

Kucharov Safarali,
Qarshi davlat universiteti tayanch doktoranti
safaralikocharov2@gmail.com
Tashatov Allanazar
Qarshi davlat universiteti professori
atashatov@mail.ru
UO‘K: 539.23:537.312

MAGNETRON CHANGLATISH REJIMINING NiV YUPQA PLYONKALAR MIKROTUZILISHI VA SIRT TOPOGRAFIYASIGA TA’SIRI

Annotatsiya: Ushbu ishda NiV yupqa plyonkalari soda-ohak shisha tagliklarga bir xil o‘stirish sharoitida doimiy va impulsli RF magnetron changlatish yordamida o‘stirildi. O‘stirish rejimi va qizdirishdan keyingi ishlov berishning plyonkalarining strukturaviy va sirt xususiyatlariga ta’siri tizimli ravishda o‘rganildi. Plyonkalarining sirt morfologiyasi esa skanerlash elektron mikroskopiyasi (SEM) yordamida o‘rganildi. Element tarkibi energiya-dispers spektroskopiyasi (EDS) va to‘lqin uzunligi-dispers rentgen lyuminesensiyasi (WDXRF) yordamida aniqlandi. Olingan natijalar NiV yupqa plyonkalarining o‘sish mexanizmlari haqida tushuncha beradi va o‘stirish rejimi va termik ishlov berish ularning strukturaviy va sirt xususiyatlarini boshqarishda muhim rol o‘ynashini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: NiV yupqa plyonka, magnetron changlatish, sirt morfologiyasi, AFM, nanokristall tuzilma

Safarali Kucharov
PhD student at Qarshi State University
safaralikocharov2@gmail.com
Allanazar Tashatov
Professor at Qarshi State University
atashatov@mail.ru

INFLUENCE OF MAGNETRON SPUTTERING MODE ON THE MICROSTRUCTURE AND SURFACE TOPOGRAPHY OF NiV THIN FILMS

Abstract: In this work, NiV thin films were grown on soda-lime glass substrates under identical growth conditions using continuous and pulsed RF magnetron sputtering. The influence of the growth regime and post-deposition heat treatment on the structural and surface properties of the films was systematically studied. The surface morphology of the films was examined using scanning electron microscopy (SEM). The elemental composition was determined using energy-dispersive spectroscopy (EDS) and wavelength-dispersive X-ray fluorescence (WDXRF). The results obtained provide insight into the growth mechanisms of NiV thin films and demonstrate that the growth regime and thermal treatment play a significant role in controlling their structural and surface properties.

Keywords: NiV thin film, magnetron sputtering, surface morphology, AFM, nanocrystalline structure.

Кучаров Сафарали
Докторант (PhD) Каршинского государственного университета
safaralikocharov2@gmail.com

Ташатов Алланазар
Профессор Каршинского государственного университета
atashatov@mail.ru

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА МАГНЕТРОННОГО НАПЫЛЕНИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ И ТОПОГРАФИЮ ПОВЕРХНОСТИ ТОНКИХ ПЛЕНОК NiV

Аннотация: В данной работе тонкие пленки NiV были выращены на подложках из натриево-известкового стекла при идентичных условиях роста с использованием постоянного и импульсного ВЧ (RF) магнетронного напыления. Систематически изучено влияние режима роста и последующей термической обработки на структурные и поверхностные свойства пленок. Морфология поверхности пленок была исследована с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Элементный состав был определен с использованием энергодисперсионной спектроскопии (ЭДС) и волновой дисперсионной рентгеновской флуоресценции (WDXRF). Полученные результаты дают представление о механизмах роста тонких пленок NiV и показывают, что режим роста и термическая обработка играют важную роль в управлении их структурными и поверхностными характеристиками.

Ключевые слова: тонкая пленка NiV, магнетронное напыление, морфология поверхности, АСМ (AFM), нанокристаллическая структура.

Kirish.

Nikel asosidagi yupqa plyonkalar mikroelektronika, kontakt metallizatsiyasi, diffuziya to'siqlari va himoya qoplamalarida keng qo'llaniladi [1-4]. Xususan, Ni-V qotishmalari (NiV) o'zining mexanik va kimyoviy barqarorligi hamda termal ishlovga bog'liq o'zgarishlarga nisbatan sezgir emasligi bilan ajralib turadi. Shu sababli NiV plyonkalarining struktura va sirt xossalarini chuqur o'rganish - nafaqat fundamental materialshunoslik, balki amaliy elektronika va fotovoltaika texnologiyalarini optimallashtirish nuqtai nazaridan ham yuqori ahamiyatga ega. Adabiyotlarda Ni va NiMe qotishma plyonkalarining o'sish mexanizmi, kristallarni o'sishi va shakllanishiga oid ishlar mavjud bo'lsa-da, aynan NiV qotishmasining changlatish rejimi (DC vs impulsli RF) va qalinlik-issiq ishlov kombinatsiyasining sinovli va integratsiyalangan tahliliga oid tizimli tadqiqotlar cheklangan [5-8]. Magnetron changlatish orqali tayyorlangan Ni-V qotishma yupqa plyonkalari katalitik faolligi va strukturaviy barqarorligi tufayli katta e'tiborni tortdi. Resnik va boshqalar [8,9] tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda DC magnetron sputtering yordamida olingan Ti/NiV/Ag ko'p qatlamli strukturalarning yaxshi adgeziya va diffuziya to'siq xossalariga ega ekanligi ko'rsatilgan. Shuningdek, Akkus va boshqalar [12] NiV yupqa plyonkalarining katalitik xossalarini o'rganib, magnetron changlatish orqali tayyorlangan NiV plyonkalar natriy borogidrid gidrolizida sof Ni va NiCr plyonkalarga nisbatan yuqori vodorod hosil qilish samaradorligini namoyon etishini aniqlagan. Boshqa tadqiqotlarda Ni-V asosidagi plyonkalar optik elementlar va multilayer oynalar uchun ham istiqbolli material sifatida ko'rib chiqilgan. NiV/Ti ko'p qatlamli strukturalar yumshoq rentgen diapazonida ishlovchi optik qoplamalarda qo'llanilishi mumkinligi ko'rsatilgan. Biroq, AFM orqali sirt topografiyasining nozik o'lchovlari, SEM orqali morfologik kuzatuvlar, WDXRF orqali kompozitsion aniqlik

