UO‘K 538.975:621.793.7

$Co/SiO_2/n-Si\langle P,Zn\rangle$ MOY STRUKTURALARINI TAYYORLASHDA KIMYOVIY TOZALASH VA MAGNETRON CHANGLATISH TEXNOLOGIYASI

Usanov Rustam Muxiddinovich,
Sharof Rashidov nomidagi
Samarqand davlat universiteti
Qattiq jismlar fizikasi kafedrasi assistenti,
Samarqand, O‘zbekiston
usanov.rustam1989@gmail.com

Annotatsiya. *Ushbu maqolada kompensirlangan kremniy taglikda $Co/SiO_2/n-Si\langle P,Zn\rangle$ metall-oksid-yarimo‘tkazgich (MOY) strukturasini shakllantirish uchun ishlab chiqilgan ko‘p bosqichli texnologik jarayon batafsil bayon etilgan. Kremniy sirtini tayyorlash uch bosqichda amalga oshirildi: erituvchilar (aseton, metanol) yordamida dastlabki tozalash, RCA-1 standart tozalash (5:1:1 hajmiy nisbatda $H_2O:NH_4OH:H_2O_2, 70\pm5°C$) hamda gidroflusor kislota (2% HF) eritmasida tabiiy va kimyoviy oksid qatlamini olib tashlash; sirt sifati namlanish (gidrofoblik) testi orqali nazorat qilindi. SiO_2 dielektrik qatlami HNO_3 da termik oksidlash usulida hosil qilindi, Co metall qatlami esa magnetron changlatish usulida (Ar oqim zichligi 80 sccm, ishchi bosim 4 Pa, quvvat 100 Vt, target kuchlanishi 276 V, tok kuchi 363 mA, cho‘kish tezligi 0,17 Å/s) DXZD-400 qurilmasida cho‘ktirildi. Tayyorlangan strukturaning ko‘ndalang kesimi Thermo Fisher Scientific Apreo ChemiSEM (EDS detektori bilan jihozlangan) skanerlovchi elektron mikroskopi yordamida tasvirga olindi, qatlamlar chegarasining uzluksizligi tasdiqlandi. MOY strukturaning to‘g‘rilovchi xususiyatga ega ekanligi, ya’ni tuzilmaning fizik jihatdan shakllanganligi, taglik solishtirma qarshiligiga bog‘liq holda hisoblangan potensial to‘siq balandligi ($\varphi_B = 0{,}4722 - 0{,}4798\ eV$) qiymatlari orqali tasdiqlandi.*

Kalit so‘zlar: *MOY struktura, kimyoviy tozalash, RCA-1, magnetron changlatish, SEM, potensial to‘siq balandligi, kompensirlangan kremniy, volt-amper xarakteristika.*

ТЕХНОЛОГИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ И МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ МОП-СТРУКТУР $Co/SiO_2/n-Si\langle P,Zn\rangle$

Аннотация. *В данной статье подробно описан разработанный многостадийный технологический процесс формирования металл–окисел–полупроводниковых (МОП) структур $Co/SiO_2/n-Si\langle P,Zn\rangle$ на компенсированной кремниевой подложке. Подготовка поверхности кремния осуществлялась в три этапа: предварительная очистка с использованием органических растворителей (ацетон, метанол), стандартная очистка RCA-1 ($H_2O:NH_4OH:H_2O_2$ в объёмном соотношении 5:1:1 при температуре 70 ± 5^0C), а также удаление естественного и химически сформированного оксидного слоя в растворе плавиковой кислоты (2% HF). Качество поверхности контролировалось с помощью теста на смачиваемость (гидрофобность). Диэлектрический слой SiO_2 был сформирован методом термического окисления в HNO_3, а металлический слой Co нанесён методом магнетронного распыления на установке DXZD-400 при следующих параметрах: расход Ar — 80 sccm, рабочее давление — 4 Па, мощность — 100 Вт, напряжение на мишени — 276 В, ток — 363 мА, скорость осаждения — 0,17 Å/с. Поперечное сечение изготовленной структуры было исследовано с использованием сканирующего электронного микроскопа Thermo Fisher Scientific Apreo ChemiSEM, оснащённого EDS-детектором, что подтвердило непрерывность границ между слоями. Выпрямляющие свойства МОП-структуры, свидетельствующие о физически сформированной структуре, были подтверждены значениями высоты потенциального барьера, рассчитанными в зависимости от удельного сопротивления подложки ($\varphi_B = 0{,}4722 - 0{,}4798$ эВ).*

