

Учреждение образования
«Барановичский государственный университет»

Вестник БарГУ

Ежеквартальный научно-практический журнал

Издаётся с марта 2013 г.

Выпуск 4, июнь, 2016.

Серия «Технические науки»

Учредитель: учреждение образования «Барановичский государственный университет».

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор журнала Кочурко Василий Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик Белорусской инженерной академии, академик Международной академии технического образования, академик Международной академии наук педагогического образования, академик Академии экономических наук Украины, Заслуженный работник образования Республики Беларусь, ректор учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Заместитель главного редактора журнала Никишова Алла Васильевна, кандидат филологических наук, доцент, проректор по научной работе учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ СЕРИИ

Главный редактор серии

Алифанов Александр Викторович, лауреат Государственной премии Республики Беларусь в области науки и техники, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры оборудования и автоматизации производства учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Ответственный секретарь серии

Горбач Юлия Евгеньевна, старший преподаватель кафедры экономики и организации производства инженерного факультета учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Редактор текстов на английском языке

Манкевич Жанна Борисовна, кандидат психологических наук, старший преподаватель кафедры теории и практики английского языка учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Гавриленя Андрей Константинович (*ответственный за направление «Машиностроение и машиноведение»*), кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой общенаучных дисциплин инженерного факультета учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Дубень Игорь Викторович (*ответственный за направление «Процессы и машины агроинженерных систем»*), кандидат технических наук, доцент кафедры механизации и энергообеспечения производства инженерного факультета, декан факультета довузовской подготовки учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Анискович Геннадий Иосифович, кандидат технических наук, доцент, доцент учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (Минск, Республика Беларусь).

Белый Алексей Владимирович, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе Государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» (Минск, Республика Беларусь).

Бетяна Григорий Филиппович, кандидат технических наук, доцент, начальник технологического научно-производственного центра учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (Минск, Республика Беларусь).

Гордиенко Анатолий Илларионович, академик Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, начальник Центра индукционных технологий Государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» (Минск, Республика Беларусь).

Девойно Олег Георгиевич, доктор технических наук, профессор, заведующий научно-исследовательской инновационной лабораторией плазменных и лазерных технологий филиала Белорусского национального технического университета «Научно-исследовательская часть» (Минск, Республика Беларусь).

Добышев Анатолий Семёнович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры механизации животноводства и электрификации сельскохозяйственного производства учреждения образования «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» (Горки, Республика Беларусь).

Дремук Владимир Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, декан инженерного факультета учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Ивашко Виктор Сергеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технической эксплуатации автомобилей Белорусского национального технического университета (Минск, Республика Беларусь).

Калугин Юрий Константинович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры машиноведения и технической эксплуатации автомобилей учреждения образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы» (Гродно, Республика Беларусь).

Карташевич Анатолий Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой тракторов и автомобилей учреждения образования «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» (Горки, Республика Беларусь).

Клочков Александр Викторович, доктор технических наук, профессор, профессор учреждения образования «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» (Горки, Республика Беларусь).

Клубович Владимир Владимирович, доктор технических наук, академик Национальной академии наук Беларуси, профессор, заведующий лабораторией пластичности Белорусского национального технического университета (Минск, Республика Беларусь).

Ласковнѳ Александр Петрович, доктор технических наук, академик Национальной академии наук Беларуси, академик-секретарь отделения физико-технических наук Национальной академии наук Беларуси (Минск, Республика Беларусь).

Нерода Михаил Владимирович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии машиностроения учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Спиридонов Николай Васильевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии машиностроения Белорусского национального технического университета (Минск, Республика Беларусь).

Томило Вячеслав Анатольевич, доктор технических наук, доцент, директор Государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» (Минск, Республика Беларусь).

Шелег Валерий Константинович, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения Белорусского национального технического университета (Минск, Республика Беларусь).

Адрес редакции:

ул. Войкова, 21, 225404 г. Барановичи.

Телефон: +375 (163) 45 46 28.

E-mail: vestnik_barsu@tut.by

Подписные индексы: 00993 — для индивидуальных подписчиков; 009932 — для организаций.

Свидетельство о регистрации средств массовой информации № 1533 от 30.07.2012, выданное Министерством информации Республики Беларусь.

В соответствии с приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 21 января 2015 г. № 16 научно-практический журнал «Вестник БарГУ» серия «Технические науки» включён в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим наукам (машиностроение и машиноведение; процессы и машины агроинженерных систем).

Научно-практический журнал «Вестник БарГУ» включён в РИНЦ (Российский индекс научного цитирования), лицензионный договор № 06-01/2016.

Издатель: учреждение образования «Барановичский государственный университет».

Выходит на русском, белорусском и английском языках.

Журнал распространяется на территории Республики Беларусь

Заведующий редакционно-издательским отделом Е. Г. Хохол
Технический редактор В. В. Кукреш
Компьютерная вёрстка В. В. Кукреш
Корректор С. А. Березнюк

Подписано в печать 13.06.2016. Формат 60 × 84 ¹/₈. Бумага ксероксная. Печать цифровая. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 10,70.
Уч.-изд. л. 5,40. Тираж 75 экз. Заказ .

Цена свободная.

Полиграфическое исполнение: открытое акционерное общество «Красная звезда». Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя и распространителя печатных изданий № 2/7 от 28.10.2013.

Юридический адрес: пер. 1-й Загородный, 3, 220073 Минск.

Почтовый адрес: ул. Советская, 80, 225409 Барановичи.

© БарГУ, 2016

Репозиторий БарГУ

Установа адукацыі
«Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт»

Веснік БарДУ

Штоквартальны навукова-практычны часопіс

Выдаецца з сакавіка 2013 г.

Выпуск 4, чэрвень, 2016.

Серыя «Тэхнічныя навукі»

Заснавальнік: установа адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт».

