

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ» КЕАҚ

**Студенттер мен жас ғалымдардың
«GYLYM JÁNE BILIM - 2024»
XIX Халықаралық ғылыми конференциясының
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
XIX Международной научной конференции
студентов и молодых ученых
«GYLYM JÁNE BILIM - 2024»**

**PROCEEDINGS
of the XIX International Scientific Conference
for students and young scholars
«GYLYM JÁNE BILIM - 2024»**

**2024
Астана**

УДК 001

ББК 72

G99

«ǴYLYM JÁNE BILIM – 2024» студенттер мен жас ғалымдардың XIX Халықаралық ғылыми конференциясы = XIX Международная научная конференция студентов и молодых ученых «ǴYLYM JÁNE BILIM – 2024» = The XIX International Scientific Conference for students and young scholars «ǴYLYM JÁNE BILIM – 2024». – Астана: – 7478 б. - қазақша, орысша, ағылшынша.

ISBN 978-601-7697-07-5

Жинаққа студенттердің, магистранттардың, докторанттардың және жас ғалымдардың жаратылыстану-техникалық және гуманитарлық ғылымдардың өзекті мәселелері бойынша баяндамалары енгізілген.

The proceedings are the papers of students, undergraduates, doctoral students and young researchers on topical issues of natural and technical sciences and humanities.

В сборник вошли доклады студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых по актуальным вопросам естественно-технических и гуманитарных наук.

УДК 001

ББК 72

G99

ISBN 978-601-7697-07-5

**©Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия
ұлттық университеті, 2024**

МЕМРИСТОРЛЫҚ ҰЯШЫҚТАР ҮШІН ӘРТҮРЛІ МЕТАЛДАРДАН ЭЛЕКТРОДТЫҚ ӨТКІЗГІШТЕРДІ ҚАЛЫПТАСТЫРУ БОЙЫНША ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ МАРШРУТ

Бекешева Ақнұр Мұратқызы¹., Мұратұлы Мақсат²., Құттыбек Ажар³., Асильбекова
Алия⁴., Бегимова Асель⁵., Ақдаuletова Жанна⁶

muratuly003@mail.ru

bekeshevaa03@mail.ru

¹Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар»
кафедрасының студенті, Астана, Қазақстан

²Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар»
кафедрасының студенті, Астана, Қазақстан

³Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар»
кафедрасының аға оқытушысы, Астана, Қазақстан

⁴Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар»
кафедрасының оқытушысы, Астана, Қазақстан

⁵Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар»
кафедрасының аға оқытушысы, Астана, Қазақстан

⁶Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар»
кафедрасының аға оқытушысы, Астана, Қазақстан

Ғылыми жетекшілері – ф.-м.ғ.к., аға оқытушы К.М. Маханов

Кіріспе. Деректер көлемі қарқынды өсіп және дәстүрлі транзисторлық технологиялар физикалық шегіне жақындап келе жатқан қазіргі электронды әлемде зерттеушілер мен инженерлер жаңа, тиімдірек есептеу жүйелерін құру қиындықтарына тап болады. Құрылғылардың өлшемін кішірейту болашақ ұрпақтың функционалдығын қамтамасыз ету үшін инновациялық технологияларды әзірлеуді қажет етеді. Осы сын-қатерлер тұрғысынан мемристорлар – мемристорлық технологияның іргелі идеясына негізделген элементтер – бірқатар электрондық қосымшалар үшін перспективалы әлеуетті шешім болып табылады [1,2].

Мемристорлар идеясын алғаш рет 1971 жылы Леон Чуа ұсынды, ол симметрия аргументтеріне сүйене отырып, төртінші іргелі электр элементінің болу қажеттілігін тудырды [3,4]. Содан бері мемристорлар жоғары тығыздықтағы энергияға тәуелсіз сақтау құрылғыларын жасау әлеуетімен зерттеушілердің назарын аударды. Олардың жоғары беріктігі, гальванопластикасыз жұмыс және металл-оксидті жартылай өткізгіш процестермен толықтыратын технологиялармен үйлесімділігі сияқты тартымды қасиеттері оларды цифрлық логика, нейрондық желілер және қайта конфигурацияланатын есептеулерді қоса алғанда, әртүрлі қолданбаларға біріктіруге перспективалы етеді [5-7].

