FIZIKA-TEXNIKA

UDK: 62:66 **DOI: 10.56292/SJFSU/vol29_iss2/a129**

SI/CU PLYONKA TIZIMINING YUZASIDA YARATILGAN NANO O‘LCHOVLI TUZILMALARNING XUSUSIYATLARINI O‘RGANISH

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАНОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР, СОЗДАННЫХ НА ПОВЕРХНОСТИ ПЛЕНОЧНОЙ СИСТЕМЫ SI/CU

STUDYING THE PROPERTIES OF NANOSCALE STRUCTURES CREATED ON THE SURFACE OF THE SI/CU P SYSTEM FILMS SI/CU

Tursunov Alisher Ravshan o‘g‘li[1], Axmedov Akbar Akramovich[2]

[1]Tursunov Alisher Ravshan o‘g‘li – Toshkent Kimyo – Texnologiya Instituti Shahrisabz filiali Kimyoviy texnologiya va sifat menejmenti kafedrasi assistent o‘qituvchisi

[2]Axmedov Akbar Akramovich – Toshkent Kimyo – Texnologiya Instituti Shahrisabz filiali Kimyoviy texnologiya va sifat menejmenti kafedrasi assistent o‘qituvchisi

Annotatsiya

Past energiyali (E0 = 1-5 keV) O_2^+, Ba^+, Cu^+ va Co^+ ionlarini implantatsiya qilish usuli bilan hamda so‘ngra qizdirilib, erkin nanoplyonka tizimi Si/Cu(100) yuzasida SiO2 va metall silitsidlari nanofazalari va plyonkalari olingan. Ularning sirt morfologiyasi, tarkibi, energiya zonalari parametrlari, ikkilamchi elektron emissiyasi koeffitsientining maksimal qiymati va fotoelektronlarning kvant chiqishi aniqlandi. Xususan, metall silisidlarning taqiqlangan zona oralig‘i 0,3-0,4 eV, qarshilik esa - 100-500 mkOm·sm ekanligi ko‘rsatilgan.

Аннотация

Методом низкоэнергетической (E_0=1-5 кэВ) имплантации ионов O_2^+, Ba^+, Cu^+ и Co^+ с последующим отжигом на поверхности свободной нанопленочной системы Si/Cu(100) получены нанофазы и пленки SiO_2 и силицидов металлов. Определены их морфология поверхности, состав, параметры энергетических зон, максимальное значение коэффициента вторичной электронной эмиссии, квантовый выход фотоэлектронов. В частности показано, что щерена запрещенной зоны силицидов металлов составляет 0.3-0.4 эВ, а их удельное сопротивления - 100-500 мкОм·см.

Abstract

Nanophases and films of SiO_2 and metal silicides have been obtained by low-energy (E_o=1-5 keV) implantation of O_2^+, Ba^+, Cu^+ and Co^+ ions and the by annealing of a free Si/Cu (100) nanofilm systems on the surface. Their surface morphology, composition, energy band parameters, maximum values of the secondary electron emission coefficient, and the quantum yield of photoelectrons have been determined. In particular, it has been shown that the band gap of metal silicides is 0.3-0.4 eV and their specific resistance is 100-500 mkOm·cm.

Kalit so‘zlar: *kremniy, plyonka, energiya, nanoelektronika, elektron, oksid, yarimo‘tkazgich*
Ключевые слова: *кремний, пленка, энергия, наноэлектроника, электрон, оксид, полупроводник.*
Key words: *silicon, film, energy, nanoelectronics, electron, oxide, semiconductor.*

KIRISH

Ma’lumki, kremniy va uning silisidlari zamonaviy elektron va elektrotexnika sanoatining ko‘plab sohalarida, maxsus maqsadlarda, shuningdek, nano va mikroelektronik qurilmalar, turli mashina va uskunalar yaratishda keng qo‘llaniladi.

Ishning dolzarbligi shundan iboratki, so‘nggi paytlarda yarimo‘tkazgichlar va dielektrik plyonkalarning sirt va sirtga yaqin hududida yaratilgan nano o‘lchamdagi plyonkalar va klaster fazalari keng o‘rganildi. Bu asosan mikro, opto va nanoelektronika uchun yangi qurilmalarni ishlab chiqishda ushbu materiallarning istiqbollari bilan bog‘liq. Erkin plyonkalar yuzasida nanostrukturalarning xossalarini tayyorlash va o‘rganish alohida qiziqish uyg‘otadi va bu katta istiqbolga ega va ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Ushbu ishning asosiy maqsadi ion implantatsiyasi paytida erkin Si/Cu plyonkasi yuzasida hosil bo‘lgan yupqa (d≤30-40 Å) oksid plyonkalari va metall silisidlarning elektron tuzilishi, emissiyasi, elektr va optik xususiyatlarini o‘rganishdir.