Ключевые слова: *МОП-структура, химическая очистка, RCA-1, магнетронное распыление, СЭМ, высота потенциального барьера, компенсированный кремний, вольт-амперная характеристика.*

CHEMICAL CLEANING AND MAGNETRON SPUTTERING TECHNOLOGY FOR THE FABRICATION OF $Co/SiO_2/n-Si\langle P,Zn\rangle$ MOS STRUCTURES

Abstract. *This paper presents a detailed description of a developed multistage technological process for the fabrication of $Co/SiO_2/n-Si\langle P,Zn\rangle$ metal–oxide–semiconductor (MOS) structures on compensated silicon substrates. The silicon surface preparation was carried out in three stages: preliminary cleaning using organic solvents (acetone and methanol), RCA-1 standard cleaning ($H_2O:NH_4OH:H_2O_2$ in a volume ratio of 5:1:1 at 70±5°C), and removal of the native and chemically formed oxide layers by treatment in a hydrofluoric acid (2% HF) solution. The surface quality was monitored using a wettability (hydrophobicity) test. The SiO_2 dielectric layer was formed by thermal oxidation in HNO_3, while the Co metal layer was deposited by magnetron sputtering using a DXZD-400 system under the following parameters: Ar flow rate of 80 sccm, working pressure of 4 Pa, power of 100 W, target voltage of 276 V, current of 363 mA, and deposition rate of 0.17 Å/s. The cross-sectional image of the fabricated structure was obtained using a Thermo Fisher Scientific Apreo ChemiSEM scanning electron microscope equipped with an EDS detector, confirming the continuity of the interfaces between the layers. The rectifying properties of the MOS structure, indicating the successful physical formation of the structure, were confirmed by the calculated potential barrier height values depending on the substrate resistivity ($\varphi_B = 0{,}4722 - 0{,}4798\ eV$).*

Keywords: *MOS structure, chemical cleaning, RCA-1, magnetron sputtering, SEM, potential barrier height, compensated silicon, current–voltage characteristic.*

Kirish. Mikro- va nanoelektronikaning tinimsiz rivojlanishi sensorlar, diskret qurilmalar hamda magnit xotira tizimlarining elementi sifatida ishlay oladigan gibrid metall-dielektrik-yarimo‘tkazgich (MDY) va metall-oksid-yarimo‘tkazgich (MOY) strukturalariga bo‘lgan ehtiyojni sezilarli darajada oshirdi [1, 2]. Bunday strukturalarning funksional ishonchliligi ko‘p jihatdan dielektrik-yarimo‘tkazgich chegarasidagi interfeys holatlar zichligiga va cho‘ktirilgan metall qatlamning strukturaviy sifatiga bog‘liq bo‘lib, bular esa o‘z navbatida taglikni tayyorlash va qatlam cho‘ktirish uchun qo‘llaniladigan texnologik yo‘lga bog‘liqdir [3, 4]. Shu sababli gibrid strukturalarning elektrofizik xossalarini o‘rganish bilan bir qatorda, ularni tayyorlash texnologiyasini batafsil va takrorlanuvchan tarzda tavsiflash hozirgi kunda ham dolzarb ilmiy-amaliy vazifa bo‘lib qolmoqda.

Ma’lumki, oksidlash va metallashtirishdan oldin kremniy sirtining tozaligi tayyor strukturaning elektr xossalariga hal qiluvchi ta’sir ko‘rsatadi. Kern va uning hamkasblari tomonidan taklif etilgan hamda hozirgacha kremniy plastinalarini tayyorlashning sanoat standarti hisoblanuvchi RCA tozalash ketma-ketligi kremniy sirtidagi organik, ion va zarrachali ifloslanishlarni olib tashlashning eng keng tarqalgan usuli bo‘lib qolmoqda [5]. Suyultirilgan gidroflusor kislotada ishlov berish orqali tabiiy va kimyoviy hosil bo‘lgan oksid qatlamini to‘liq olib tashlash vodorod bilan passivlangan, gidrofob kremniy sirtini hosil qiladi, bu esa bir jinsli, defekt zichligi past dielektrik qatlamni o‘stirish uchun zarur shart hisoblanadi [6, 7]. HF bilan ishlov berilgan sirtning gidrofobligini namlanish (suv bilan ho‘llanish burchagi) testi orqali sifat jihatdan tekshirish oddiy va ishonchli jarayon nazorati vositasi bo‘lib xizmat qiladi [8].

