

ӘӨЖ 621.38

ВАКУУМДЫҚ НАНОТРИОДТЫҢ СТАТИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ

Насилов Жанат Оралбекұлы

Janat-2012@list.ru

Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ «Наноматериалдар және нанотехнологиялар»
мамандығының 2-курс магистранты, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Ғылыми жетекшісі - Сатаева Г.Е.

Аннотация Фаулер-Нордгейм теңдеуіне негізделген нанотриодтың статикалық сипаттамаларымен қоса (тор және анодтық) модельдеу кезіндегі нәтижелері шығарылған. Анод пен тордағы кернеудің өзгерісінен олардың өзгеру заңдылықтары анықталды. Нанотриодтың ұшқырлығы, оның ішкі кедергісі және пайдасы есептелінді. Зерттеу кезінде ұшқырлық мәнінің бірлігі нА/В екендігі анықталды, және ішкі қарсылық 27 ГОм жетті, ал пайдасы 4 ке тең болды.

Әдеби шолуларға зерттеу жүргізу барысында Ин Пак, Сок-Ги Чон и Чанхван Шин авторларының «Жаңа Саңылаулы Вакуумдық-Каналды Транзистор» еңбегіндегі көміртекті нанотүтікшелер қолданылған катодты және ұзындығы ондаған нанометр болатын жаңа вакуумды-каналды транзистор ұсынылған. Авторлар құрылғының вакуумда ғана емес, ауада да жұмыс істей алатындығын көрсетті. Геометриялық сипаттамаларына байланысты құрылғы анодтың жылжуы ысырманың жылжуымен бірдей болған кезде жұмыс істей алатынын, сондықтан құрылғыны сандық интегралды сұлбаларда құрылғының элемент компоненті ретінде пайдалануға болатынын баяндады. Тәжірбие кезінде құрылғы ауада жұмыс істей алатындығы расталды, өйткені оның арнасының ұзындығы ауаның орташа бос жолына тең болып шықты [1].

Келесі мақала авторлары Пак Сун-Су, Пак Дон Ир, Сон-Хо Хам, Чон-Хён Ли, Хён-Чоль Чой и Чон-Хи Ли «Тығыздығы жоғары бүйірлік жазық эмиссиялық триодты дайындау» тақырыбында поликремнийдің жергілікті тотығуын қолдана отырып, поликремнийдің жазықтық эмиссиялық триоды бүйір түрінде ұсынылатын және жасалатынын көрсетті. Бұл зерттеуде қолданылатын әдістер өте қарапайым және электродтардың өткір ұштарын қалыптастыру кезінде де, катодтан қақпаға дейінгі қысқа электрод қашықтығын басқару кезінде де жақсы қамтамасыз етеді. Құрылғылар жоғары электрлік сипаттамаларды көрсетеді: төменгі кернеу 14 В, $V_{GC} = 0$, тұрақты жоғары эмиссиялық анодты ток (IA) 92 μA /триод 90 сағат бойы ысырманың салыстырмалы түрде аз тоғымен (I) 0,23 а/триод (IA/IG >400) және үлкен транскондуктивтілік (gm) 57 $\mu\text{S}/5$ триод бұл $V_{GC} = 5$ В және $V_{AC} = 26$. Барлық осында

көрсетілген сипаттамалар Локо кезінде катод пен ысырма ұшының өте күрт қалыптасуынан пайда болатын өрісті күшейту әсерінің жоғарылауымен байланысты [2].

«Диодты және триодты вакуумдық наноқұрылымдардағы далалық эмиссия» атты мақалада зерттеушілер М.В.Давидович., Бухуев Н.А., Равиль К. вакуумдық электрониканың нано-диодты және нано-триодты құрылымдары туралы деректер келтірілген. Құрылымдарда катодта орналасқан қалыңдығы бірнеше нанометр болатын диэлектрлік үлдірлер қолданылған. Үлкен диэлектрлік өткізгіштігі бар мұндай үлдір потенциалдық барьер қалыңдығын үлдірдің қалыңдығына дейін азайтады және тосқауылдың биіктігін кішірейтеді. Торлы электродтың құрылымында қалыңдығы ондаған нанометр болатын бірнеше металдандыру кезеңдері болуы мүмкін. Зерттеу жұмыстарында барлық құрылымдар үшін Гриннің электростатикалық функциясын пайдаланды. Нәтижесінде есептулер үшін Фаулер-Нордгейм формуласын қолданды. Үлдір жұмыс функциясын едәуір азайтуға және тосқауылдың енін азайтуға мүмкіндік беретінін көрсетті, туннельдік токтың жоғарылауына әкеледі. Мақалаларды шолу нәтижесінде, кремнийдің қолдану аясы алдыңғы орынды алып тұрғанын байқауға болады [3].

