

АНОТАЦІЯ

Бурлаков В.О. Електрофізичні властивості тонкоплівкових структур феромагнетик-діелектрик-феромагнетик за міграції електропровідних домішок. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – прикладна фізика та наноматеріали.. – Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, Київ, 2020.

Дисертаційну роботу присвячено вивченню зміни типу провідності в тонкоплівкових гетеросистемах феромагнетик – діелектрик – феромагнетик та феромагнетик – напівпровідник з використанням експериментальних та розрахункових методів.

В рамках роботи вперше отримано негативний диференційний опір при дослідженні електричних властивостей систем Fe/MgO/(Fe+C), Fe/MgO/Ni та Fe/MgO/Co. Такого результату вдається досягти завдяки забезпеченню неоднорідності товщини діелектрика при виготовленні зразків та вибору різнотипних металів в якості верхнього та нижнього шару досліджуваної гетероструктури. Це забезпечує відмінність в зонній будові металу інжектора та металу детектора при протіканні струму через відповідний контакт.

Експериментально встановлено, що струм який протікає через отриманий контакт системи Fe/MgO/(Fe+C) стимулює процеси електроміграції вуглецю в залізі. Це в результаті призводить до зникнення області з негативним диференційним опором і зміни провідності на омічну.

Встановлена закономірність, що чим суттєвіший характер зростання струму тим нижча напруга за якої виникає область негативного диференційного опору. За допомогою апроксимації отриманих кривих обраною функцією показано, що на такий характер провідності впливають параметри, що відповідають за тунелювання електрона через потенціальний бар'єр який створює діелектрик. Дослідження електричних властивостей системи за зниження температури показують поліпшення провідності та збільшення показника PVR досліджуваного контакту.

Тривале знаходження зразка системи Fe/MgO/Fe за атмосфери при кімнатній температурі призводить до виникнення випрямляючих властивостей характерних для діода Шотткі, коли струм в одному напрямку відрізняється за величиною від струму в зворотному напрямку. Це спричинено утворенням дефектів в верхньому шарі напорошеного металу пов'язаними з дифузійними процесами окислювання.

Встановлено, що легування вуглецем контактів заліза на напівпровідниковій підкладці *n*-типу провідності призводить до зміни провідності з омічної отриманої для чистого заліза в експоненціальну випрямляючу. Це пов'язано зі збільшенням роботи виходу електронів і відповідно зменшенню енергії Фермі заліза при легуванні вуглецем. З отриманих вольт-амперних характеристик контакту розраховано зміну в роботі виходу електронів в залізі за відповідних умов легування вуглецем.

Розраховано ефективний коефіцієнт дифузії вуглецю в залізі при протіканні електричного струму. Він на три порядки вищий за термоактивований коефіцієнт дифузії, це означає, що в транспортні характеристики вуглецю в залізі для отриманих зразків основний внесок пов'язаний з електроміграцією.

Ключові слова: МТІ, вольт-амперна характеристика, негативний диференційний опір, електродифузія, діод Шотткі, енергія Фермі, робота виходу електронів, феромагнетик, напівпровідник.

ANNOTATION

Burlakov V. O. Electrophysical properties of thin-film structures ferromagnet–dielectric–ferromagnet for migration of electrically conductive impurities. – Manuscript.

Dissertation for a scientific the degree doctor of philosophy, specialty 105 – applied physics and nanomaterials. – G. V. Kurdyumov Institute of Metal Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2020.

As part of the work, a negative differential resistance was obtained for the first time in the study of the electrical properties of the Fe/MgO/(Fe + C), Fe/MgO/Ni and Fe/MgO/Co systems. This result can be achieved by ensuring the inhomogeneity of the dielectric thickness in the manufacturing of samples and the choice of different types of metals as the upper and lower layers of the studied heterostructure. It provides a difference in the band structure of the metal of the injector and the metal of the detector when current flows through the corresponding contact.

It has been experimentally established that the current flowing through the obtained contact of the Fe/MgO/(Fe + C) system stimulates the processes of carbon electromigration in iron. Consequently, the area with negative differential resistance disappears and the conductivity changes to ohmic.