Bizning oldingi tadqiqotlarimizda kuchli Zn bilan kompensirlangan kremniy taglikda tayyorlangan $Co/SiO_2/n\text{-}Si\langle P\rangle$ va $Co/SiO_2/n\text{-}Si\langle P,Zn\rangle$ MDY strukturalarining volt-amper xarakteristikalari (VAX) va ularda lateral fotoeffekt (LFE) hodisasi o‘rganilgan edi [9, 10]. Ushbu nashrlarning hajmiy cheklovlari sababli, kremniy sirtini ko‘p bosqichli kimyoviy tozalash hamda kobalt qatlamini cho‘ktirish uchun qo‘llanilgan magnetron changlatish jarayonining texnologik tafsilotlari faqat qisqacha keltirilgan edi. Shu sababli ushbu ish aynan mana shu tayyorlash texnologiyasi – kremniy sirtini ko‘p bosqichli kimyoviy tozalash va kobalt qatlamini magnetron changlatish usulida cho‘ktirishni batafsil bayon etishga, shuningdek, olingan $Co/SiO_2/Si$ strukturasining ko‘ndalang kesimini skanerlovchi elektron mikroskopiyasi (SEM) yordamida tahlil qilishga va MOY strukturaning muvaffaqiyatli shakllanganligini fizik jihatdan tasdiqlash uchun volt-amper xarakteristikasidan foydalanishga bag‘ishlangan.

Tajriba metodikasi.

Boshlang‘ich namunalar

Boshlang‘ich taglik sifatida o‘sish jarayonida fosfor atomlari bilan legirlangan, sanoat KEF-1 markali, geometrik o‘lchamlari $8 \times 4 \times 1\ mm^3$ bo‘lgan, xona haroratida solishtirma qarshiligi $\rho \approx 1{,}05\ \Omega\cdot cm$ ga teng va kristallografik yo‘nalishi [111] bo‘lgan monokristall $n\text{-}Si\langle P\rangle$ plastinalaridan foydalanildi. Boshlang‘ich namunalarning bir qismi Zn atomlari kiritilmagan holda, faqat Zn diffuziyasi sharoyitida termik ishlov berildi (natijada solishtirma qarshilik $\rho \approx 1{,}07\ \Omega\cdot cm$ ga teng bo‘ldi) — bu termik ishlov ta’sirini Zn legirlash ta’siridan ajratib olish maqsadida amalga oshirildi. Xona haroratida solishtirma qarshiligi $\rho \approx 1800\ \Omega\cdot cm$ bo‘lgan kuchli kompensirlangan $n\text{-}Si\langle P,Zn\rangle$ namunalari esa diffuzant gazining elastik bosimini hisobga oluvchi usul yordamida, Zn atomlarini yuqori haroratli diffuziya qilish orqali, bizning oldingi ishlarimizda

[11, 12] batafsil tavsiflangan metodika bo‘yicha olindi. Qurilma tayyorlashdan oldin Xoll effekti o‘lchovlari orqali aniqlangan tagliklarning asosiy elektrofizik parametrlari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval. Kremniy tagliklarning elektrofizik parametrlari [9]

Namuna	ρ, Ω·cm	μ, sm²/(V·s)	n, sm⁻³	Fermi sathi, eV
n–Si⟨P⟩, boshlang‘ich namuna	1,05	1188,43	$5{,}01\times10^{15}$	0,254541
n–Si⟨P⟩ (termik ishlov berilgan boshlang‘ich namuna)	1,07	1167,32	$4{,}99\times10^{15}$	0,254659
n–Si⟨P,Zn⟩	1800	808	$4{,}28\times10^{12}$	0,39504

Kremniy sirtini ko‘p bosqichli kimyoviy tozalash

Oksidlash va metallashtirishdan oldin barcha kremniy namunalari organik va noorganik ifloslanishlarni yo‘qotish hamda takrorlanuvchan, aniq boshlang‘ich sirtni hosil qilish maqsadida uch bosqichli kimyoviy tozalash jarayonidan o‘tkazildi.