Қазіргі уақытта вакуумды аралықтармен жұмыс жасайтын наноқұрылымдарды қолданатын вакуумдық наноэлектроника белсенді дамуда. Мұндай наноқұрылымдарда суық катодты эмиссия қолданылады [4]. Негізгі артықшылықтары - катодтарды ішкі ауаны шығарумен және қыздыру арқылы вакуум жасаудың қажетілігі жоқ екенін көруге болады. Сонымен қатар, вакуумда заряд тасымалдаушыларды ешқандай шашыраусыз тасымалдауға болады және электрондардың берілу жылдамдығы жартылай өткізгіштерге қарағанда едәуір жоғары болып келеді [4-5]. Сонымен қатар, вакуумдық құрылғылар жартылай өткізгіш құрылғыларға қарағанда экстремалды жағдайларға төзімді, мысалға, жоғары температурада жұмыс істеуге және әртүрлі сәулелену мен радиацияға ұшырау кезінде өте төзімді болып келеді [5].

Электродтар арасындағы қашықтық азайған кезде электронды эмиссияны жүзеге асыру мүмкіндігі пайда болады, өйткені аз қашықтыққа байланысты электродтардағы салыстырмалы түрде төмен потенциалдар кезінде электр өрісінің жоғары кернеуі пайда болады. Сонымен қатар, егер электродтар арасындағы қашықтық ауадағы электронның бос жүру ұзындығынан аз болса, онда құрылымдағы электрондардың тасымалдануы баллистикалық тасмал арқылы жүзеге асырылуы мүмкін [6]. Сонымен қатар, құрылымның өзі жұмыс істеуі үшін артық ауаны сору қажет емес. Осылайша, оның қасиеттері бойынша вакуумдық шамға ұқсас құрылғыны алуға болады, онда термоэлектрондық эмиссияның орнына автоэлектрондық (жазықтық) эмиссия жүзеге асырылады, ал баллистикалық тасымалдауды қамтамасыз ету үшін электродтар арасындағы аз қашықтық қолданылады, және құрылымның жұмыс аймағында вакуум пайда болмайды. Өз кезегінде бұндай жұмыстарды жартылай өткізгіштер технологияларымен жасауға болады.

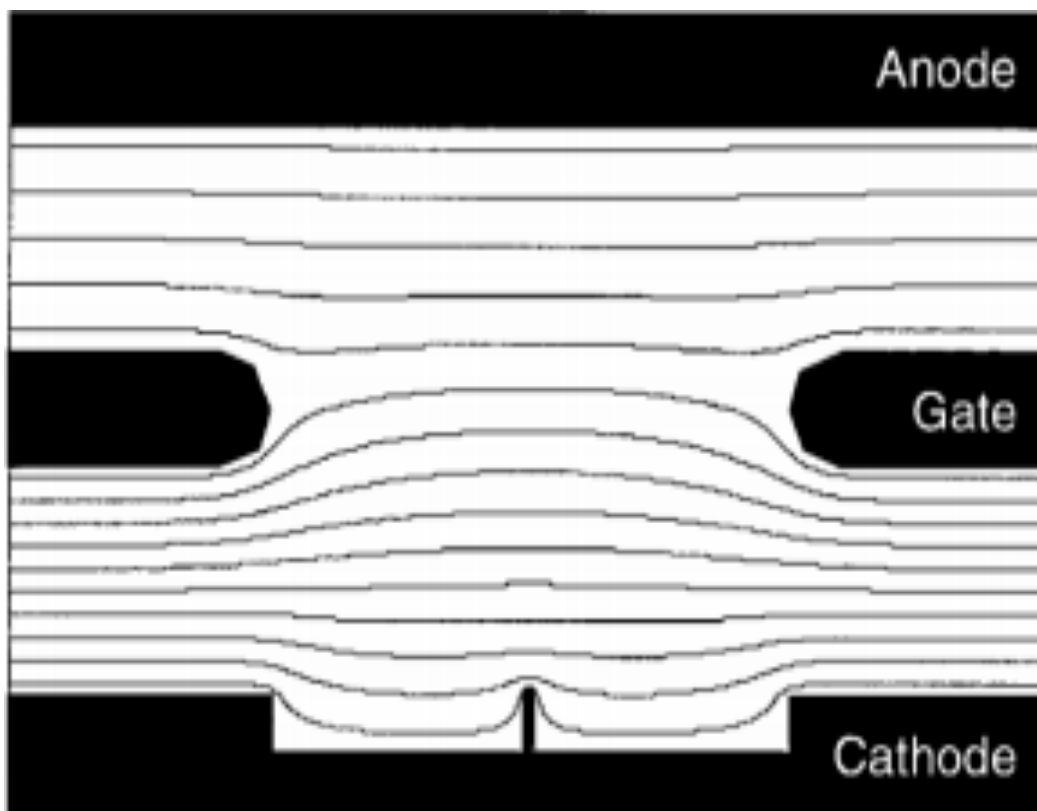
Жұмыстың мақсаты вакуумдық нанотриодтың статикалық электрлік сипаттамаларын модельдеу, оның дизайны төменде қарастырылған.