Tadqiqot obyektlari sifatida Si, Si/Cu, SiO_2, SiO_2/Si/Cu, $CoSi_2$ va $BaSi_2$/Si/Cu namunalaridan foydalaniladi.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODLAR

Tadqiqot usullarida asossan elektron spektroskopiyasi, fotoelektron spektroskopiyasi, xarakterli elektron energiyasini yo‘qotish spektroskopiyasi, skanerlash elektron mikroskopiyasi va yuqori tezlikdagi elektron difraksiyasi qurilmalari yordamida natijalar olindi .

Ilmiy yangilik sifatida sirt morfologiyasi, energiya diapazoni parametrlari, nanoo‘lchamli fazalarning emissiyasi va optik xossalari hamda yupqa Si/Cu nanoplyonka tizimi yuzasida yaratilgan SiO_2, Cu_2Si_3, $BaSi_2$ va $CoSi_2$ plyonkalari o‘rganildi. Bu plyonkalarning fizik xossalari plyonkalar yuzasida olingan plyonkalardan sezilarli darajada farq qilishi aniqlangan.

Ishning amaliy ahamiyati shundaki, bu texnika materiallarning sirt xususiyatlarini va uning elektron va ion bombardimonlari ta’sirida o‘zgarishini o‘rganishda muhim rol o‘ynaydi.

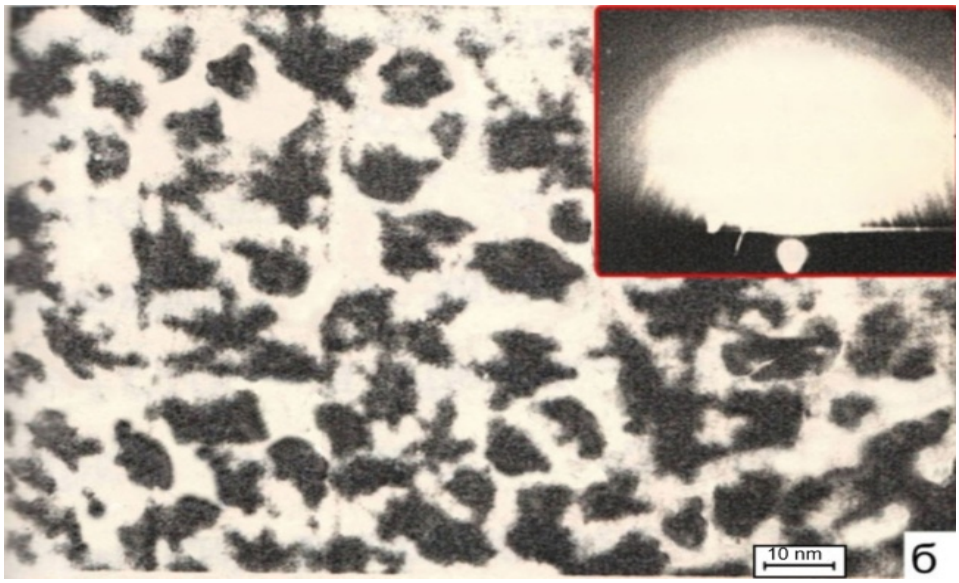
So‘nggi paytlarda yarimo‘tkazgichlar va dielektrik plyonkalarning sirt va sirtga yaqin hududida yaratilgan nano o‘lchamdagi plyonkalar va klaster fazalari keng o‘rganildi. Bu asosan, mikro, opto va nanoelektronika uchun yangi qurilmalarni ishlab chiqishda ushbu materiallarning istiqbollari bilan bog‘liq [1-7]. Plyonkalar yuzasida nanostrukturalarning xususiyatlarini tayyorlash va o‘rganish alohida qiziqish uyg‘otadi [8, 9]. Ushbu maqsadlar uchun so‘nggi yillarda kam energiyali ion implantatsiyasi usuli keng qo‘llanilmoqda.