Галоўны рэдактар часопіса Качурка Васіль Іванавіч, доктар сельскагаспадарчых навук, прафесар, акадэмік Беларускай інжынернай акадэміі, акадэмік Міжнароднай акадэміі тэхнічнай адукацыі, акадэмік Міжнароднай акадэміі навук педагагічнай адукацыі, акадэмік Акадэміі эканамічных навук Украіны, Заслужаны работнік адукацыі Рэспублікі Беларусь, рэктар установы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Намеснік галоўнага рэдактара часопіса Нікішова Ала Васільеўна, кандыдат філалагічных навук, дацэнт, прарэктар па навуковай рабоце ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

РЭДАКЦЫЙНАЯ КАЛЕГІЯ СЕРЫІ

Галоўны рэдактар серыі

Аліфанаў Аляксандр Віктаравіч, лаўрэат Дзяржаўнай прэміі Рэспублікі Беларусь у галіне навукі і тэхнікі, доктар тэхнічных навук, прафесар, прафесар кафедры абсталявання і аўтаматызацыі вытворчасці ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Адказны сакратар серыі

Горбач Юлія Яўгеньеўна, старшы выкладчык кафедры эканомікі і арганізацыі вытворчасці інжынернага факультэта ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Рэдактар тэкстаў на англійскай мове

Манкевіч Жанна Барысаўна, кандыдат псіхалагічных навук, старшы выкладчык кафедры тэорыі і практыкі англійскай мовы ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Гаўрылена Андрэй Канстанцінавіч (*адказны за напрамак «Машынабудаванне і машыназнаўства»*), кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, загадчык кафедры агульнанавуковых дысцыплін інжынернага факультэта ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Дубень Ігар Віктаравіч (*адказны за напрамак «Працэсы і машыны аграінжынерных сістэм»*), кандыдат тэхнічных навук, дацэнт кафедры механізацыі і энергазабеспячэння вытворчасці інжынернага факультэта, дэкан факультэта даву-заўскай падрыхтоўкі ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Анісковіч Генадзь Іосіфавіч, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, дацэнт установы адукацыі «Беларускі дзяржаўны аграрны тэхнічны ўніверсітэт» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Белы Аляксей Уладзіміравіч, член-карэспандэнт Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, доктар тэхнічных навук, прафесар, намеснік дырэктара па навуковай рабоце Дзяржаўнай навуковай установы «Фізіка-тэхнічны ін-стытут Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Бяцэня Рыгор Піліпавіч, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, начальнік тэхналагічнага навукова-практычнага цэнтра ўстановы адукацыі «Беларускі дзяржаўны аграрны тэхнічны ўніверсітэт» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Гардзіенка Анатолій Іларыёнавіч, акадэмік Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, доктар тэхнічных навук, прафесар начальнік Цэнтра індукцыйных тэхналогій Дзяржаўнай навуковай установы «Фізіка-тэхнічны інстытут Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Дзявойна Алег Георгіевіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, загадчык Навукова-даследчай інавацыйнай лабараторыі плазменных і лазерных тэхналогій філіяла Беларускага нацыянальнага тэхнічнага ўніверсітэта «Навукова-даследчая частка» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Добышаў Анатолій Сямёнавіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, прафесар кафедры механізацыі жывёлага-доўлі і электрыфікацыі сельскагаспадарчай вытворчасці ўстановы адукацыі «Беларуская дзяржаўная сельскагаспа-дарчая акадэмія» (Горкі, Рэспубліка Беларусь).

Драмук Уладзімір Аляксеевіч, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, дэкан інжынернага факультэта ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Івашка Віктар Сяргеевіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, прафесар кафедры тэхнічнай эксплуатацыі аўтамабіляў Беларускага нацыянальнага тэхнічнага ўніверсітэта (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Калугін Юрый Канстанцінавіч, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, дацэнт кафедры машыназнаўства і тэхнічнай эксплуатацыі аўтамабіляў установы адукацыі «Гродзенскі дзяржаўны ўніверсітэт імя Янкі Купалы» (Гродна, Рэспубліка Беларусь).

Карташэвіч Анатолій Мікалаевіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, загадчык кафедры трактараў і аўтамабіляў установы адукацыі «Беларуская дзяржаўная сельскагаспадарчая акадэмія» (Горкі, Рэспубліка Беларусь).

Клачкоў Аляксандр Віктаравіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, прафесар установы адукацыі «Беларуская дзяржаўная сельскагаспадарчая акадэмія» (Горкі, Рэспубліка Беларусь).

Клубовіч Уладзімір Уладзіміравіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, акадэмік Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, загадчык лабараторыі пластычнасці Беларускага нацыянальнага тэхнічнага ўніверсітэта (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Ласкаўнёў Аляксандр Пятровіч, доктар тэхнічных навук, акадэмік Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, акадэмік-сакратар аддзялення фізіка-тэхнічных навук Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Нярода Міхаіл Уладзіміравіч, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, загадчык кафедры тэхналогіі машынабудавання ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Спірыдонаў Мікалай Васільевіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, прафесар кафедры тэхналогіі машынабудавання Беларускага нацыянальнага тэхнічнага ўніверсітэта (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Таміла Вячаслаў Анатольевіч, доктар тэхнічных навук, дацэнт, дырэктар Дзяржаўнай навуковай установы «Фізіка-тэхнічны інстытут Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Шэлег Валерый Канстанцінавіч, член-карэспандэнт Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, доктар тэхнічных навук, прафесар, загадчык кафедры тэхналогіі машынабудавання Беларускага нацыянальнага тэхнічнага ўніверсітэта (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Адрас рэдакцыі:

вул. Войкава, 21, 225404, г. Баранавічы.

Тэлефон: +375 163 45 46 28.

E-mail: vestnik_barsu@tut.by

Падпісныя індэксы: 00993 — для індывідуальных падпісчыкаў; 009932 — для арганізацый.

Пасведчанне аб рэгістрацыі сродкаў масавай інфармацыі № 1533 ад 30.07.2012, выдадзенае Міністэрствам інфармацыі Рэспублікі Беларусь.

У адпаведнасці з загадам Вышэйшай атэстацыйнай камісіі Рэспублікі Беларусь ад 21 студзеня 2015 г. № 16 навукова-практычны часопіс «Веснік БарДУ» серыя «Тэхнічныя навукі» ўключаны ў Пералік навуковых выданняў Рэспублікі Беларусь для апублікавання вынікаў дысертацыйных даследаванняў па тэхнічных навуках (машынабудаванне і машыназнаўства; працэсы і машыны аграінжынерных сістэм).

Навукова-практычны часопіс «Веснік БарДУ» ўключаны ў РІНЦ (Расійскі індэкс навуковага цытавання), ліцэнзійны дагавор № 06-01/2016.

Выдавец: установа адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт».

Выходзіць на рускай, беларускай і англійскай мовах.

Часопіс распаўсюджваецца на тэрыторыі Рэспублікі Беларусь.

Загадчык рэдакцыйна-выдавецкага аддзела А. Г. Хахол

Тэхнічны рэдактар В. У. Кукраш

Камп'ютарная вёрстка В. У. Кукраш

Карэктар С. А. Березнюк

Падпісана да друку 13.06.2016. Фармат 60 × 84 ¹/₈. Папера ксераксная. Друк лічбавы. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 10,70. Ул.-выд. арк. 5,40. Тыраж 75 экз. Заказ .

