyazaki [et al.] // Appl. Phys. Lett. - 2002. - Vo1. 81, № 1. - P. 159-161.

20. **Stahle, C.K.** Microcalorimeter arrays for high resolution soft X-ray spectroscopy [Text] / C.K. Stahle, R.L. Kelley, D. McCammon [et al.] // Nucl. Instrum. Methods phys. Res. A. - 1996. - Vo1. 370, № 1. - P. 173-176.
21. **Якопов, Г.В.** Сверхпроводниковые туннельные переходы (СТП) в спектроскопии высокого разрешения [Текст] / Г.В. Якопов, М.В. Юшкин // Труды международной научно-технической конференции и молодежной школы семинара НАНОТЕХНОЛОГИИ. - Часть 2, Россия, Дивноморское. - 2010. - С. 69-74.
22. **Josephson, B.D.** Possible new effects in superconductive tunneling [Text]/ B.D. Josephson // Physics. Letters. -1962. - Vo1.1. - P. 251-253.
23. **Giaever, I.** Study of Superconductors by Electron Tunneling [Text]/ I. Giaever and K. Megerle // Physical Review. - 1961. - Vo1. 122. - P. 1101-1104.
24. **Янсон, И.К.** Экспериментальное наблюдение туннельного эффекта для куперовских пар с излучением фотонов [Текст] / И.К. Янсон, В.М. Свистунов, И.М. Дмитренко // ЖЭТФ. - 1965. - Т. 48. - С. 976.
25. **Lehnert, T.** Termal annealing properties of *Nb-Al/AlO<sub>x</sub>-Nb tunnel junctions* [Text]/ T. Lehnert, D. Billon, C. Grassl [et al.] //J. Appl. Phys-1993 -Vo1. 27, № 7.-P. 3165-3168.
26. **Blamire, M.G.** Direct observation of atomic planes in epitaxialmultilayers by anodization spectroscopy [Text] / M.O. Blamire, K.H. Huang, R.E. Somekh [et al.] //App1. Phys. Lett.- 1989.-Vo1. 55, № 8.-P. 732-734.
27. **Лебедева, Т.С.** Особенности технологии изготовления и исследования туннельных контактов *Nb/AlO<sub>x</sub>-Al/Nb* [Text]/ Т.С. Лебедева, С.Я. Наваля // Сб. науч. тр.: Физико-технологические разработки в области вычислительной техники-1990-Киев, Институт кибернетики им. В.М. Глушкова.-С. 72-80.
28. **Vojtovich, I.D.** Express-control of thin-film SQUID production by anodization spectroscopy [Text] / , I.D. Vojtovich, T.S. Lebedeva, S. Ya. Navala [et al.] //App1, Supercond.- 1993.-Vo1. 2.- P. 1323-1326.

29. *Lebedeva, T.S.* Investigation of thin-film cryoelectronic structures by anodization spectroscopy method [Text]/ T.S. Lebedeva, S. Ya. Navala, I.D. Vojtovich [et al.]// Сб. науч. тр.: Сверхпроводниковая электроника и биомагнетизм - 1994- Киев.-С. 24-33.
30. *Lebedeva, T.S.* Control of size deviation in the thin-film elements using the anodization profiles of the edges [Text]/ T.S. Lebedeva, P.B. Shpilevoj// Сб. науч. тр.: Сверхпроводниковая электроника и биомагнетизм - 1994-Киев.- С. 33-38.
31. *Lebedeva, T.S.* Express-control of superconducting microcircuits technology by anodization spectroscopy method [Text]/ T.S. Lebedeva, S. Ya. Navala, P.B. Shpilevoj [et al.]// Jour. De Phys.IV. - 1996. - Vol.6. - P. C3-403- 3- 408.
32. *Lebedeva, T.S.* Express-control system of superconducting microcircuits fabrication technology by anodization spectroscopy method [Text]/ T.S. Lebedeva, S. Ya. Navala, P.B. Shpilevoj [et al.]// Jour. De Phys.IV.-1998.-Vol.8. – P.Pr.3-309-Pr.3-315.
33. *Lebedeva, T.S.* Creation and properties of thin-film multilayer structures *Nb/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al/Nb for Josephson junction* [Text]/ T.S. Lebedeva, P.B. Shpilevoj, I.D. Vojtovich // Interface Controlled Materials. - 2005. - Vol. 9.- P. 38-43. (eds M. Ruhle and H.Gleiter), Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, FRG.
34. *Lebedeva, T.S.* Anodization spectroscopy express-control system for thin-film technologies [Text]/ T.S. Lebedeva, P.B. Shpilevoj, I.D. Vojtovich // Metal Matrix Composites and Metallic Foams.-2005.-Vol.5.-P.53-58. (eds T/W? Clyne and F/ Simancik), Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, FRG.
35. *Войтович, И.Д.* Применение контролируемого анодного окисления для экспресс-контроля в технологии пленок и тонкопленочных структур [Текст] / И.Д. Войтович, Т.С. Лебедева, П.Б. Шпилевой // Технология и конструирование электронной аппаратуры. - 2003, № 5. - С. 42-46.
36. *Лебедева, Т.С.* Шпилевой П.Б. Тонкопленочные технологии для сенсорных применений Т.С. Лебедева, П.Б. Шпилевой // Праці міжнародної

конференції 50 років Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України. - 2008. - Київ.-С. 251-257.

37. *Pringle, J.P.S.* The anodic oxidation of superimposed metallic layers: theory [Text]/ J.P.S. Pringle// *Electrochem. Acta.* - 1980. - Vo1. 25. - P. 1423-1437.
38. *Войтович, И.Д.* Разработка и применение метода анодной спектроскопии для анализа криоэлектронных тонкопленочных структур [Текст]/ И.Д. Войтович, Т.С. Лебедева, СЯ. Навала, [и др.] // Труды украинского вакуумного общества. -1997. -Т.3. - С. 371-378.
39. *Лебедева, Т.С.* Применение контролируемого анодного окисления для изготовления и экспресс-контроля СТП-структур [Текст] / Т.С. Лебедева, Д.А. Сеченов, Г.В. Якопов [и др.] // Труды девятой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы твердотельной электроники и микроэлектроники».- 2004-Таганрог. - 4.1. - С. 240-244.
40. *Monaco, R.* Selective trilayer deposition process for fabricating *Nb/AlO<sub>x</sub>-Al/Nb Josephson tunnel junctions* [Text]/ R. Monaco, A. Oliva // *App1. Phys. Lett-* 1994. - Vo1. 64, № 22.- P. 3042-3044.