Ilgari biz [9, 10] yupqa Si/Cu plyonka sistemasi yuzasida nano o‘lchamdagi SiO_2 va $MeSi_2$ plyonkalarining hosil bo‘lishini o‘rgandik. Biroq ularning asosiy xususiyatlari hali ham yaxshi tushunilmagan. Shuning uchun bu ish ion implantatsiyasi paytida Si/Cu plyonka yuzasida hosil bo‘lgan yupqa (d≤30-40 Å) oksid plyonkalari va metall silisidlarning elektron tuzilishi, emissiyasi, elektr va optik xususiyatlarini o‘rganishga bag‘ishlangan. Birinchidan, qalinligi d≈450 Å bo‘lgan yupqa monokristalli mis plyonkalar 10^{-5} Pa dan kam bo‘lmagan vakuumda T≈350-450 K da sun’iy ravishda o‘stirilgan NaCl(100) kristalining yuzasida vakuum bug‘lanishi orqali olingan. [8]. Plyonkaning qalinligi bir hil bo‘lmaganligi ~ 15-20 Å edi. Qalinligi ~50-500 Å bo‘lgan kremniy plyonkalar Cu(100) yuzasida Si kristal atomlarini elektron bombardimon qilish natijasida hosil bo‘ladi. Asosan, qalinligi d=400 Å bo‘lgan Si plyonkalar ishlatilgan. Cu va Si plyonkalarining qalinligi plyonkaning cho‘kish tezligidan, qat’iy cho‘kish vaqtidan boshlab aniqlandi (birinchi navbatda, nazorat o‘lchovlari etalon plyonkalarda amalga oshirildi).

Ion implantatsiyasi, qizdirish va barcha tadqiqotlar bir xil eksperimental qurilmada, 10^{-6} Pa dan kam bo‘lmagan vakuumda amalga oshirildi. Ionlarning energiyasi 1 dan 5 keV gacha o‘zgarib turadi va ularning dozasi D≈10^{14} - 10^{17} ion sm^{-2}. Tarkibi va xususiyatlarini o‘rganish uchun elektron spektroskopiyasi, fotoelektron spektroskopiyasi, xarakterli elektron energiyasini yo‘qotish spektroskopiyasi, skanerlash elektron mikroskopiyasi va yuqori tezlikda elektron difraksiyasi usullari to‘plami ishlatilgan. d=20-25 Å bo‘lgan amorf SiO_2 plyonkalari nurlanish dozasi D=$5\cdot10^{14}$ sm^{-2} dan D=$6\cdot10^{16}$$sm^{-2}$ gacha o‘zgarganda energiya E_0=1 keV bo‘lgan Si/Cu(100) ga O_2+ ionlarini implantatsiya qilish orqali hosil bo‘ladi keyin T=700 *K* haroratda qizdiriladi [9] va 1b-rasmlarda D=$6\cdot10^{15}$ sm^{-2} dozada E_0=1 keV bo‘lgan O_2+ ionlarini implantatsiya qilishdan oldin va keyin Si/Cu(100) sirtining tasvirlari va rasmlari ko‘rsatilgan. Ko‘rinib turibdiki, sof kremniy yuzasi nisbatan silliq mikrorelefga ega (1a-rasm) va polikristalga yaqin tuzilishga ega (1a-rasmga kiritilgan). O_2+ ionlari bilan implantatsiya qilingandan so‘ng, Si yuzasida tuzilishi va tarkibi o‘zgargan individual ko‘rinish (klasterlar) paydo bo‘ladi. Klaster fazalarining sirt o‘lchamlari 10 nm dan 20 nm gacha bo‘lgan oraliqda joylashgan. Bunday holda, klaster fazalari butun nurlangan maydonning bir soniyasini egallaydi. Shunga qaramay, polikristallarga xos bo‘lgan halqalar elektron difraksiyada butunlay yo‘qoladi va kuchli tartibsiz sirtga xos bo‘lgan yangi keng va diffuz halqalar paydo bo‘ladi (1b-rasm).Ko‘rinib turibdiki, klasterlarning lokalizatsiyasi yaqinida mikrobuzilishlarning paydo bo‘lishi nurlangan sirtning boshqa qismlarini ham tartibsizlikka olib keladi. D≈2 10^{16} sm^{-2} dozadan boshlab, alohida bo‘limlar (klasterlar) chegaralarining bir-biri bilan ustma-ust tushishi kuzatiladi.