Кошт свабодны.

Паліграфічнае выкананне: адкрытае акцыянернае таварыства «Чырвоная зорка». Пасведчанне аб дзяржаўнай рэгістрацыі выдаўца, вытворцы, распаўсюджвальніка друкаваных выданняў № 2/7 ад 28.11.2013.

Юрыдычны адрас: завул. 1-ы Загарадны, 3, 220073 Мінск.

Паштовы адрас: вул. Савецкая, 80, 225409 Баранавічы.

Educational Institution
“Baranovichi State University”

BarSU Herald

A quarterly scientific and practical journal

Published since March 2013

Issue 4, June, 2016.

Series “Engineering”

Promoter: Educational Institution “Baranovichi State University”.

EDITORIAL BOARD

Editor in Chief: Vasily Ivanovich Kochurko, Rector of Baranovichi State University, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Belarusian Academy of Engineering, Academician of the International Academy of Technical Education, Academician of the International Academy of Pedagogical Education, Academician of the Academy of Economic Sciences of the Ukraine, Honored Worker of Education of the Republic of Belarus (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Deputy Chief Editor: Alla Vasilyevna Nikishova, Ph. D. in Philology, Vice-rector for Scientific Work of Baranovichi State University, Associate Professor (Baranovichi, the Republic of Belarus).

THE EDITORIAL BOARD OF THE EDITION

Editor of the issue

Aleksandr V. Alifanov, State-Prize Winner of the Republic of Belarus in the Science and Technology Field, Professor of the Equipment and Manufacturing Automation Chair of Engineering Department, Baranovichi State University, Doctor of Technical Sciences (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Executive secretary of the issue

Juliya E. Gorbach, Senior lecturer of the Economic Organization of Production Chair of Engineering Department, Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Editor of English texts

Zhanna B. Mankevich, Senior lecturer of the English Language Theory and Practice Chair of Slavic and Germanic Languages Department, Baranovichi State University, Ph. D. in Psychology (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Andrei K. Gavrilena (*in charge of the heading “Machine Building and Engineering Science”*), Head of the Scientific Disciplines Chair of Mechanization and Energy Production Department, Baranovichi State University, Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Igor V. Duben (*in charge of the heading “Processes and Machines of Agroengineering Systems”*), Dean of the Pre-University Training Department, Baranovichi State University, Ph. D. in Technical Sciences (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Gennady I. Aniskovich, Associate Professor of the Belarusian State Agrarian Technical University, Ph. D. in Technical Sciences (Minsk, the Republic of Belarus).

Alexey V. Bely, Deputy Director for Scientific Work of the State Scientific Institution “The Physical-Technical Institute, the National Academy of Sciences”, A. M. of the National Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

Grigory F. Betenya, Head of the Technology Research and Production Center of the Belarusian State Agrarian Technical University, Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

Anatoly I. Gordienko, Head of the Induction Technology Center of the State Research Institution “The Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences”, Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

Oleg G. Devoino, Head of the Research Laboratory of Innovative Plasma and Laser Technology of the Belarusian National Technical University branch “Research Section”, Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

Anatoly S. Dobyshev, Professor of the Animal Husbandry Mechanization and Electrification of Agricultural Production Chair of “The Belarusian State Agricultural Academy”, Doctor of Technical Sciences, Professor (Gorki, the Republic of Belarus).

Vladimir A. Dremuk, Head of Engineering Department of Baranovichi State University, Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Viktor S. Ivashko, Professor of the Automobile Technical Maintenance Chair of the Belarusian National Technical University, Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

Yury K. Kalugin, Associate Professor of the Engineering Science and Automobile Technical Maintenance Chair of "Grodno State University of Ya. Kupala", Ph. D. in Technical Sciences (Grodno, the Republic of Belarus).

Anatoly N. Kartashevich, Head of the Tractors and Vehicles Chair of the Belarusian State Agricultural Academy, Doctor of Technical Sciences, Professor (Gorki, the Republic of Belarus).

Alexandr V. Klochkov, Professor, Professor of the Belarusian State Agricultural Academy, Doctor of Technical Sciences (Gorki, the Republic of Belarus).

Vladimir V. Klubovich, Head of the Plasticity Laboratory of the Belarusian National Technical University, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

Alexandr P. Laskovnyov, Academician-secretary of the Physics and Technical Sciences Department of the National Academy of Sciences of Belarus, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Technical Sciences (Minsk, the Republic of Belarus).

Michail V. Neroda, Head of the Mechanical Engineering Chair of Baranovichi State University, Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Nicholai V. Spiridonov, Professor of the Mechanical Engineering Chair of the Belarusian National Technical University, Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

Vyacheslav A. Tomilo, Director of the State Scientific Institution "The Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus", Doctor of Technical Sciences, Associate Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

Valery K. Sheleh, Head of the Mechanical Engineering Chair of the Belarusian National Technical University, A. M. of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

Editorial address:

Voikov Str. 21, 225404, Baranovichi.

Phone: +375 163 45 46 28.

E-mail: vestnik@barsu.by

Subscription indices: 00993 — for individual subscribers; 009932 — for companies.

The certificate of the registration of mass media № 1533 of 30.07. 2012 issued by the Ministry of Information of Belarus.

In accordance with the order of the board of the Higher Attestation Commission of the Republic of Belarus on January 21, 2015 № 16 the scientific and practical journal "Bulletin of BarSU" the series "Engineering" was included on the list of the scientific publications of the Republic of Belarus for publishing the results of dissertation research in engineering sciences (mechanical engineering and machines, processes and machines of agroengineering systems).

Scientific and practical journal Vestnik BarSU is included into RSCI (Russian Science Citation Index), license agreement № 06-01/2016.

Published: Educational Institution "Baranovichi State University".

Issued in Russian, Belarusian and English.

The journal is distributed on the territory of the Republic of Belarus.

Managing editor E. G. Hohol

Technical editor V. V. Kukresh

Desktop Publishing V. V. Kukresh

Proofreader S. A. Bereznyuk

Signed print 13.06.2016. Format 60 × 84 1/8. Paper xerox. Digital printing. Headset Times. Conv. pr. s. l. 10.70. Acc.-pub. s. l. 5.40. Circulation of 75 copies. Order

Free price.

Printing performance: Open Joint Stock Company "Red Star". Certificate of the state registration of the publisher, the manufacturer and the distributor of publications № 2/7 since 28.10.2013.

Legal address: 3, 1 Zagorodni Pereulok, 220073 Minsk.