va elektr xossalari bilan bog'lash borasida yetarlicha keng qamrovli ma'lumotlar kam uchraydi. Shuning uchun NiV plyonkalarida qalinlikka bog'liq mikrostrukturaviy o'zgarishlar va ularning sirt hamda elektrofizik xossalarga ta'sirini eksperimental jihatdan aniqlash zarurati mavjud.

Ushbu ishda shisha tagliklarga birinchi marta DC va impulsli RF magnetron changlatish yordamida olingan NiV plyonkalarining qalinlikka bog'liq shakllanishi va sirt morfologiyasini (AFM, SEM orqali) aniqlash, shuningdek, element tarkibini (WDXRF/EDS) hisobga olib, changlatish rejimi va qizdirilgan taglik 600 °C/1 soat vakuum annealining plyonka fazaviy tarkibi, ichki kuchlanish va sirt qo'polligiga ta'sirini baholashdir. Unga ko'ra, tadqiqot quyidagi ilmiy vazifalarni bajaradi:

(i) AFM orqali sirt topografiyasi, qalinlik va annealingga (qizdirish) bog'liqligini tekshirish;

(ii) SEM/EDS natijalari yordamida tarkib va taglik–plyonka signalining interpretatsiyasini aniqlash;

(iii) olingan plyonklarning changlatish parametrlari va sirt xossalari elektr xossalarga bog'lash uchun keyingi bosqichda Hall o'lchovlarini qo'llash rejasi.

Ushbu tadqiqotlar natijasida magnetron changlatish qurilmasining turli rejimlari bilan hosil qilingan NiV yupqa plyonkalarini mikroelektronika texnologiyalarida metall kontaktlar, diffuziya to'siqlari va getero qatlamlari sifatida va sensorlar ishlab chiqarishda keng qo'llaniladi, chunki ular kremniy bilan yaxshi moslashuvchanlikka va yuqori termal barqarorlikka egadir.

Tadqiqot metodologiyasi

NiV yupqa plyonkalar shisha (soda-lime glass) tagliklarda magnetron changlatish (PVD) usuli yordamida hosil qilindi. Changlatish jarayonida diametri 76,2 mm bo'lgan, 99,99% tozalikdagi NiV (93 at.% Ni – 7 at.% V) qotishma nishoni ishlatildi. Tagliklar depozitsiyadan avval ko'p bosqichli ultratovushli tozalash jarayonidan o'tkazildi (organik erituvchilar va distillangan suvda), so'ng quritildi. Changlatish kamerasi dastlab 2×10^{-6} Torr darajadagi boshlang'ich vakuumgacha so'rildi. Ishchi muhit sifatida yuqori tozalikdagi argon gazi qo'llanilib, jarayon davomida bosim $1,5 \times 10^{-3}$ Torr darajada ushlab turildi. Nishon va taglik orasidagi masofa 12 sm ga teng. Depozitsiya jarayonida taglik harorati 200 °C da barqarorlashtirildi. Plyonkalar ikki xil rejimda hosil qilindi: DC magnetron rejimi (150 W quvvat), impulsli RF rejimi (100 kHz chastota, 180 W quvvat). Changlatish davomiyligi 3, 5 va 10 minut etib tanlandi. Tajriba davomida depozitsiya tezligi DC rejimda 0,95 nm/s, impulsli RF rejimda esa 0,84 nm/s ni tashkil etdi. Ushbu qiymatlar asosida dastlabki to'liq qoplamali plyonka qalinligi 150–570 nm oralig'ida shakllandi. Post-depozitsiya issiqlik ishlovi 800 K haroratda 1 soat davomida vakuum muhitida amalga oshirildi. Issiqlik ishlovining maqsadi strukturaviy barqarorlik, kristall o'sishi va ichki kuchlanishning kamayishini o'rganishdan iborat bo'ldi.