Қазіргі уақытта мемристорлық технологиялар тек электроника мен есептеу саласында ғана емес, сонымен қатар биомедициналық салада да ерекше назар аудартады, мұнда озық материалдар имплантацияланатын құрылғылар мен зертханалық құрылғыларды чипте жасаудың жаңа перспективаларын ұсынады [8,9].

TiO_x , NiO_x , HfO_x , TaO_x , WO_x және AlO_x [10-14] сияқты көптеген металл оксидтері резистивті ауысу құбылысын көрсетеді деп жарияланды.

Бұл мақалада мемристорлық ұяшықтар үшін тұрақты электродтық байланыс жолдарын құру әдістері мен технологияларын әзірлеу нәтижелері келтірілген.

Жұмыстың мақсаты нәтижелердің қайталануын, алынған байланыс электродтарының тұрақтылығын және үлгілерді дайындауды қамтамасыз ететін әдістемені әзірлеу болып табылады.

Зерттеу объектілері мен әдістері.

Жұмыстағы зерттеу объектісі вакуумда температуралық тұндыру әдісімен алынған екі қабатты жұқа қабыршақты материалдар болып табылады. Байланыс жолдары түріндегі бірінші қабат арнайы маска арқылы тұндырылды, ал екінші қабат, байланыс жолдарының үстінен жағылатын никель оксиді пленкасы.

Жұмыста келесі зерттеу әдістері қолданылды:

- 1) КОМПАС-3D ортасында компьютерлік модельдеу;
- 2) Электрод жолдарын қалыптастыруға арналған маскаларды басып шығару үшін PICASO 3D принтерінің мүмкіндіктерін пайдалану;
- 3) Вакуумда температуралық тұндыру;
- 4) Цилиндрлік пеште 300⁰С температурада (оттегі ағынында) күйдіру.

Жұқа қабыршақты металл қабаттарын жасау үшін JEE-420 моделінің вакуумдық посты қолданылды.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау.

Технологиялық маршрутты және мемристор элементтерінің құрылымын жасау үшін келесі технологиялық процестер жасалды:

- «буландырғыш-төсеніш» құрылымын құрастыру үшін оңтайлы параметрлерді (қашықтық, бұрыш) есептеу;

- электродтарды температуралық тұндыруға арналған маскалардың геометриялық параметрлерін жобалау және есептеу;

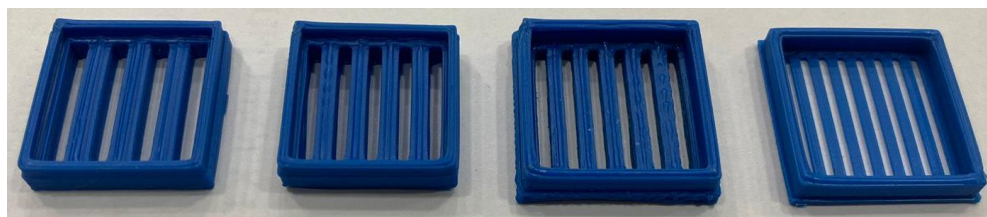
Төсенішті бекітудің оңтайлы бұрышы мен биіктігін анықтау эмпирикалық әдіспен келесі өрнектің көмегімен жүзеге асырылды:

$$T = M \sin \Theta / \rho 4\pi R^2 \quad (1)$$

мұндағы М – заттың массасы, $\sin \Theta$ – бұрыш, ρ – заттың тығыздығы, R – арақашықтық.