Postal address: 80 Sovietskaya Str., 225409 Baranovichy.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Машиностроение и машиноведение

Алифанов А. В., Горецкий Г. П., Милюкова А. М., Лях А. А., Шишмолин В. Н. Исследование влияния режимов магнитно-импульсной обработки на микротвёрдость и микроструктуру образцов сталей, применяемых для изготовления рубильных ножей	11
Бакулин Б. А., Калугин Ю. К. Анализ химического состава и физико-механических свойств материалов для изготовления деталей батанного механизма ткацкого станка	22
Жоглик И. Н. Эмиссия моноэнергетических ионов V^{2+} , Ti^{2+} , Zr^{2+} в вакуумном электродуговом разряде	29
Здор Г. Н. Экспериментальные исследования прессования вытяжных матриц совместным действием статических и динамических нагрузок высокой интенсивности	35
Ищенко М. В. Износ конвейерной ленты в условиях абразивной химически активной среды калийного предприятия	44
Маркевич М. И., Чапманов А. М., Малышко А. Н., Солодуха В. А., Соловьев Я. А., Сарычев О. Э., Щербакова Е. Н. Формирование и исследование диодов Шоттки на основе силицидов платины и никеля	48
Михайлов М. И. Анализ нагрузочного резервирования сборных внутренних фрез	55
Ракицкий А. А. Исследование усталостной прочности деталей машин с термонапылёнными порошковыми покрытиями в условиях циклического растяжения/сжатия	62

Процессы и машины агроинженерных систем

Бегеня Г. Ф., Анискович Г. И., Кривцов А. В., Рогожинский С. Н. Инновационная технология упрочнения дисков роторов и оснований башмаков режущего аппарата косилок	68
Богданович П. Н., Михайлов М. И., Михайлов К. М. Исследование влияния электрофрикционного упрочнения ножей режущего барабана кормоуборочного комбайна на их износостойкость	77

ЗМЕСТ

ТЭХНІЧНЫЯ НАВУКІ

Машынабудаванне і машыназнаўства

Аліфанаў А. В., Гарэцкі Г. П., Мілюкова Г. М., Лях А. А., Шышмолін В. Н. Даследаванне ўплыву рэжымаў магнітна-імпульснай апрацоўкі на мікрацвёрдасць і мікраструктуру ўзораў сталяў, якія прымяняюцца для вырабу рубільных нажоў	11
Бакулін Б. А., Калугін Ю. К. Аналіз хімічнага складу і фізіка-механічных уласцівасцяў матэрыялаў для вырабу дэталей батаннага механізма ткацкага станка	22
Жоглік І. М. Эмісія монаэнергетычных йонаў V^{2+} , Ti^{2+} , Zr^{2+} у вакуумным электрадугавым разрадзе	29
Здор Г. М. Эксперыментальныя даследаванні прэсавання выцяжных матрыц сумесным дзеяннем статычных і дынамічных нагрузкаў высокай інтэнсіўнасці	35
Ішчанка М. В. Зношванне канвеернай стужкі ва ўмовах абразіўнага хімічна актыўнага асяроддзя калійнага прадпрыемства	44
Маркевіч М. І., Чапланаў А. М., Малышка А. М., Саладуха В. А., Салаўёў Я. А., Сарычаў А. Э., Шчарбакова А. М. Фарміраванне і даследаванне дыёдаў Шоткі на аснове сіліцыдаў плаціны і нікеля	48
Міхайлаў М. І. Аналіз нагрузкавага рэзервавання зборных унутраных фрэз	55
Ракіцкі А. А. Даследаванне стомленаснай трываласці дэталей машын з тэрманапыленымі парашковымі пакрыццямі ва ўмовах цыклічнага расцяжэння/сціскання	62

Працэсы і машыны аграінжынерных сістэм

Бяценья Р. Ф., Анісковіч Г. І., Крыўцоў А. В., Рагажынскі С. М. Інавацыйная тэхналогія ўмацавання дыскаў ротараў і асноў башмакоў рэжучага апарата касілак	68
Багдановіч П. М., Міхайлаў М. І., Міхайлаў К. М. Даследаванне ўплыву электрафрыкцыйнага ўмацавання нажоў рэжучага барабана кармаўборачнага камбайна на іх зносаўстойлівасць	77

CONTENTS

TECHNICAL SCIENCES

Machine Building and Engineering Science

Alifanov A. V., Goretsky G. P., Milyukova A. M., Lyakh A. A., Shishmolin V. N. Research of influence of magnetic-pulse treatment modes on microhardness and microstructure steel samples used for chipper knives manufacture	11
Bakulin B. A., Kalugin Ju. K. Analysis of chemical composition and physical-mechanical properties of materials for loom bata mechanism parts production	22
Zhohlik I. N. Emission of monoenergetic flow of V^{2+} , Ti^{2+} , ZR^{2+} ions in vacuum electroarc discharge	29
Zdor G. N. Experimental study of exhaust pressing matrix via the combined action of static and dynamic loads of high intensity	35
Ishchenko M. V. The conveyor belt wear in an abrasive and chemically active environment of the potash plant	44
Markevich M. I., Chaplanov A. M., Malyshko A. N., Solodukha V. A., Solovyev Ya. A., Sarichev O. E., Shcherbakova E. N. Formation and investigation of Schottky diodes based on platinum and nickel silicide	48
Mikhailov M. I. Analysis of prefabricated internal cutters load backup	55
Rakitsky A. A. Investigation of fatigue strength of machine components with thermal spray coatings under cyclic push/pull conditions	62

Processes and Machines of Agroengineering Systems

Betenya G. F., Aniskovich G. I., Krivtsov A. V., Rogozhinsky S. N. Innovative technology for rotor discs and mower cutterbar shoe base strengthening	68
Bogdanovich P. N., Mikhailov M. I., Mikhailov K. M. Research of influence of electrofriction hardening of forage harvester cutting drum knives on their wear resistance	77

УДК 621.382:658.274

М. И. Маркевич¹, А. М. Чапланов¹, А. Н. Малышко¹, В. А. Солодуха², Я. А. Соловьев²,
О. Э. Сарычев², Е. Н. Щербакова³

¹ Государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси»,
ул. Купревича, 10, 220141 Минск, Республика Беларусь, +375 (17) 267 60 10, ens@tut.by

² Открытое акционерное общество «Интеграл», ул. Казинца, 121А, 220108 Минск, Республика Беларусь,
+375 (17) 398 20 40, office@integral.by

³ Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65, 220013 Минск, Республика Беларусь,
+375 (17) 293 95 26, ens@tut.by

ФОРМИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ДИОДОВ ШОТТКИ НА ОСНОВЕ СИЛИЦИДОВ ПЛАТИНЫ И НИКЕЛЯ

Диоды Шоттки находят широкое применение в системах электроники. В настоящей работе определена высота барьера диодов Шоттки, сформированных на основе тонкоплёночной системы NiV-Pt при различных режимах отжига. Методами электронографии и рентгеноспектрального микроанализа исследованы изменения элементного состава и установлены фазовые превращения, происходящие в данных системах при двухстадийном стационарном отжиге в атмосфере азота в зависимости от температуры и времени воздействия.