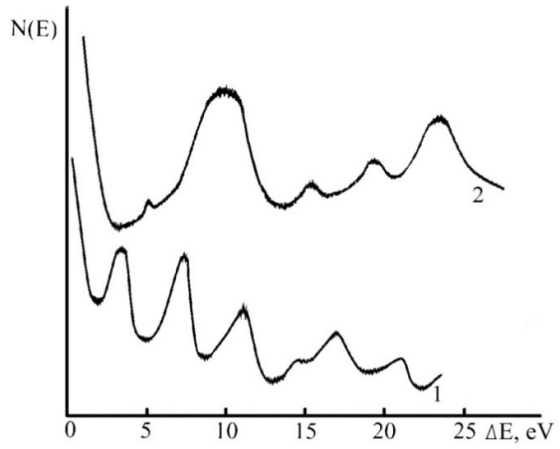


1-rasm. O_2+ ionlari bilan implantatsiyadan oldin va keyin Si/Cu(100) sirtining elektron mikroskopik tasvirlari (rasmlarga kiritilgan): (a) qo‘shilmagan Si/Cu(100) nanoplyonka uchun; b - Si/Cu(100) uchun, energiya E_0=1,0 keV bo‘lgan O_2+ ionlari D=6·10^{15} sm^{-2} dozada implantatsiya qilinadi.



O_2+ ionlari bilan implantatsiya qilingandan so‘ng, Si yuzasida tuzilishi va tarkibi o‘zgargan individual ko‘rinishi (klasterlar) paydo bo‘ladi. Klaster fazalarining sirt o‘lchamlari 10 nm dan 20 nm gacha. Bunday holda, klaster fazalari butun nurlangan maydonning bir soniyasini egallaydi.Shunga qaramay, polikristallarga xos bo‘lgan halqalar elektron difraksiya naqshida butunlay yo‘qoladi va o‘ta tartibsiz sirtga xos bo‘lgan yangi keng va diffuz halqalar paydo bo‘ladi (1b-rasmga kiritilgan). Ko‘rinib turibdiki, klasterlarning lokalizatsiyasi yaqinida mikrobuzilishlarning paydo bo‘lishi nurlangan sirtning boshqa qismlarini ham tartibsizlikka olib keladi. D≈2 10^{16} sm^{-2} dozadan boshlab, alohida bo‘limlar (klasterlar) chegaralarining bir-biri bilan ustma-ust tushishi kuzatiladi. O_2+ ionlarining dozasini D≈8 10^{16} sm^{-2} ga oshirish klasterlarning to‘liq qoplanishiga olib keladi va sirtga yaqin hududda SiO_2 ning amorf qatlami hosil bo‘ladi. Ikkinchisi bitta diffuz halqaning bir qator halqalari-amorf o‘rniga elektron diffraktsiya natijasida o‘rnatish bilan tasdiqlanadi. 2-rasmda nano o‘lchamli oksidli plyonkali Si/Cu(100) plyonkasi uchun energiya yo‘qotishning xarakteristkasi spektrlari ko‘rsatilgan. Ko‘rinib turibdiki, Si/Cu(100) spektri energiyalarda intensiv cho‘qqilarni aniqlaydi; ΔE_3=10.4 ($\hbar\omega_s$), ΔE_5=17 ($\hbar\omega_v$) va ΔE_6=21 ($2\hbar\omega_s$) eV

da plazma tebranishlari ta'sirida diapazonlararo o'tishlar va cho'qqilar tufayli ΔE_1=3.4; ΔE_2=6.7 va ΔE_4=14 [9]. SiO_2 nanoplyonka spektrida 2 ta maksimal, polosalararo o'tishlar ΔE_1=9,1; ΔE_3=l9 eV va plazma tebranishlarining ikkita maksimal ΔE_2=15 ($\hbar\omega_s$) va ΔE_4=23 ($\hbar\omega_v$) eV erkin SiO_2/Si nanoplyonkadagi plazma tebranishlari va tarmoqlararo o'tishlarning energiyasi qalin SiO_2 plyonkasidan farq qiladi. Tarmoqlararo elektron o'tishlar tufayli maksimallarning siljishi tabiati, bizning fikrimizcha, SiO_2 plyonkasi qalinligining pasayishi va substrat ta'sirining kuchayishi bilan elektron holat funktsiyalarining deformatsiyasi bilan bog'liq.