1-bosqich – erituvchilar bilan tozalash. Namuna sirtidagi yog‘simon va organik qoldiqlarni olib tashlash uchun namunalar 55°C haroratgacha qizdirilgan asetonga 10 daqiqa davomida botirildi. Keyin aseton qoldiqlarini yo‘qotish maqsadida namunalar 2–5 daqiqa davomida metanol eritmasiga joylashtirildi. So‘ngra namunalar deionizatsiyalangan (DI) suv bilan chayilib, azot oqimida quritildi [5].

2-bosqich – RCA-1 (Standart tozalash 1) ishlovi. Tozalovchi eritma $H_2O:NH_4OH:H_2O_2 = 5:1:1$ hajmiy nisbatda, 325 ml deionizatsiyalangan suv, 65 ml 27% li ammoniy gidroksidi va 65 ml 30% li vodorod peroksididan tayyorlandi. Eritma 70±5°C haroratda ushlab turildi, kremniy namunalari unda 15 daqiqa davomida ishlov berildi. Ushbu bosqichda organik ifloslanishlar oksidlanib parchalanadi [5]. Shundan so‘ng namunalar deionizatsiyalangan suvda bir necha marta chayildi.

3-bosqich – HF bilan ishlov berish. RCA-1 bosqichida hosil bo‘lgan kimyoviy oksid bilan birgalikda tabiiy oksid qatlamini ham olib tashlash uchun namunalar 2% li HF eritmasida (480 ml H_2O + 20 ml 49% li HF) 2 daqiqa davomida ushlab turildi. Natijada ham tabiiy, ham RCA jarayonida hosil bo‘lgan SiO_2 qatlami eritib yuborildi va vodorod bilan passivlangan kremniy sirti hosil bo‘ldi [6]. Namunalar so‘ngra deionizatsiyalangan suvda yaxshilab chayilib, azot oqimida quritildi.

Tozalash sifati namlanish testi yordamida nazorat qilindi: namuna sirtiga deionizatsiyalangan suv tomchisi tomizilib, uning xatti-harakati kuzatildi. Suv tomchisining sirtda yoyilmasdan saqlanib qolishi (dumaloqlanishi) sirtning gidrofob holatga o‘tganligini, ya’ni oksid qatlamining muvaffaqiyatli olib tashlanganligi va vodorod bilan passivlangan sirt hosil bo‘lganligini tasdiqladi [7, 8]. Namlanish testidan muvaffaqiyatli o‘tgan kremniy namunalari keying – dielektrik qatlamni hosil qilish bosqichi uchun tayyor deb hisoblandi.

SiO_2 dielektrik qatlamini hosil qilish

Kimyoviy tozalangan sirtda kerakli qalinlikdagi kremniy dioksidi qatlami nam termik oksidlash usulida o‘stirildi: namunalar 121°C haroratdagi azot kislotasi (HNO_3) ga 15 daqiqa davomida botirildi, natijada qalinligi 2–5 nm bo‘lgan SiO_2 qatlami hosil bo‘ldi, bu [13, 9] ishlarda tavsiflangan protsedura bilan mos keladi. Hosil bo‘lgan oksid qatlamining qalinligi spektroskopik ellipsometriya usulida tajribaviy tekshirildi.

Co metall qatlamini magnetron changlatish usulida cho‘ktirish

Kobalt metall qatlami SiO_2/Si sirtiga DXZD-400 yuqori vakuumli qoplash qurilmasida doimiy tok (DC) magnetron changlatish usulida cho‘ktirildi. Cho‘ktirishdan oldin ishchi kamera 5×10^{-5} Pa bosimgacha so‘rib olindi. So‘ngra ishchi gaz sifatida yuqori tozalikdagi argon 80 sccm oqim tezligida kiritilib, kamerada 4 Pa ishchi bosim hosil qilindi. Kobalt target changlatilishi 100 Vt DC quvvatda amalga oshirildi, bu esa target kuchlanishi 276 V va razryad tok kuchi 363 mA ga mos keladi. Ushbu sharoitlarda kobaltning cho‘kish tezligi 0,17 Å/s ni tashkil etdi. Cho‘ktirish jarayonida qatlam bir jinsliligini ta’minlash uchun taglik ushlagichi 5–20 rpm oralig‘ida aylantirildi, target-taglik masofasi esa qurilmaning 240–340 mm sozlanuvchi oralig‘ida o‘rnatildi. O‘sib borayotgan qatlam qalinligi real vaqt rejimida INFICON SQC310 kvarts-kristall qalinlik monitori (aniqligi 0,01 Å/s) yordamida nazorat qilindi; cho‘ktirish jarayoni kobaltning nominal qalinligi 10–15 nm ga yetgach to‘xtatildi, bu qiymat keyinchalik spektroskopik ellipsometriya orqali ham tasdiqlandi [9].