Ключевые слова: диод Шоттки; тонкие плёнки; силицид платины; силицид никеля; вольт-амперные характеристики. Табл. 5. Рис. 5. Библиогр.: 5 назв.

М. I. Markevich¹, A. M. Chaplanov¹, A. N. Malyshko², V. A. Solodukha², Ya. A. Solovyev²,
O. E. Sarichev², E. N. Shcherbakova³

¹ State Scientific Institution "Physical-Technical Institute of National Academy of Sciences of Belarus",
10, Kuprevich str., 220141 Minsk, the Republic of Belarus, +375 (17) 267 60 10, ens@tut.by

² Open Joint-Stock Company "Integral", 121 A, Kazintsa str., 220108 Minsk, the Republic of Belarus,
+375 (17) 398 20 40, office@integral.by

³ Belorussian National Technical University, 65, Nezavisimosti ave., 220013 Minsk, the Republic of Belarus,
+375 (17) 293 95 26, ens@tut.by

FORMATION AND INVESTIGATION OF SCHOTTKY DIODES BASED ON PLATINUM AND NICKEL SILICIDE

Schottky diodes are widely used in electronics systems. The article deals with the height of Schottky diode barrier formed on the basis of NiV-Pt/Si thin film system in different annealing modes. Using the methods of electronography and X-ray microanalysis the changes in elemental composition and phase transformations of these systems in the conditions of two-step stationary annealing under nitrogen environment depending on exposure time and temperature are investigated.

Key words: Schottky diode; thin films; platinum silicide; nickel silicide; current-voltage characteristics. Table 5. Fig. 5. Ref.: 5 titles.

Введение. Развитие автомобильной промышленности активно стимулирует производителей компонентов электроники к созданию новых устройств, а также требует разработки новых технологий и совершенствования производственных процессов формирования различных компонентов электронной техники. В последнее время электроника используется всё шире, например, для управления сгоранием топлива в двигателе, в устройствах контроля состояния отдельных агрегатов и систем, для управления исполнительными механизмами, а также в системах, обеспечивающих безопасность: в антиблокировочной системе тормозов (ABS), в подушках безопасности и т. д.

В настоящей работе проведены исследования основных электрофизических характеристик диодов Шоттки, которые находят широкое применение в автомобильной электронике. Для данного вида диодов ключевое значение имеет выбор контактного металла, от которого зависит высота барьера, и, соответственно, его основные электрические характеристики. Как было показано в ряде работ [1], перспективным материалом для формирования диодов Шоттки является силицид платины, отличающийся большой высотой потенциального барьера с кремнием *n*-типа проводимости и получением твердофазной реакции с кремнием. Однако использование чистых платиновых плёнок и стандартных термообработок при формировании барьеров Шоттки для силовой электроники, где линейные размеры контактов в приборах достигают единиц и десятков миллиметров, имеет следующие недостатки: большую неоднородность по толщине формируемых слоёв, большие напряжения на границах «металл—полупроводник», приводящие к отслоению силицидного слоя. Поэтому разработка новых методов для формирования барьеров Шоттки является важной научной и практической задачей [2]. Целью данной работы являлось установление влияния режимов формирования барьера Шоттки на высоту барьера.

Методика проведения эксперимента. Тонкоплёночная система NiV-Pt толщиной 0,03...0,04 мкм была сформирована на кремниевом подслое КЭФ 0,5 (111) путём послойного нанесения частиц платины. Первоначально методом магнетронного распыления напылялся слой платины толщиной 0,015...0,02 мкм, затем слой NiV толщиной 0,08 мкм.

Часть образцов перед нанесением тонкоплёночной системы подвергали ионной очистке, при которой происходило удаление загрязнений с поверхности кремниевой пластины, а также её верхнего слоя, покрытого естественным оксидом кремния. Пластины бомбардировали высокоэнергетическими ионами Ag⁺ из ионного источника [3].

Затем проводился двухстадийный отжиг полученных тонкоплёночных систем в атмосфере N₂ при следующих режимах: 1) 200°C в течение 240 мин + 550°C в течение 30 мин; 2) 240°C в течение 240 мин + 550°C в течение 30 мин; 3) 350°C в течение 120 мин + 550°C в течение 30 мин.

Исследование фазовых превращений, происходящих в системах NiV-Pt при стационарном отжиге, проводили методом электронографии на просвет (электронограф малоугловой регистрирующий ЭМП-102). Для расшифровки электронограмм использовали базу данных Of the International Centre for Diffraction Data.

Исследования элементного состава осуществляли с помощью системы энергодисперсионного (EDS) микроанализа для сканирующих микроскопов, установленной на микроскопе SEM-515. Измерения проводили при минимальных значениях ускоряющего напряжения — от минимального порога чувствительности системы микроанализа 6,4 кВ до 7 кВ. Высоту барьера Шоттки определяли по стандартным методикам.

Результаты исследования и их обсуждение. Исследования, проведённые методами электронографии на отражение, показали, что поверхностный слой сформированных тонкоплёночных систем являлся аморфным, на электронограммах присутствует характерное гало. Отжиг в атмосфере азота во всём интервале температур и продолжительностей термообработки (30, 120 и 240 мин) не приводил к изменению вида электронограмм. Поверхностный слой тонкоплёночных систем оставался аморфным.

Для дальнейших исследований проводили химическое травление аморфного поверхностного слоя в «царской водке» в течение 3 мин. Анализ электронограмм, полученных от исходных образцов, показал наличие на электронограммах дифракционных колец, принадлежащих платине (таблица 1). Указанного времени травления оказалось достаточно для удаления слоя NiV, сформированного поверх слоя платины. Полученные результаты коррелируют с данными количественного анализа (рисунок 1), которые свидетельствуют о содержании в образцах NiV-Pt после 3 мин травления более 90 ат.% платины.