2-rasm. Si/Cu(100) plyonkasi uchun energiya yo'qotishning xarakteristkasi spektrlari SiO_2 plyonkasi hosil bo'lishidan oldin (egri-1) va keyin (egri-2). E_p=1000 eV.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Si yuzasiga qizdirilgandan so'ng metall ionlarini implantatsiya qilishda, nurlanish dozasiga qarab, metall silitsidlarning nanofazali qatlamlari hosil bo'ldi. Biz Cu_2Si_3, $BaSi_2$ va $CoSi_2$ silisidlarining nanoklaster fazalari va plyonkalarini (d=20-50 Å) oldik.

Shunday qilib, O_2+ va Ba+ ionlarining ion implantatsiyasi va keyinchalik qizdirilgandan so'ng, SiO_2 / Si / Cu va $BaSi_2$ / Si / Cu uch qatlamli tizim hosil bo'ladi.

1-jadvalda tarmoqli energiya parametrlari, koeffitsientlarining σ_m, maksimal qiymatlari sm, fotoelektron kvant rentabelligi va SiO_2 nanoplyonkalari va metall silitsidlarning qarshiligi ρ keltirilgan. Ko'rinib turibdiki, metall silisid hosil bo'lganda E_g qiymati 3 marta, solishtirma qarshilik 10^4 marta, $\sigma_м$ va Y ning qiymati 1,5-2 marta, SiO_2 hosil bo'lganda esa E_g ning qiymati 3 marta kamayadi. E_g qiymati ~4 marta, ρ - 10^4 marta $\sigma_м$ va t - 2-3 marta ortadi. Biroq, bu ma'lumotlar ommaviy Si plyonkalari yuzasida olingan o'xshash qatlam uchun olingan ma'lumotlardan sezilarli darajada farq qildi. Masalan, massiv Si plyonkalar yuzasida hosil bo'lgan SiO_2 va $BaSi_2$ uchun E_g qiymati mos ravishda 7,9 va 0,7 eV ni tashkil qiladi. Bu farqlar shu bilan izohlanadiki, erkin plyonkalar yuzasida hosil bo'lgan SiO_2 plyonkalari (va metall silisidlar) isitish haroratining chegaralanganligi sababli, ba'zi miqdorda bog'lanmagan kremniy atomlari va SiO_x tipidagi oksidni o'z ichiga oladi (1≤x<2) [10]. 1-jadvaldagi ma'lumotlarga asoslanib, uch qatlamli tizimning taxminiy tarmoqli energiya diagrammasini chizish mumkin.

1-jadval

Olingan yupqa plyonkalarning $\sigma_м$, Y va ρ diapazonli energiya parametrlari va qiymatlari

Turli xil parametrlar	Si d=400Å	SiO_2/Si d=20 Å	Cu_2Si_3/Cu d=50-60 Å	$BaSi_2$/Si d=50-60 Å	$CoSi_2$/Si d= 50-60 Å
eφ, эВ	5.1	3.9	4	3.1	-
E_g, эВ	1.1	4.1	0.3	0.3	0.4
ρ, mkOm·cm	$6\cdot10^5$	$2\cdot10^8$	500	100-150	80-100
Φ, эВ	5.2	4.9	4	3.9	4.1
X					

σ_m	1.2	2.2	1.2	2	1.7
Y	$8 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-4}$	-

eφ va F - termoelektron va fotoelektron ish funktsiyalari, masalan - tarmoqli bo‘shlig‘i, χ - elektron yaqinligi.

XULOSA

Shunday qilib, erkin Si/Cu nanoqatlam sistemasi yuzasida yaratilgan nano o‘lchamli fazalar hamda SiO2, Cu2Si3, BaSi2 va CoSi2 plyonkalarining sirt morfologiyasi, energiya tasmasi parametrlari, emissiya va optik xossalari o‘rganilmoqda. Bu plyonkalarning fizik xossalari plyonkalar yuzasida olingan qatlamdan sezilarli darajada farq qilishi ko‘rsatilgan. Xususan, yupqa va quyma Si plyonkalarining yuzalarida olingan SiO2 plyonkalarining Eg taxminan ikki baravar farq qiladi.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

[1]. A.L. Stepanov, V.I. Nuzhdin, V.F. Valeev, V.V. Vorobev, A.M. Rogov, Y.N. Osin «Study of silicon surface implanted by silver ions», *Vacuum* 159 (2019) 353–357.(A.L. Stepanov, V.I. Nuzhdin, V.F. Valeyev, V.V. Vorobev, A.M. Rogov, Y.N. Osin «Kumush ionlari bilan implantatsiya qilingan kremniy sirtini o‘rganish», Vakuum 159 (2019) 353-357.)