1-jadval. NiV yupqa plyonkasining o'tkazish parametrlari

Parametr	Qiymat	Boshqa ishda	Izoh
Quvvat	120–250 W	100–200 W [9, 11]	O'stirish tezligi va zarrachalar energiyasiga ta'sir qiladi
Bosim	1–4 mTorr	5–8 mTorr [9]	Past bosim – zich plyonka; yuqori bosim – yaxshi bir jinslilik
Jarayon gazi	Argon (Ar)	Argon (Ar) [9–11]	Inert gaz
Taglik harorati	200°C	27°C [9, 10]	Plyonka xossalari ta'sir qiladi

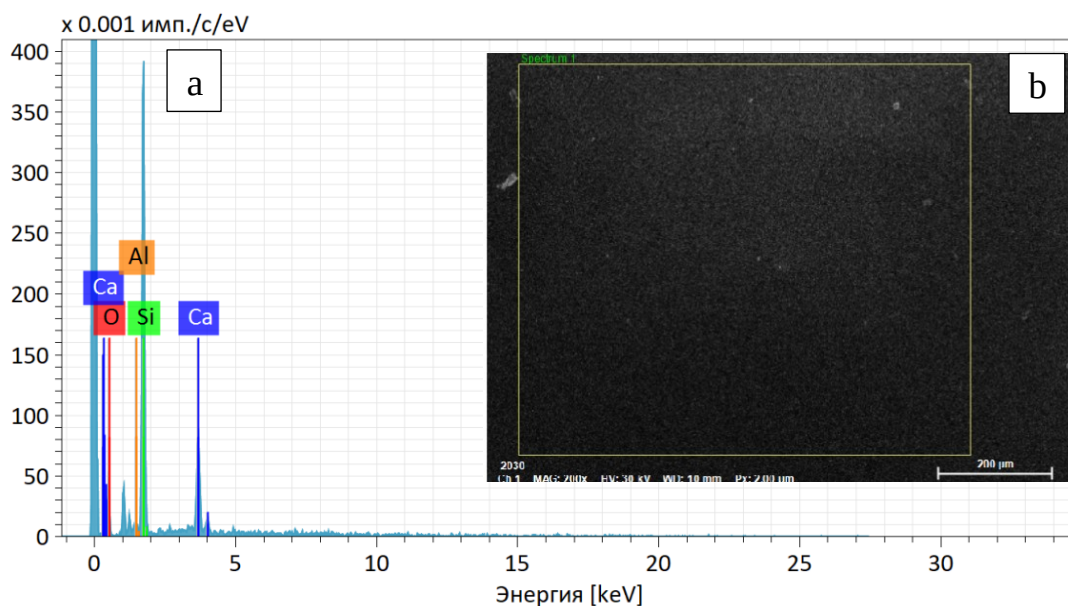
Cho'ktirish tezligi	8,0-9,5 Å/s	0.833 Å/s [10]	157 W, 5 mTorr, 10 W RF bias da
---------------------	-------------	----------------	---------------------------------

Sirt topografiyasi atom-kuch mikroskopi (ASM) yordamida kontakt va tapping rejimida o'lgandi. Skanlash maydoni $5 \times 5 \mu\text{m}$ va $25 \times 25 \mu\text{m}$ oralig'ida tanlandi. Olingan 3D va 2D tasvirlar asosida sirt qo'polliqi parametrlari - o'rtacha arifmetik qo'pollik (R_a) va kvadratik o'rtacha qo'pollik (R_q) aniqlanib, annealing va depozitsiya rejimiga bog'liq ravishda taqqoslandi. Plyonkalarining morfologik tuzilishi skanerlovchi elektron mikroskop (SNE ALPHA, SEC) yordamida o'rganildi. O'lchovlar 20–30 kV tezanish kuchlanishida amalga oshirildi. SEM tasvirlar sirtning bir jinsliliigi, kristall shakli va defektlarning mavjudligini baholash imkonini berdi. Element tarkibi energiya-dispersiv rentgen spektroskopiya (EDS, Bruker XFlash® 6/30 Silicon Drift Detector (SDD)) yordamida aniqlanib, Ni va V elementlarining mavjudligi tasdiqlandi. Detektor 30 mm^2 aktiv maydonga ega bo'lib, Mn $K\alpha$ chizig'ida 123 eV energiya aniqligini ta'minlaydi. Qurilma yuqori hisoblash tezligiga ega bo'lib ($>1500 \text{ kcps}$), past energiyali elementlarni aniqlash imkonini beradi. Shisha taglikdan keluvchi Si va O signallari interpretatsiya jarayonida inobatga olindi. Shuningdek, plyonkaning element tarkibi va atom foizlari WDXRF usuli yordamida yuqori aniqlik bilan aniqlanib, Ni/V nisbatining nishon tarkibiga mosligi baholandi. Ushbu usul EDS natijalarini aniqlashtirish va kompozitsion barqarorlikni tekshirish uchun qo'llanildi.