После отжига тонкоплёночной системы NiV-Pt при температуре 200°C в течение 240 мин + 550°C в течение 30 мин в среде N₂ и последующего травления в «царской водке» её фазовый состав изменялся. Расшифровка свидетельствует о наличии дифракционных колец, принадлежащих Ni_{1-x}Pt_xSi с параметрами решётки *a*, равным 0,568 нм, *b* — 0,52 нм, *c* — 0,328 нм (таблица 2). При увеличении времени травления до 6 мин количество и интенсивность дифракционных линий, свидетельствующих о формировании на границе раздела «платина—кремний» Ni_{1-x}Pt_xSi, возрастает.

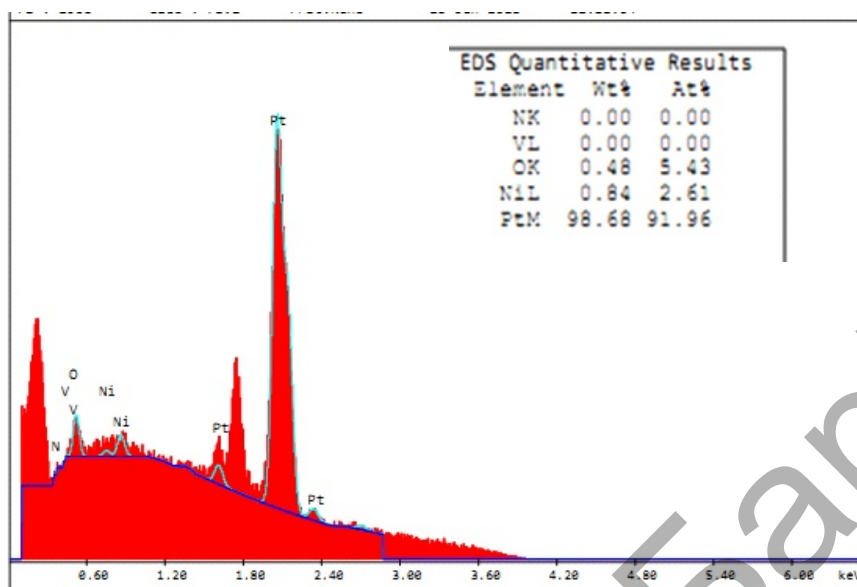


Рисунок 1. — Рентгеновский спектр и результаты микроанализа исходных образцов NiV-Pt, полученных без ионной очистки, после химического травления в течение 3 мин

Т а б л и ц а 1. — Фазовый состав исходной тонкоплёночной системы NiV-Pt, сформированной послойным нанесением, после травления в течение 3 мин

$d_{\text{эксп}}$, нм	$d_{\text{теор}}$, нм	hkl	Без ионной очистки	С ионной очисткой
0,228	0,227	111	Pt	Pt
0,200	0,196	200	Pt	Pt
0,143	0,139	220	Pt	Pt
0,117	0,118	311	Pt	Pt
0,090	0,092	331	Pt	Pt

Примечание. Здесь и далее в таблицах 2—4 $d_{\text{эксп}}$ и $d_{\text{теор}}$ — экспериментальные и теоретические значения межплоскостных расстояний соответственно, hkl — индексы Миллера.

Т а б л и ц а 2. — Фазовый состав тонкоплёночной системы NiV-Pt (без ионной очистки) после отжига при температуре 200°C в течение 240 мин + 550°C в течение 30 мин в среде N₂

$d_{\text{эксп}}$, нм	$d_{\text{теор}}$, нм	hkl	После травления в течение 3 мин	После травления в течение 6 мин
0,283	0,284	101	—	Ni _{1-x} Pt _x Si
0,261	0,260	020	Ni _{1-x} Pt _x Si	Ni _{1-x} Pt _x Si
0,205	0,203	021	Ni _{1-x} Pt _x Si	—
0,194	0,192	121	—	Ni _{1-x} Pt _x Si
0,176	0,178	311	—	Ni _{1-x} Pt _x Si
0,166	0,166	221	—	Ni _{1-x} Pt _x Si
0,149	0,151	112	—	Ni _{1-x} Pt _x Si
0,140	0,142	202	Ni _{1-x} Pt _x Si	Ni _{1-x} Pt _x Si

Приведём данные по фазовому составу тонкоплёночных систем NiV-Pt, подвергнутых двухстадийному отжигу в азоте при температуре 200°C в течение 240 мин + 550°C в течение 30 мин и последующего травления в «царской водке» (таблица 3).

Анализ электронограмм образцов, отожжённых при 240°C в течение 240 мин в среде N₂ + 550°C в течение 30 мин в среде N₂, также свидетельствует о наличии на границе раздела «платина—кремний» Ni_{1-x}Pt_xSi с параметрами решётки *a*, равным 0,568 нм, *b* — 0,52 нм, *c* — 0,328 нм. По-видимому, при данных режимах отжига происходит взаимная диффузия кремния из подслоя, платины и никеля с образованием Ni_{1-x}Pt_xSi.

Рассмотрим электронограмму системы NiV-Pt, отожжённой в среде N₂ при 350°C в течение 120 мин + 550°C в течение 30 мин (рисунок 2). Точечные кольца на электронограмме принадлежат Ni_{1-x}Pt_xSi с параметрами решётки *a*, равным 0,588 нм, *b* — 0,547 нм, *c* — 0,350 нм (таблица 4). Приведены данные и для систем, полученных без предварительной ионной очистки (см. таблицу 4).

Следует отметить, что при двухступенчатом режиме отжига, заключающемся в предварительном отжиге при температуре 240°C в течение 240 мин, а затем отжиге при температуре 550°C в течение 30 мин, на первом этапе отжига происходит взаимодиффузия между никелем и платиной, в результате которой образуется взаимный твёрдый раствор платины и никеля. На второй стадии отжига происходит образование и рост фазы Ni_{1-x}Pt_xSi, на основе силицида никеля и формируется барьер Шоттки Ni_{1-x}Pt_xSi/p-Si.