[2]. D.N.Leong, M.A.Harry, K.J.Reeson, and K.P.Homewood, "On the origin of 1.5μm luminescence in ion beam synthesis β-$FeSi_2$". *Appl. Phys. Letters.* V.68, 1649 (1996) (D.N.Leong, M.A.Harry, K.J.Reeson, va K.P.Homevood, " β-$FeSi_2$ ning ion nurlari sintezida 1,5μm luminesansning kelib chiqishi haqida".)

[3]. В.А.Гриценко, «Атомная структура аморфных нестехиометрических оксидов и нитридов кремния» *УФН,* 178 727–737 (2008). (V.A.Grisenko, « Amorf nestoxiometrik kremniy oksidlari va nitridlarning atom tuzilishi» UFN, 178 727–737 (2008))

[4]. К.В.Карабельников, П.А.Карасев, А.И.Титов, ФТП, Т.47, 206 (2013). (K.V.Karabelnikov, P.A.Karasev, A.I.Titov, FTP, T.47, 206 (2013)

[5]. А.А.Алексеев, Д.А.Олянич, Т.В.Утас, В.С.Котляр, А.В.Зотов, А.А.Саранин, ЖТФ, Т.85, вып.10, 94 (2015). (A.A.Alekseyev, D.A.Olyanich, T.V.Utas, V.S.Kotlyar, A.V.Zotov, A.A.Saranin, JTF, T.85, nashr.10, 94 (2015)

[6]. Ю.А. Ницук, М.И. Киосе, Ю.Ф. Вакстон, В.А. Смынтына, И.Р. Яцунский // ФиТП, 2019, Т.53, вып.3. С. 381-387. (Yu.A.Nisuk, M.I.Kiose, Yu.F.Vakston, V.A. Smitina, I.R.Yasunskiy // FiTP, 2019, T.53, nashr.3. S. 381-387.)

[7]. S.B. Donaev, F. Djurabekova, D.A. Tashmukhamedova, B.E. Umirzakov «Formation of nanodimensional structures on surfaces of GaAs and Si by means of ion implantation», *Physics Status Solidi (C) Current Topics in Solid State Physics*, V.12. Issue 1-2, January 2015, P.89-93. (S.B. Donayev, F. Djurabekova, D.A. Tashmuhamedova, B.E. Umirzaqov «GaAs va Si sirtlarida ion implantatsiyasi orqali nano o‘lchovli tuzilmalarni hosil qilish», Fizika holati Solidi (C) Qattiq jism fizikasining dolzarb mavzulari, V.12. Nashr 1-2, Yanvar 2015, P.89-93.)

[8]. D. Wang and Z.-Q. Zou, Nanotechnology 20, 275607 (2009). (D.Vang va Z.-Q. Zou, Nanotexnologiya 20, 275607(2009)

[9]. F. Komarov, L. Vlasukova, M. Greben, O. Milchanin, J. Zuk, W. Wesch, E. Wendler, and A. Togambaeva, Nucl. Instrum. and Methods In Phys. Res., Sect. B 307, 102 (2013). (F.Komarov, L. Vlasukova, M. Greben, O. Milchanin, J.Zuk, V.Vesch, E. Vendler, va A.Togambayeva, Nukl. Instrum. va fizikada usullar. Res., Sekt. B 307,102 (2013).

[10]. Donaev S.B., Djurabekova F., Tashmukhamedova D.A. and Umirzakov B.E. Formation of nanodimensional structures on surfaces of GaAs and Si by means of ion implantation. Physica status solidi (c) 12 (1-2), 89-93, doi.org/10.1002/pssc.201400156. (Donayev S.B., Djurabekova F., Tashmuhamedova D.A. va Umirzaqov B.E. GaAs va Si sirtlarida ion implantatsiyasi yordamida nano o‘lchovli tuzilmalarni hosil qilish. Fizika holati mustahkam (c) 12 (1-2), 89-93, doi.org/10.1002/pssc.201400156.)