Конструкциясы. Бұл жұмыста катод, анод және екі басқару электродынан тұратын жоспарлы вакуумдық нанотриодтың дизайны қарастырылған.

Моделі. Модельдеу үшін екі өлшемді Пуассон теңдеуін шешу арқылы алынған нанотриодтағы электр өрісінің кернеулігінің таралуын есептеу нәтижелері қолданылды. Алынған мәліметтер негізінде катод бетіндегі электр өрісінің кернеулігінің шамасын жуықтау

$$F = gV_g + hV_a \quad (1)$$

мұнда V_g және V_a тиісінше ысырма мен анодтың кернеуі, g және h анықталатын электродтардың нақты геометриясының параметрлері ($g > h$).



Сурет 1-Пуассон теңдеуімен есептелген эквипотенциалды қисықтар бейнеленген нанотриод геометриясы

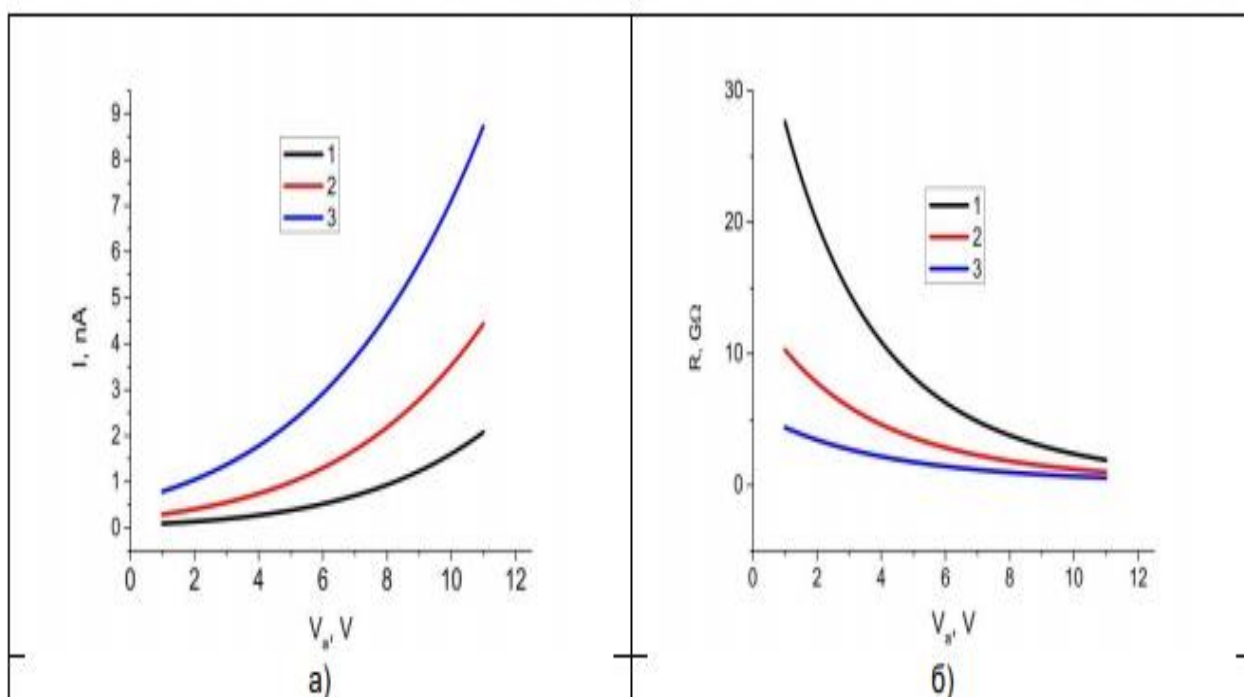
Эмиссиялық токты есептеу үшін біз Фаулера–Нордгейма электронды эмиссиясының моделін қолданамыз

$$I = \frac{\lambda a s F^2}{\varphi} \exp\left(\frac{-\mu b \varphi^{\frac{1}{2}}}{F}\right) \quad (2)$$