Natijalar va ularning tahlili

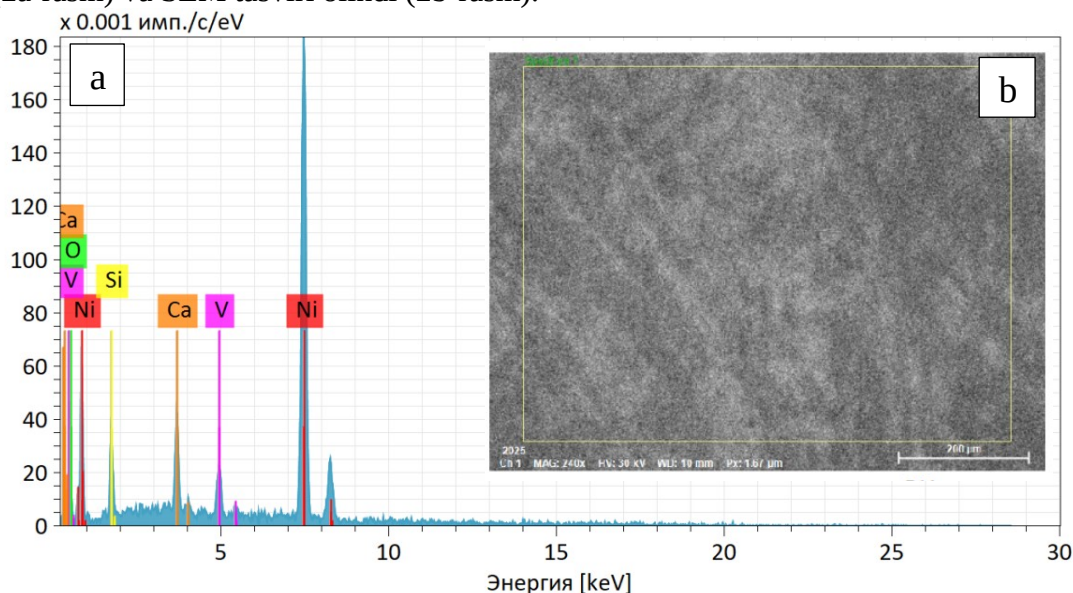
Dastlab NiV yupqa plyonkalarini hosil qilishdan avval shisha taglikning morfologik va element tarkibi o'rganildi. Taglikning EDS spektri 1-rasm(a) da, SEM tasviri esa 1-rasm(b) da keltirilgan.

SEM tasviridan ko'rinadiki, shisha yuzasi amorf va bir jinsli tuzilishga ega bo'lib, kristallarga xos chegaralar kuzatilmaydi. Sirt bo'ylab yirik yoriqlar yoki strukturaviy defektlar aniqlanmadi. Bu esa taglikning yupqa plyonka hosil qilish uchun mos ekanini ko'rsatadi. EDS tahlili natijasida asosiy elementlar sifatida O, Si va Ca aniqlanib, mos ravishda 61,95 at.%, 31,98 at.% va 5,72 at.% ni tashkil etdi. Kichik miqdorda Al elementi (0,35 at.%) ham qayd etildi. Odatda soda-lime glass tarkibi: $\text{SiO}_2 \approx 70\text{--}75\%$, $\text{Na}_2\text{O} \approx 12\text{--}15\%$, $\text{CaO} \approx 8\text{--}12\%$ va Al_2O_3 kichik miqdorda bo'ladi. EDS da Na chiqmasligining sababi Na past energiyali element bo'lib, EDS past energiyada sezgirlik pasayishi bilan tushuntirish mumkin. Olingan natijalar soda-lime turidagi silikat shishaning tipik tarkibiga mos keladi. Na elementi aniqlanmagan bo'lsa-da, bu EDS usulining past energiyali elementlarga nisbatan sezgirligi cheklanganligi bilan izohlanadi. Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, taglikning kimyoviy tarkibi va morfologiyasi NiV plyonkalari o'sish jarayoniga sezilarli xalaqit bermaydi. Amorf va bir jinsli sirt plyonka nukleatsiyasi uchun barqaror muhit yaratadi.



Rasm 1. Soda-lime glass taglikning SEM tasviri (a) va EDS spektri (b)

Magnetron changlatish qurilmasi yordamida soda-lime glass yuzasida DC rejimi bilan hosil qilingan NiV yupqa plyonkasining element tarkibi EDS spektri orqali aniqlandi (2a-rasm) va SEM tasviri olindi (2b-rasm).



Rasm 2. Soda-lime glass yuzasida hosil qilingan NiV yupqa plyonkasining SEM tasviri (a) va EDS spektri (b)

Shisha taglik va NiV bilan qoplangan namunaning EDS spektrlari taqqoslanganda tagliklarga xos bo'lgan Si signali indikator sifatida qabul qilindi. Plyonka+taglik namunasidagi Si atom foizi taglikdagi qiymatga nisbatan masshtablanib, taglik hissasi aniqlanib ayirildi. Ushbu farq-usuli orqali plyonkaga tegishli metall komponentlar qayta normallashtirildi. Hisob-kitob natijasida Ni va V elementlarining o'zaro nisbati taxminan 94:6 atrofida bo'lib, bu ishlatilgan 93:7 tarkibli nishon bilan yaxshi mos keladi. Bu natija DC rejimida hosil qilingan plyonkaning NiV qotishmasi sifatida muvaffaqiyatli shakllanganini tasdiqlaydi. Taglik elementlarining mavjudligi plyonkaning nisbatan kichik qalinligi va yuqori tezlanish kuchlanishi bilan izohlanadi.

2-jadval. Shisha taglik, NiV/shisha namunasi va substrat hissasi ayirilgandan keyingi NiV plyonkaning hisoblangan atom foiz tarkibi (EDS asosida)

Element	taglik (at.%)	plyonka+taglik (at.%)
Ni	0	47,06
V	0	3,2
Si	31,98	13,6
O	61,95	29,14
Ca	5,72	7,01

NiV plyonkaning haqiqiy element nisbatini aniqlash maqsadida EDS natijalari tagliklar hissasi hisobga olgan holda qayta ishlandi. Yupqa plyonkaning qalinligi elektron penetratsiya chuqurligidan kichik bo'lgani sababli, o'lchov natijasida plyonka va shisha taglik signallari aralash holda qayd etildi (2-rasm). Shu sababli kompozitsiyani ajratish uchun farq (difference) usuli qo'llanildi.