Есептеулерді жеңілдету үшін қолданылатын заттың массасы $m=1$ грамм, ал посттың жұмыс көлемінің жазықтығына қатысты төсеніштің көлбеу бұрышы $\theta=0^0$ деп қабылданды. Металл электродтарын сапалы тұндыру үшін буландырғыш пен төсеніш арасындағы ең тиімді арақашықтық 2,8 см болатындығы анықталды. Сондай-ақ, есептеу буланатын заттың массасы $m=1$ граммға тең болғанда, тұндырылған қабаттың қалыңдығы $d=100$ нм болатындығын көрсетті.

Ең қарапайым жағдайда мемристордың құрылымы екі электродтан (төменгі және жоғарғы) және олардың арасындағы белсенді қабаттан тұрады [7]. Бастапқы кезеңде төменгі қабат қалыптасады. Қолданылатын төсеніш бетінің бірлігіне белсенді мемристор ұяшықтарының саны электрод жолдарының санына байланысты. Төсеніш ретінде жұқа (0.17 мм) жабын шынылары (18*18 мм) қолданылды. Электродтарды қалыптастыру үшін маскалар дайындалды. Электродтардың белгілі бір санын қалыптастыру үшін электродтардың ені мен олардың арасындағы қашықтықтың оңтайлы арақатынасын ескере отырып, қарапайым есептеу жүргізілді. Есептеу деректеріне сәйкес КОМПАС-3D ортасында маска модельдері жасалды. Дайын модельдер 3D принтер (PICASO) көмегімен басып шығарылды. Маскалардың сыртқы түрі 1-суретте көрсетілген.



Сурет 1 Электродтарды буландыруға арналған маскалар

Байланыс электродтары вакуумда әртүрлі материалдарды температуралық тұндыру арқылы дайындалды. Байланыс электродтарын қалыптастыру үшін материалдар ретінде алюминий, күміс, қола және мыс таңдалды. Бастапқы үш металл физикалық ұнтақтау арқылы

ұсақ бөлшектер ретінде алдын ала дайындалды. Мыс контактілерін жасау үшін диаметрі 0,5 мм мыс сым қолданылды.

Әр түрлі материалдардан дайындалған байланыс электродтарының үлгісі 2-суретте көрсетілген.



Сурет 2 Электродтардың дайын үлгілері

Барлық жағдайда электродтардың вакуумдық тұндырылуы вакуумдық бекеттің жұмыс көлеміндегі қысым $4 \cdot 10^{-5}$ Па-дан аспаған кезде жүзеге асырылды. Буландырғыштың қызу жылдамдығы секундомердің көмегімен және манометрлердің көрсеткіштерін бекіту арқылы тіркелді. Булану процесі басталған кезде қысым күрт артты, сол кезде секундомер іске қосылды. 1-кестеде алюминий, мыс, күміс және қоладан тұрақты электрод жолдары алынған кездегі параметрлер келтірілген. Сонымен қатар, кестеде белсенді жұмыс элементі ретінде таңдалған никельдің жұқа қабыршақтарын тұндырудың техникалық параметрлері келтірілген.

Кесте 1. Алюминий, мыс, күміс және қоладан жасалған электродты жолдарды тұндыруға арналған тәжірибелік параметрлер.

Металл	Агрегаттық күйі	Жұмыс көлеміндегі қысым, Па	Қыздыру тогы, А	Қыздыру режимі мен уақыты, минут
Мыс	Қатты. Жіңішке сым.	$4 \cdot 10^{-5} - 6 \cdot 10^{-5}$	4	Біртіндеп, 7
Күміс	Қатты. Ұсақ бөлшектер.	$5 \cdot 10^{-5}$	6	Біртіндеп, 6
Қола	Қатты. Ұсақ бөлшектер.	$4 \cdot 10^{-5} - 8 \cdot 10^{-5}$	4	Біртіндеп, 5
Никель	Қатты. Ұсақ бөлшектер.	$3 \cdot 10^{-5}$	6	Біртіндеп, 8

[15] сәйкес, мемристорлық техникада белсенді элемент ретінде әртүрлі металл оксидтерін қолдануға болады. Жарияланымның көптігіне қарамастан, жаңа материалдар іздеу қазіргі уақытта да жалғасуда [16,17]. Негізгі критерий мемристорлық ұяшықтағы күйлердің ауысуының максималды жылдамдығын қамтамасыз ететін материалды іздеу болып табылады.