Осында s -эмиссия ауданы, φ катод материалының шығу жұмысы. $\text{Const } a = 1.541 \cdot 10^{-6} \text{ эВ}/\text{В}^2$ және $b = 6.83 \cdot 10^9 \text{ В}/(\text{мэВ}^{3/2})$. Параметрлер $\lambda = (1.1)^{-1}$ және $\mu = (0.95 - y^2)$, осы функцияда $y = (e/4\pi\epsilon_0)^{1/2} F^{1/2}/\varphi$ шығу жұмысын төмендетудегі эквиваленті, e – электрон заряды ϵ_0 – вакуумның диэлектрлік тұрақтысы.

1 ші және 2ші формулалар арқылы $I(V_g)$ тор және $I(V_a)$ анод есептеулері жүргізілді), нанотриодтың сипаттамалары, сондай-ақ ішкі қарсылықтың ұшы $S = d/(V_g)/dV_g$ осында V_a тұрақты кезінде. $R = d/(V_a)/V_a$ осында V_g тұрақты. Бұл жерде күшейткіш коэффициенті $k = SR$. Келесі параметрлері $g = 4 \cdot 10^8 \text{ м}^{-1}$, $h = 1 \cdot 10^8 \text{ м}^{-1}$.

Катод бетіндегі электр өрісінің кернеулігінің сипаттамалық мәндері F келесі мәнді құрайды $10^9 \text{ В}/\text{м}$



Сурет 2 - Нанотриодтың а) - анодтық сипаттамасы және б) ішкі кедергісі мәндері:

- 1) $V_g=10.2$ В, 2) $V_g=11,0$ В, 3) $V_g = 11,8$ В

Есептеу нәтижелері. Потенциалдардың орналасқан аймақтары $V_g = 5 - 11$ В, $V_a = 1 - 11$ В, құрылымдағы токтың мәні 1-10 Нм. Тордың және анодтың сипаттамалары үшін токтың монотонды өсуі байқалады, анод потенциалы да, тор потенциалы да артады. Ұшқырлық шамасы 0.5-4.5 нА/В шамасында жатыр және V_g және V_a өскен сайын олардың мәні де өседі екен. Ішкі кедергісіне келетін болсақ, ол 2-27 ГОм ға тең. Ал мәніне келетін болсақ, егер V_g және V_a өссе онда мәні төмендейді. Күшейткіш коэффициенті осы модель үшін 4 ± 0.003 құрайды.

Қорытынды. Вакуумдық планарлы нанотриодтың дизайны қарастырылуда. Оның статикалық сипаттамалары модельденді. Тор және анод потенциалдарының түрленуі кезінде статикалық өзгерістердің заңдылықтары анықталды. Нанотриодтың геометриясы үшін токтың мәні нА ды құрайды. Ұшқырдың мәні қолданылатын потенциалдардың жоғарылауымен өседі, ал ішкі қарсылық сәйкесінше төмендейді екен. Бұл конструкция нанометрлік өлшемдерге және сәйкесінше токтың кіші мәндеріне (бір-біріне) байланысты бірнеше ГОм-ға жететін төмен беріктікпен және жоғары ішкі кедергімен сипатталады. Бұл нанотриодтың қарастырылған негізгі сипаттамасының ерекшелігі, мұндай элементтерді радиотехникалық тізбектер мен тізбектерге енгізу үшін тиісті элементтердің сұлбалық шешімдерін жасау үшін маңызды.

Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. Spindt C. A. et al., "Field-emitter arrays for vacuum microelectronics," IEEE Trans. Electron Devices, vol. 38, 1991. P. 2355.
2. Brodie I. and Spindt C. A., "Vacuum microelectronics," Adv. Electron. Phys., vol. 83, 1992. P. 1
3. Simmons J. G., J. Appl. 1963. P. 34, 6, 1793
4. Han, Jin-Woo. Vacuum nanoelectronics: Back to future? – Gate insulated nanoscale vacuum channel transistor / Jin-Woo Han, Jae Sub Oh, M. Meyyappan // Applied Physics Letters, 2012. P. 100
5. Grzebyk, Tomasz. Field-emission electron source for vacuum micropump / Tomasz Grzebyk, Anna Gorecka-Drzazga // Vacuum 86, 2011. P. 39

6. Driskill-Smith, A.A.G. Quantum interference in a vacuum nanotriode/ A.A.G. Driskill-Smith, D.G. Hasko, H.Ahmed // Journal of Vacuum Science & Technology, 2000. P. 3481