Taglik hissasi aniqlash uchun Si elementi indikator sifatida tanlandi, chunki Si faqat shisha tarkibiga kiradi va NiV plyonkada mavjud emas. Plyonka+taglik namunasida aniqlangan Si atom foizi shishadagi Si atom foiziga nisbatan

masshtablanib, taglik hissasi koeffitsienti (α) aniqlanadi: $\alpha = C_{Si}^{i.i}$

So'ngra taglikga tegishli boshqa elementlarning (O va Ca) hissasi ham shu koeffitsient yordamida baholanib, umumiy natijadan ayirildi:

$$C_{element}^{(film)} = C_{element}^{i.i}$$

Ni va V elementlari shisha tarkibiga kirmagani sababli ular to'g'ridan-to'g'ri plyonkaga tegishli deb qabul qilindi. Taglik hissasi ayirilgandan so'ng Ni va V qiymatlari qayta normallashtirilib, qotishmaning haqiqiy atom nisbatlari hisoblandi. Natijada Ni va V ning o'zaro nisbati nishon tarkibiga (93:7) juda yaqin ekanligi aniqlandi (3-jadval). Bu esa DC rejimida hosil qilingan plyonkaning NiV qotishmasi sifatida muvaffaqiyatli shakllanganini tasdiqlaydi.

3-jadval. NiV yupqa plyonkasining element tarkibi

Element	Element natijalari (at.%)
Ni	93,63310784
V	6,366892161

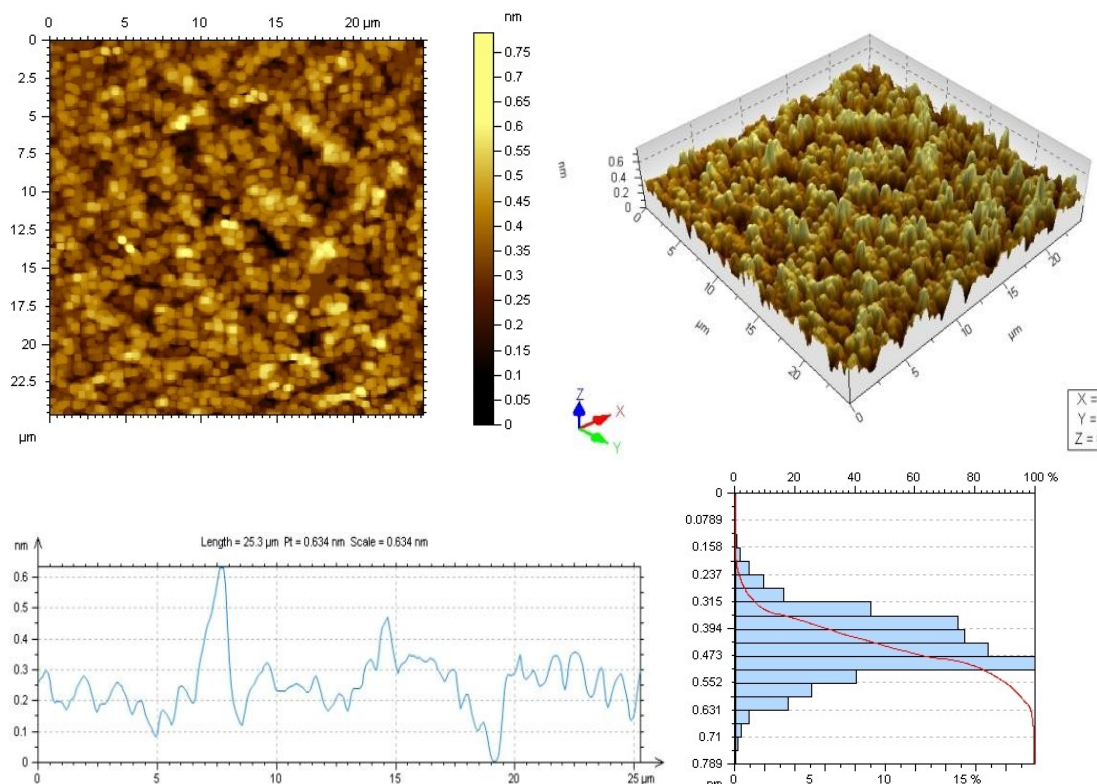
DC magnetron rejimida shisha taglik yuzasida hosil qilingan NiV yupqa plyonkaning sirt morfologiyasi va kimyoviy tarkibi kompleks ravishda SEM va EDS usullari yordamida o'rganildi. Olingan SEM tasvirlari plyonkaning substrat yuzasini to'liq va uzluksiz qoplaganini ko'rsatadi. Sirt bir jinsli va zich tuzilishga ega bo'lib, yirik yoriqlar, ajralishlar yoki delaminatsiya belgilarisiz shakllangan. Morfologik kuzatuvlarda mayda granulali tuzilma namoyon bo'ladi, bu esa metall qotishma plyonkalarga xos bo'lgan nukleatsiya va keyingi kristall birikishi jarayonlari bilan mos keladi. Depozitsiya davomiyligi nisbatan qisqa bo'lishiga qaramay, plyonkaning kompakt va zich hosil bo'lgani DC rejimida ion bombardman energiyasining yetarli darajada bo'lganini ko'rsatadi. Energetik zarrachalar oqimi sirt bo'ylab atomlarning qayta taqsimlanishini kuchaytirib, strukturaning zichlashishiga va yopiq plyonka shakllanishiga olib keladi. EDS spektri Ni va V elementlarining mavjudligini tasdiqlaydi, bu esa nishon tarkibiga mos ravishda qotishma plyonkaning muvaffaqiyatli hosil bo'lganini ko'rsatadi. Shu bilan birga, spektrda Si, O va Ca elementlarining aniqlanishi shisha taglikdan kelib chiqqan signal bilan izohlanadi. Yupqa metall plyonkalarda tezlanish kuchlanishining yuqoriligi elektron nurlarining plyonka orqali taglikgacha yetib borishiga sabab bo'ladi, natijada taglik elementlari