При двухступенчатом отжиге, состоящем из предварительного отжига при температуре 350°C в течение 120 мин и последующего отжига при температуре 550°C в течение 30 мин, на первой стадии

Т а б л и ц а 3. — Фазовый состав тонкоплёночной системы NiV-Pt (с ионной очисткой) после отжига при температуре 200°C в течение 240 мин + 550°C в течение 30 мин в среде N₂

<i>d</i> _{эксп.} , нм	<i>d</i> _{теор.} , нм	<i>hkl</i>	После травления в течение 3 мин	После травления в течение 6 мин
0,286	0,284	101	Ni _{1-x} Pt _x Si	Ni _{1-x} Pt _x Si
0,262	0,260	020	Ni _{1-x} Pt _x Si	Ni _{1-x} Pt _x Si
0,203	0,203	021	Ni _{1-x} Pt _x Si	Ni _{1-x} Pt _x Si
0,193	0,192	121	Ni _{1-x} Pt _x Si	Ni _{1-x} Pt _x Si
0,176	0,178	311	—	Ni _{1-x} Pt _x Si
0,168	0,166	221	Ni _{1-x} Pt _x Si	Ni _{1-x} Pt _x Si
0,150	0,151	112	—	Ni _{1-x} Pt _x Si

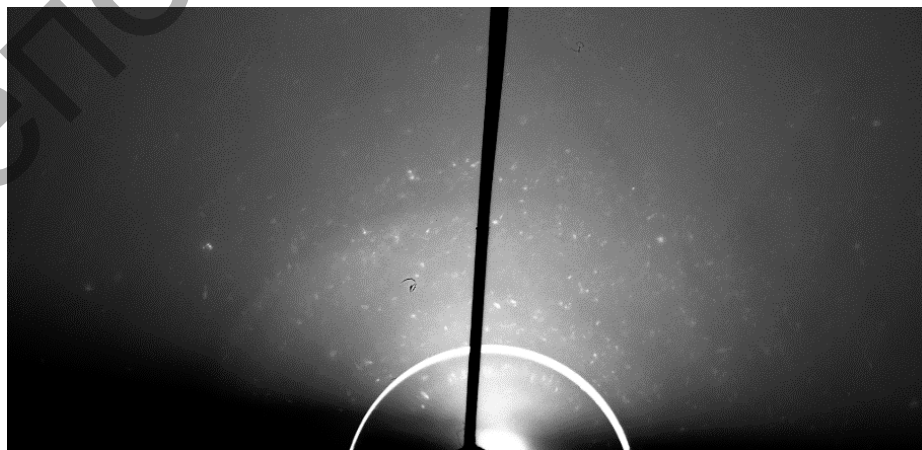


Рисунок 2. — Электронограмма системы NiV-Pt (сформированной с ионной очисткой) после отжига в среде N₂ при 350°C в течение 120 мин + 550°C в течение 30 мин после 6-минутного травления

Т а б л и ц а 4. — Фазовый состав тонкоплёночной системы NiV-Pt после отжига при температуре 350°C в течение 120 мин + 550°C в течение 30 мин в среде N₂

$d_{\text{эсп.}}$, нм	$d_{\text{теор.}}$, нм	hkl	Без ионной очистки	С ионной очисткой
0,303	0,300	101	—	Pt _{1-x} Ni _x Si
0,295	0,294	200	Pt _{1-x} Ni _x Si	Pt _{1-x} Ni _x Si
0,273	0,274	020	—	Pt _{1-x} Ni _x Si
0,205	0,208	211	Pt _{1-x} Ni _x Si	Pt _{1-x} Ni _x Si
0,187	0,185	310	Pt _{1-x} Ni _x Si	Pt _{1-x} Ni _x Si
0,148	0,150	202	Pt _{1-x} Ni _x Si	Pt _{1-x} Ni _x Si

происходит образование взаимного твёрдого раствора платины и никеля, и на границе раздела «платина—кремний», возможно, начинается образование и рост силицида платины. На второй стадии отжига идёт процесс формирования фазы Ni_{1-x}Pt_xSi на основе силицида платины. В результате образуется барьер Шоттки Ni_{1-x}Pt_xSi/*p*-Si. Показатели микроанализа представлены на рисунках 1, 3, 4 и 5.

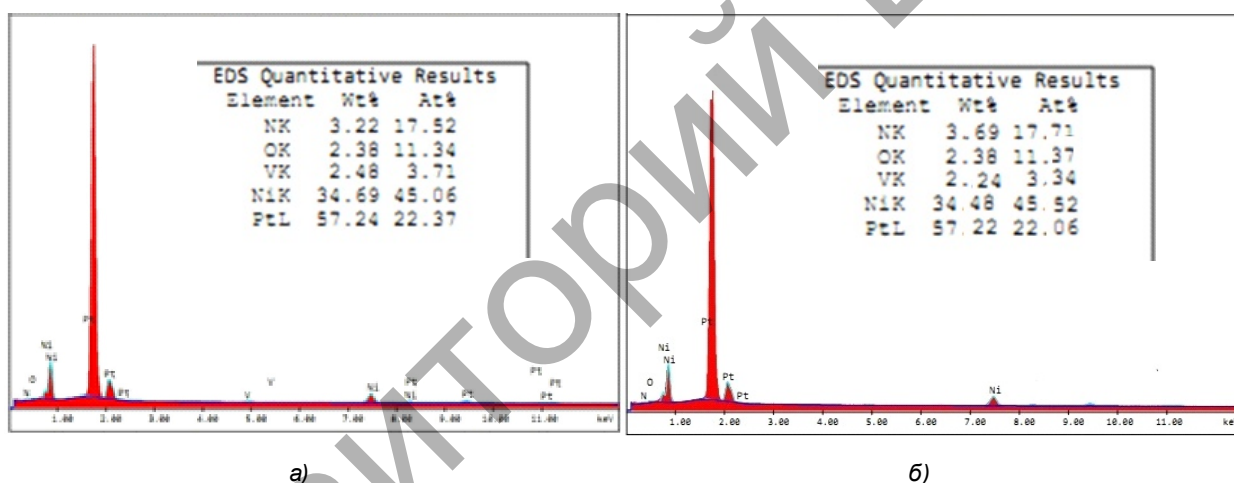


Рисунок 3. — Рентгеновские спектры и результаты микроанализа исходных образцов NiV-Pt, полученных с ионной очисткой (а) и без ионной очистки (б)