It is established that the faster the current increases, the lower the voltage at which there is a region of negative differential resistance. By approximating the obtained curves by the selected function, it is shown that this nature of conductivity is influenced by the parameters responsible for the tunneling of the electron through the potential barrier created by the dielectric. Studies of the electrical properties of the system with decreasing temperature show an improvement in conductivity and an increase in the PVR of the investigated contact.

Prolonged exposure of the sample of the Fe/MgO/Fe system to the atmosphere at room temperature leads to the rectifying properties characteristic of the Schottky diode, when the current in one direction differs in magnitude from the current in the

opposite direction. This is due to the formation of defects in the upper layer of the powdered metal associated with diffusion oxidation processes.

It is established that carbon doping of iron contacts on a semiconductor substrate of n-type conductivity leads to a change in the conductivity from the ohmic obtained for pure iron to an exponential rectifier. This is due to the increase in the work function of the electrons and, consequently, the decrease in the energy of the ferrous iron during carbon doping. From the obtained volt-ampere characteristics of the contact, the change in the work function of the electrons in the iron during carbon doping was calculated.

The effective diffusion coefficient of carbon in iron during electric current flow is calculated. It is three orders of magnitude higher than the thermally activated diffusion coefficient, which means that the main contribution to the transport characteristics of carbon in the iron of the obtained samples is made by electromigration.

Keywords: MTJ, I-V characteristic, negative differential resistance, electrodiffusion, Schottky diode, Fermi energy, electron output, ferromagnetic, semiconductor.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях

1. Бурлаков В. О. Вплив домішок на електрофізичні властивості магнітного тунельного переходу / В. О. Бурлаков, О. Є. Погорелов, О. В. Філатов. // Металофізика та новітні технології. – 2020. – № 7. – С. 919–928; <https://doi.org/10.15407/mfint.42.07.0919> (за наукометричною базою даних *Scopus* — *квартиль Q3*).
2. Бурлаков В. О. Вплив Карбону на властивості контакту метал–напівпровідник / В. О. Бурлаков, О. Є. Погорелов, О. В. Філатов. // Металофізика та новітні технології. – 2020. – № 9. – С. 1207–1215; <https://doi.org/10.15407/mfint.42.09.1207> (за наукометричною базою даних *Scopus* — *квартиль Q3*).

3. Burlakov V. Change Character of Conductivity in Metal–Insulator–Metal Thin Films / V. Burlakov, O. Filatov, O. Pogorelov // *Phys. Status Solidi B*. – 2020. – P. 2000502; <https://doi.org/10.1002/pssb.202000502> (за наукометричною базою даних *Scopus* — *квартиль Q2*).

4. Бурлаков В. О. Электрофизические свойства плёнок железа, легированных углеродом / В. О. Бурлаков, О. Є. Погорелов, О. В. Філатов. // Вісник Українського матеріалознавчого товариства ім. І. М. Францевича. – 2019. – № 12. – С. 17–20.

**Публікації у міжнародних науково-технічних збірниках
і матеріалах наукових конференцій**

5. Бурлаков В. О., Філатов О. В., Погорелов О. Є., Соляник П.О., Зінова О. С. Окислювальні процеси в тришарових плівкових структурах. Збірник наукових праць. V Міжнародна науково-практична конференція «Структурна релаксація в твердих тілах». – 2015. С. 96.

6. Бурлаков В. О., Філатов О. В., Погорелов О. Є. Вдосконалення сенсорів на МТІ-структурах. Abstract Book of the 8th International Scientific and Technical Conference “Sensors electronics and microsystems technologies” (SEMST-8). – 2018. С. 147–148.

7. Бурлаков В. О., Філатов О. В., Погорелов О. Є. Электрофизичні властивості тонкоплівкових структур феромагнетик–діелектрик–феромагнетик за міграції електропровідних домішок. Збірник тез міжнародної конференції «Функціональні матеріали для інноваційної енергетики – ФМІЕ-2019». – 2019. С. 73.

8. Burlakov V. O., Pogorelov O. E., Filatov O. V. Electrophysical properties thin film iron alloyed by carbon. Abstract Book of the 6th International Conference “HighMathTech 2019”. – 2019. P. 181.

9. Burlakov V. O., Pogorelov O. E., Filatov O. V. Electrophysical properties carbon-doped thin film iron. Abstract Book of the XII International Conference “Electronic Processes in Organic and Inorganic Materials” (ICEPOM-12). – 2020