ham qayd etiladi. Bu holat element tarkibini interpretatsiya qilishda hisobga olinishi zarur. Mass-normalizatsiya qilingan natijalar plyonkaning asosiy qismini nikel tashkil etishini ko'rsatadi, vanadiy esa qotishma element sifatida barqaror ravishda aniqlanadi. Olingan ma'lumotlar NiV qotishmasining shakllanishi va elementlarning plyonka bo'ylab bir tekis taqsimlanganini tasdiqlaydi.

SEM va EDS natijalarining o'zaro mosligi plyonkaning taglik bilan yaxshi adgeziyaga ega ekanini va depozitsiya jarayonida fazaviy ajralish sodir bo'lmaganini ko'rsatadi. Morfologik bir jinslilik va element tarkibining tasdiqlanishi plyonka shakllanish mexanizmining dastlabki bosqichlarida nukleatsiya markazlarining ko'p sonli va bir tekis taqsimlanganini anglatadi. Bu esa keyingi strukturaviy evolyutsiya jarayonlari - kristallit o'sishi, kristall chegaralarining shakllanishi va ichki kuchlanishning rivojlanishi - uchun asos yaratadi. Shunday qilib, DC rejimida qisqa vaqtli depozitsiya sharoitida ham NiV qotishmasi zich va uzluksiz yupqa plyonka hosil qilish qobiliyatiga ega ekanligi aniqlanadi, bu esa keyingi AFM tahlillar bilan birgalikda sirt xossalarini kompleks baholash imkonini beradi.

Impulsli RF rejimida 10 minut davomida hosil qilingan as-depozitsiyalangan NiV yupqa plyonkaning sirt topografiyasi atom-kuch mikroskopiyasi (AFM) yordamida o'rganildi. Olingan natijalar 3-rasm(a-d) da keltirilgan.

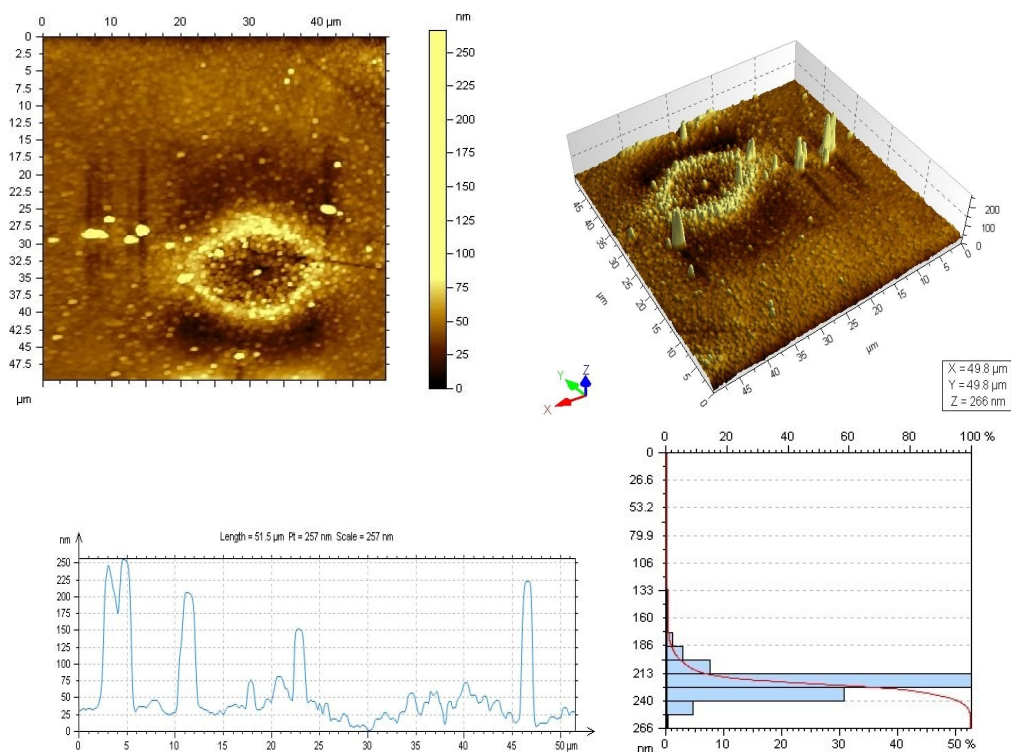
AFM natijalari plyonkaning sirtida yuqori darajada bir jinsli va kompakt tuzilma shakllanganini ko'rsatadi. 2D tasvirdan ko'rinishicha, sirt bo'ylab kristallar mayda va bir tekis taqsimlangan bo'lib, yirik agregatsiya yoki klasterlanish kuzatilmaydi. 3D rekonstruksiya esa balandlik o'zgarishlarining juda kichik amplitudada ekanini tasdiqlaydi, bu esa sirtning yuqori darajada tekis va zich shakllanganini bildiradi. Balandlik taqsimoti histogrammasi tor intervalda joylashgan bo'lib, sirt qo'polligining past ekanini ko'rsatadi. Profil chizig'i bo'yicha tebranishlar kichik amplitudali bo'lib, sirt bo'ylab keskin piklar yoki chuqur defektlar aniqlanmadi. Bu holat impulsli RF rejimida atomlarning nisbatan barqaror energiyada kondensatsiyalanishi va sirt bo'ylab qayta taqsimlanishi bilan izohlanadi. Impulsli RF rejimida plazma barqarorligi yuqori bo'lgani sababli, adatomlarning sirt diffuziyasi muvozanatli tarzda kechadi. Natijada nukleatsiya markazlari bir tekis shakllanadi va plyonka zich, mayda kristalli morfologiyaga ega bo'ldi. Bu o'sish mexanizmi Volmer-Weber tipidagi orolchali nukleatsiya bosqichidan tezda uzluksiz qatlam hosil bo'lishiga o'tish bilan tavsiflanadi.