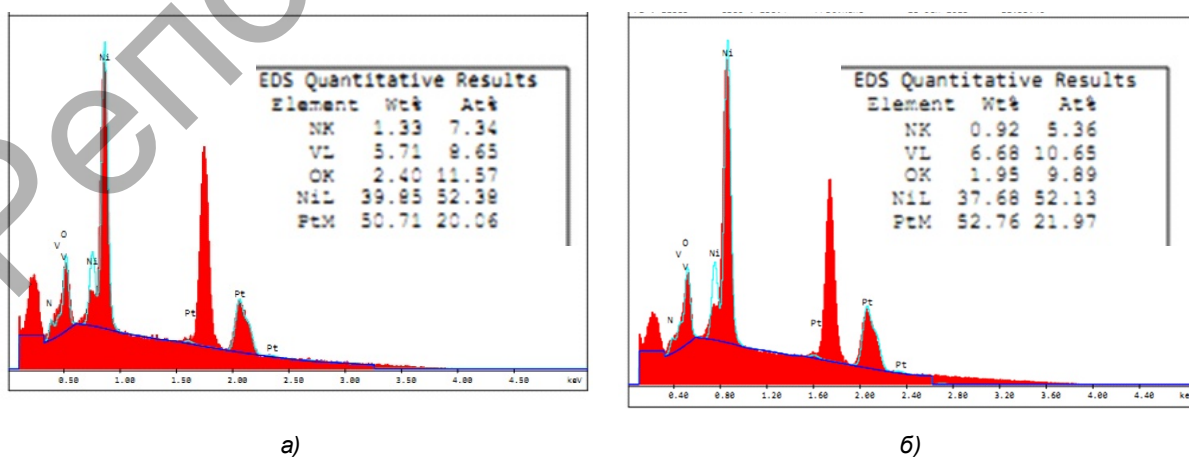


Рисунок 4. — Рентгеновские спектры и результаты микроанализа системы NiV-Pt, нанесённой с ионной очисткой и отожжённой в среде N₂ при 200°C в течение 240 мин + 550°C в течение 30 мин после химического травления в течение 3 мин, полученных с ионной очисткой (а) и без ионной очистки (б)

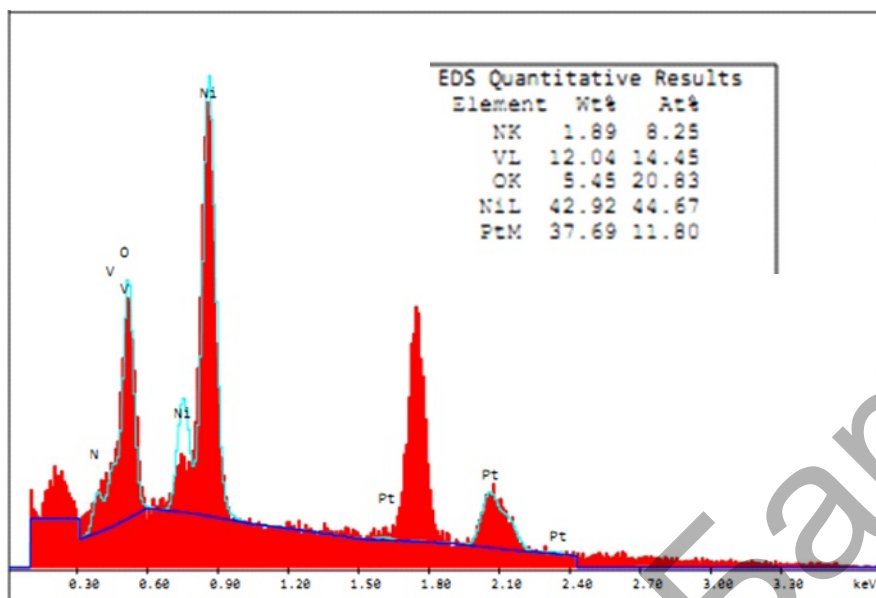


Рисунок 5. — Рентгеновский спектр и результаты микроанализа системы NiV-Pt, нанесённой с ионной очисткой и отожжённой в среде N₂ при температуре 350°C в течение 240 мин + 550°C в течение 30 мин

Результаты исследований элементного состава коррелируют с данными, полученными с использованием методов электронографии.

Представим результаты определения высоты барьера Шоттки (таблица 5). Видно, что высота барьера зависит от режимов термообработки, как в случае образцов, полученных с ионной очисткой, так и без её применения. Величина барьера Шоттки существенно различается для контактов, сформированных с ионной очисткой и без ионной очистки. При использовании ионной очистки и без неё наблюдается минимум высоты барьера Шоттки, когда режим термообработки был равен 240°C, 240 мин + 550°C, 30 мин, а максимальная высота барьера наблюдается для образцов после отжига при режиме 350°C, 240 мин + 550°C, 30 мин.

Заключение. В результате проведения исследований установлены закономерности фазовых превращений, происходящих в тонкоплёночной системе NiV-Pt при различных режимах отжига, определены значения высоты барьера Шоттки в данных системах при двухстадийном стационарном отжиге в атмосфере азота в зависимости от температуры и времени воздействия, а также очистки поверхности. Показано, что для формирования качественных диодов Шоттки необходима ионная очистка поверхности.

Т а б л и ц а 5 — Результаты расчета высоты барьера Шоттки структур NiV-Pt/Si при различных режимах термообработки

Номер образца	Режим формирования барьера	$\Phi_{в, эВ}$
<i>Без ионной очистки</i>		
1	Отжиг 200°C, 240 мин +550°C, 30 мин	0,76
2	Отжиг 240°C, 240 мин +550°C, 30 мин	0,75
3	Отжиг 350°C, 120 мин +550°C, 30 мин	0,76
<i>С ионной очисткой</i>		
4	Отжиг 200°C, 240 мин +550°C, 30 мин	0,77
5	Отжиг 240°C, 240 мин +550°C, 30 мин	0,76
6	Отжиг 350°C, 120 мин +550°C, 30 мин	0,77

Установлено, что при одних и тех же режимах формирования барьера ионная очистка увеличивает высоту барьера, что определяет такие важные свойства диодов Шоттки, как малые токи утечки, временная стабильность, высокие пробивные напряжения, помехозащищённость, что важно при производстве изделий для автомобильной электроники.

Список цитируемых источников

1. Особенности формирования границы раздела Si/PtSi в диодах Шоттки для силовой электроники / А.С. Турцевич [и др.] // Доклады БГУИР. 2003. № 4 (16). С. 53—58 ; Формирование барьеров Шоттки на основе силицидного никель-платинового сплава / А.С. Турцевич [и др.] // Материалы и структуры современной электроники : сб. тр. 5-й Междунар. науч. конф. (10—11 окт. 2012 г.). Минск, 2012, С. 88—91.
2. The influence of Pt redistribution on Ni_{1-x}Pt_xSi growth properties / J. Demeulemeester [et al.] // J. Appl. Phys. 2010. Vol. 108. P. 043505.1—043505.11 ; Effects of additive elements on the phase formation and morphological stability of nickel monosilicide films / C. Lavoie [et al.] // Microelectronic Engineering. 2006. Vol. 83. P. 2042—2054.
3. Технология интегральной электроники / Л.П. Ануфриев [и др.] / под общ. ред. А.П. Достако и Л.И. Гурского. Минск : Интегралполиграф, 2009. 379 с.

Поступила в редакцию 20.05.2016.