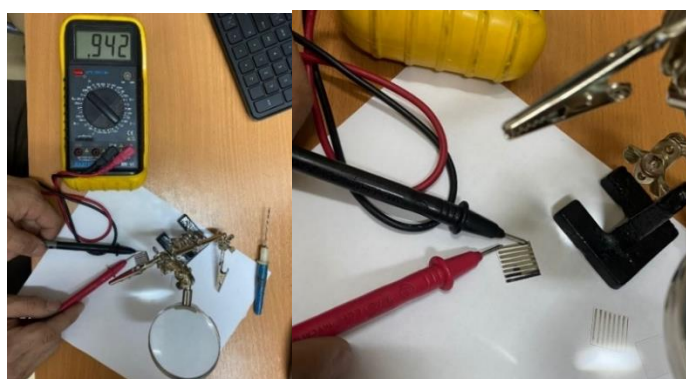
Никель оксидінің белсенді элементі ретінде таңдалуы бірнеше факторларға байланысты. Материалдың ұсақталған ұнтақ түрінде болуы, тотығу кезінде күйдірудің төмен температурасы және материалдың жақсы зерттелгені маңызды рөл атқарды [11, 18-21].

Вакуумдық қондырғыда электродтардың бетінде никель пленкасы пайда болғаннан кейін эксперименттердің келесі кезеңі никель оксидінің түзілуіне арналды. Ол үшін ұзындығы 25 см және ішкі диаметрі 3.8 см болатын кіріктірілген кварц түтігі бар дөңгелек пеш (сурет 3) қолданылды. Күйдіру $280^{\circ}\text{C} - 300^{\circ}\text{C}$ температурада жүзеге асырылды. Үлгіні бекіту аймағындағы температураны бақылау милливольтметр арқылы хромель-алюмель термопарасының (К типі) көмегімен жүзеге асырылды. Оттегімен қамтамасыз ету арнайы бөлінген кіріс арқылы жүзеге асырылды. Газ қысымы оттегі манометрімен реттелді және $P = 0.5$ Pa мәніне сәйкес келді.



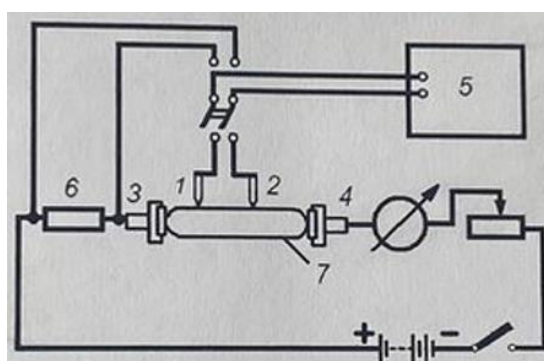
Сурет 3 Вакуумдық қондырғыда никель қабыршағын күйдіру және никель оксидін қалыптастыруға арналған дөңгелек пеш

Эксперименттік жұмыстардың келесі кезеңінде электродтардың электр өткізгіштігіне тексеріс жүргізілді. Өлшеу DT9205A мультиметрінің көмегімен жүргізілді. Контактілі электродтардың кедергісі 1 кОм аспайтыны және электродтар арасында қысқа тұйықталу жоқ екендігі анықталды. Осылайша, біз төсеніштің бетіндегі қабыршақтардың электрөткізгіш екеніне көз жеткіздік. Бұл біркелкілікті және физикалық үзілістердің болмауын көрсетті. 4-суретте мультиметр көмегімен электродтардың өткізгіштігін өлшеу қадамдары көрсетілген.