3-rasm. (a) – 2D sirt topografiyasi, b) – 3D sirt rekonstruksiyasi, c) – sirt balandliklari taqsimoti (histogramma), (d) – sirt bo‘ylab profil chizig‘i

AFM natijalari XRD orqali aniqlangan nanokristall tuzilma bilan mos keladi va plyonkaning strukturaviy yaxlitligini tasdiqlaydi. Sirt qo‘polligining pastligi keyingi elektr o‘lchovlar uchun muhim ahamiyatga ega bo‘lib, kristall chegaralari va sirt tarqalishining kamayishiga xizmat qiladi. Shunday qilib, impulsli RF rejimida 10 minut davomida olingan NiV yupqa plyonka yuqori tekislikka ega, zich va nanokristall tuzilishga ega ekanligi aniqlandi, bu esa depozitsiya jarayonining optimalligini ko‘rsatadi. AFM natijalari sirtning juda tekis ekanligini ko‘rsatdi. Balandlik o‘zgarishi 1 nm dan kichik bo‘lib, maksimal Z qiymati taxminan 0,8 nm ni tashkil etdi. Bu impulsli RF rejimda atomlarning nisbatan past energiyada va barqaror tarzda kondensatsiyalanishi natijasida zich va bir xil plyonka hosil bo‘lganini ko‘rsatadi. Profil chizig‘i sirt bo‘ylab kichik amplitudali tebranishlarni ko‘rsatadi, bu esa nanokristall tuzilmaning mavjudligini tasdiqlaydi.

Impulsli RF rejimida hosil qilingan NiV yupqa plyonkalarining termal barqarorligini baholash maqsadida namunalar 600 °C haroratda 1 soat davomida vakuum muhitida issiqlik ishloviga duchor qilindi. Tavlangan namunaning sirt topografiyasi AFM yordamida o‘rganildi va natijalar 4-rasm(a–d) da keltirilgan.



4-rasm. 600 C haroratda 1 soat davomida qizdirilgan NiV yupqa plyonkasining ASM tasviri. (a) – 2D sirt topografiyasi, (b) – 3D rekonstruksiya, (c) – balandlik taqsimoti (histogramma), (d) – sirt bo‘ylab profil chizig‘i

AFM tasvirlaridan ko‘rinadiki, issiqlik ishlovidan so‘ng sirt morfologiyasi sezilarli darajada o‘zgargan. Kristallar ancha yiriklashgan va sirt relyefi aniqroq shakllangan. 3D tasvirda balandlik amplitudasi as-depozitsiyalangan namunaga nisbatan sezilarli ortgani kuzatiladi. Bu hodisa yuqori haroratda atomlarning sirt bo‘ylab diffuziyasi kuchayishi bilan izohlanadi. Balandlik taqsimoti grafigi kengroq intervalni qamrab olgan bo‘lib, sirt qo‘polligining oshganini ko‘rsatadi. Profil chizig‘i bo‘yicha keskin piklarning paydo bo‘lishi kristallarning koalesans jarayoni sodir bo‘lganini bildiradi. Kichik kristallarning energetik jihatdan barqarorroq yirik kristallarga qo‘shilishi qayta krisstallanish mexanizmi bilan tushuntiriladi. Natijada kristall chegaralari soni kamayadi va kristallit o‘lchami ortadi. Issiqlik ishlovi jarayonida ichki kuchlanishning relaksatsiyasi ham yuz beradi. Yuqori harorat atomlarning qayta tartiblanishini ta‘minlab, strukturaning energetik jihatdan barqaror holatga o‘tishiga olib keladi. As-depozitsiyalangan va tavlangan namunalarining AFM natijalarini taqqoslash shuni ko‘rsatadiki, termal ishlov sirt morfologiyasiga bevosita ta‘sir ko‘rsatadi va strukturaviy evolyutsiyani tezlashtiradi. Bunday o‘zgarishlar keyingi elektr xossalarga, xususan tashuvchilar harakatchanligi va qarshilikka sezilarli ta‘sir ko‘rsatishi mumkin. Shunday qilib, 600 °C da 1 soat davomida tavlash NiV yupqa plyonkalarda kristall o‘shishi, sirt qo‘polligining ortishi va strukturaviy qayta tashkil topish jarayonlarini faollashtirishi aniqlandi. Bu natijalar plyonkaning termal barqarorligini va yuqori harorat sharoitida mikrostrukturaviy evolyutsiyasini tasdiqlaydi.

Xulosa

NiV qotishmasining yupqa plyonkalari soda-ohak shisha tagliklariga DC va impulsli RF magnetron purkash texnikasidan foydalangan holda muvaffaqiyatli o‘stirildi. Morfologik va kompozitsion tahlillar nanokristalli tuzilishga ega bir xil NiV

qotishma plyonkalarining hosil bo'lishini tasdiqladi. Qiyosiy tahlil shuni ko'rsatdiki, o'stirish rejimi plyonkalarining morfologik xususiyatlariga sezilarli darajada ta'sir qiladi. AFM tadqiqotlari shuni ko'rsatdiki, cho'ktirilgan plyonkalar past g'adur-budurlikka ega silliq va ixcham sirtlarga ega. 600 °C da tavlengandan so'ng, atom diffuziyasi va qayta krishtallanish jarayonlarining kuchayishi tufayli kristallarning birlashishi va sirt g'adur-budurligi ortadi. SEM, AFM va kompozitsion o'lchovlarning birgalikdagi tahlili shuni ko'rsatadiki, cho'ktirish sharoitlari va termik ishlov berish NiV yupqa plyonkalarining mikrotuzilmasi va sirt morfologiyasiga kuchli ta'sir qiladi. Ushbu topilmalar mikroelektronika, diffuziya to'siqlari va himoya qoplamalarida qo'llanilishi uchun NiV yupqa plyonkalarini optimallashtirish bo'yicha qimmatli tushunchalar beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. E. Wagner, C.S. Sandu, S. Harada, G. Benvenuti, V. Savu, P. Muralt. Fabrication of complex oxide microstructures by combinatorial chemical beam vapour deposition through stencil masks. *Thin Solid Films* 586 (2015) 64–69. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tsf.2015.04.021>
2. M.A. Davlatov, K.T. Dovranov*, X.T. Davranov, S.N. Xusanov, A.R. Kodirov, S. Xolikulova. Structural characteristics and optical properties of SiC thin films produced by the RF-PVD method. *East european journal of physics*. 2. 330-334 (2025)
3. Rodofili, A., Wolke, W., Kroely, L., Bivour, M., Cimiotti, G., Bartsch, J., Glatthaar, M. and Nekarda, J. (2017), Laser Transfer and Firing of NiV Seed Layer for the Metallization of Silicon Heterojunction Solar Cells by Cu-Plating. *Sol. RRL*, 1: 1700085. <https://doi.org/10.1002/solr.201700085>
4. R. Ricciari, E.P. Ferlito, G. Pizzo, M. Padalino, G. Anastasi, M. Sacchi, G. Pappalardo, C. Consalvo, D. Mello. Auger electron spectroscopy characterization of Ti/NiV/Ag multilayer back-metal for monitoring of Ni migration on Ag surface. *Microelectronics Reliability* (2025) MR-11714; No of Pages 5, <http://dx.doi.org/10.1016/j.microrel.2015.07.020>
5. G.Seryogin. George Seryogin George Seryogin Stephen Golovato Stephen Golovato S. Smith Gretchen Adema Gretchen Adema. NiV Stress Control Utilizing PVD withan ArN2 Gas Mixture. *IMAP Source Proceedings* 2012(1):000073-000078. DOI: 10.4071/isom-2012-TA31
6. E. Avendaño,a,b,d,z A. Azens,c G. A. Niklasson,a and C. G. Granqvist. Proton Diffusion and Electrochromism in Hydrated NiOy and Ni1-xVxOy Thin Films. *Journal of The Electrochemical Society*, 152 (12) F203-F212 .2005.
7. Zile Wang, Zhe Zhang, Jialian He, Angelo Giglia, Qiya Zhang, Runze Qi, Qiushi
8. D. Resnik, J. Kovač, D. Vrtacnik, S. Amon. Structural investigation of direct current magnetron sputtered Ti/NiV/Ag layers on n+ Si substrate. *Thin Solid Films* 516 (2008) 7497–7504. doi:10.1016/j.tsf.2008.03.050
9. D. Resnik, D. Vrtacnik, U. Aljancic, M. Mozek, S. Penic, S. Amon. Influence of mechanical stress on adhesion properties of DC magnetron sputtered Ti/NiV/Ag layers on n+Si substrate. *Microelectronic Engineering* 85 (2008) 1603–1607. doi:10.1016/j.mee.2008.03.007
10. K.T. Dovranov, S.T. Abrayeva, R.M. Yorqulov, N.M. Mustafoeva, T.O. Buzrukov, Sh.A. Jurayeva, A.A. Aminov. Formation and Morphology of Cu nanofilms Using DC and RF Modes of a Magnetron Sputtering Device. *Ukrainian Journal of Physics*.(2026) 71, 1, pp: 65-65

11. Piyanooch Nedkun, Phannita Sangsai, Ekasiddh Wongrat, Panupat Chaiworn, Auttasit Tubtimtae, Pichanan Teesetsopon. Post-annealing effects on the structural and optical properties of nickel vanadate thin films. Materials Letters, Volume 411, 2026, 140324, ISSN 0167-577X, <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2026.140324>.