Сурет 4 Электродтардың электрөткізгіштігін өлшеу

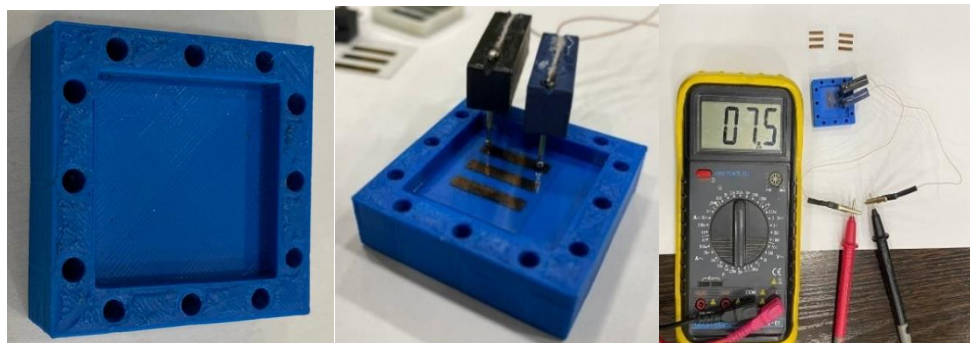
Вольт-амперлік сипаттаманы өлшеу үшін екі зондты әдіс қолданылды (сурет 5). Кедергіні өлшеу үшін КОМПАС-3D ортасында үлгіні ұстауға арналған ұяшық моделі жасалды және 3D принтер көмегімен басып шығарылды (сурет 6). Ұяшық үлгінің өлшемі әртүрлі болса да өлшеу жүргізіле алатындай жасалды. Үлгіге түсетін зондтар серіппелі штангадан жасалды.



1,2 – потенциалды зондтар; 3,4 – ағымдағы контактілер; 5 – тұрақты ток потенциометрі; 6 – үлгі арқылы өтетін токты өлшеуге арналған анықтамалық резистор; 7 – өлшенетін кристалл.

Сурет 5 Екі зондты әдіспен меншікті кедергіні өлшеу схемасы

Электродтардың кедергілері өлшенді және кедергінің бар екеніне көз жеткізілді (сурет 6). Демек, электродты қабыршақ тұтас және өткізгіштік қызметке жарамды.



Сурет 6 Ұяшық пен штанганың көмегімен кедергіні өлшеу

Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. Кулакова А. А., Лукьяненко Е. Б. Мемристорная логика в цифровой схемотехнике //Известия высших учебных заведений. Электроника, 2020. – Т. 25. – №. 4. – С. 330-338.
2. Tzouvadaki I. et al. Interfacing Biology and Electronics with Memristive Materials //Advanced Materials, 2023. – С. 2210035.
3. Chua L. Memristor-the missing circuit element //IEEE Transactions on circuit theory, 1971. – Т. 18. – №. 5. – С. 507-519.
4. Chua L. O., Kang S. M. Memristive devices and systems //Proceedings of the IEEE, 1976. – Т. 64. – №. 2. – С. 209-223.
5. Dmitri B. Strukov, Gregory S. Snider, Duncan R. Stewart & R. Stanley Williams. The missing memristor found // Nature, 2008. – С. 80-83.
6. Torrezan A. C., Strachan J. P., Medeiros-Ribeiro G., & Williams R. S. Sub-nanosecond switching of a tantalum oxide memristor // Nanotechnology, 2011. – Т. 22. – С. 485203.
7. Sun K., Chen J., Yan X. The future of memristors: Materials engineering and neural networks //Advanced Functional Materials, 2021. – Т. 31. – №. 8. – С. 2006773.
8. Danial L., Sharma K., Dwivedi S., & Kvatinsky S. Logarithmic neural network data converters using memristors for biomedical applications //2019 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS). – IEEE, 2019. – С. 1-4.
9. Zhang J. et al. Memristor based electronic devices towards biomedical applications //Journal of Materials Chemistry C, 2023. – Т. 12. – №. 1. – С. 50-59.
10. Lee M.H., Kim K.M., Kim G.H., Seok J.Y., Song S.J., Yoon J.H., & Hwang C.S. Study on the electrical conduction mechanism of bipolar resistive switching TiO₂ thin films using impedance spectroscopy //Applied Physics Letters, 2010. – Т. 96. – №. 15.