Kobalt qatlamini cho‘ktirish uchun qo‘llanilgan magnetron changlatish jarayonining asosiy texnologik parametrlari 2-jadvalda umumlashtirilgan.

2-jadval. Kobalt qatlamini cho‘ktirish uchun qo‘llanilgan magnetron changlatish jarayonining texnologik parametrlari

Parametr	Qiymat
Kamerada bazaviy bosim	$< 6\times10^{-5}$ Pa
Ishchi gaz	Ar
Ar oqim tezligi	80 sccm
Ishchi (Ar) bosim	4 Pa
Changlatish quvvati (DC)	100 Vt
Target kuchlanishi	276 V
Razryad tok kuchi	363 mA
Cho‘kish tezligi	0,17 Å/s
Taglik aylanish tezligi	5–20 rpm
Target-taglik masofasi	240–340 mm
Co qatlamining nominal qalinligi	10–15 nm

Kobalt qatlamini cho'ktirish uchun qo'llanilgan DXZD-400 yuqori vakuumli magnetron changlatish qurilmasining umumiy ko'rinishi 1-rasmda keltirilgan.



1-rasm. Co metall qatlamini cho'ktirish uchun qo'llanilgan DXZD-400 yuqori vakuumli magnetron changlatish qurilmasining umumiy ko'rinishi.

Kontaktlarni hosil qilish va VAX o‘lchash tartibi

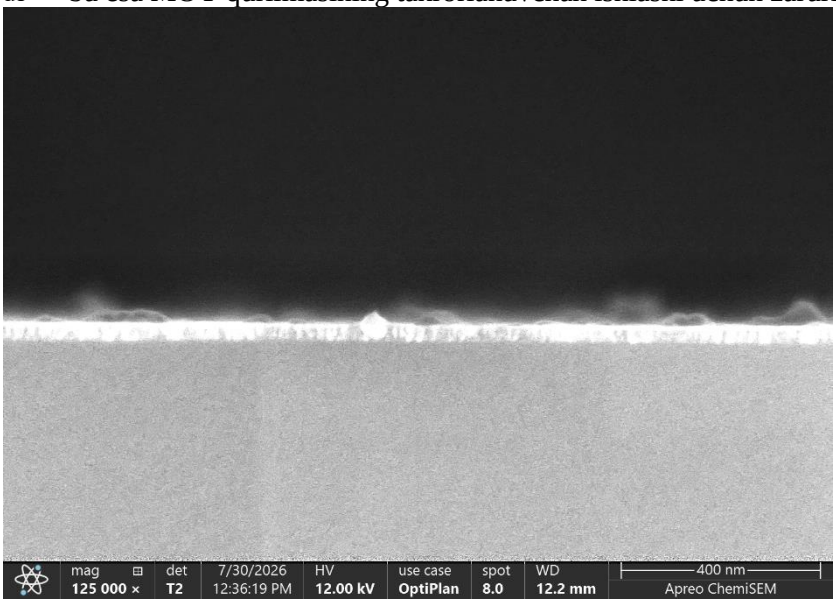
Elektr o‘lchovlarini amalga oshirish uchun yuqori metall (Co) sirtida va yarimo‘tkazgich taglikning orqa tomonida o‘tkazuvchan kumush pastasi yordamida omik kontaktlar hosil qilindi. Kumush pasta bilan hosil qilingan kontakt maydonchasiga qalinligi 50 μm bo‘lgan mis sim qo‘yildi, uning ustiga yana bir qatlam kumush pasta surtildi va butun yig‘ma xona haroratida 6 soat davomida quritildi. Kumush pasta qotgach, mexanik mustahkamlik va ishonchlilikni ta’minlash maqsadida kontaktlar Micro SET M RA lazer payvandlash qurilmasi yordamida payvandlandi. Tayyorlangan $Co/SiO_2/n-Si\langle P\rangle$ va $Co/SiO_2/n-Si\langle P,Zn\rangle$ strukturalarining volt-amper xarakteristikalari xona haroratida [9, 14] ishlarda tavsiflangan standart metodika bo‘yicha o‘lchandi, potensial to‘siq balandligi φ_B esa VAX ning to‘g‘ri tarmog‘idan Cheung va Cheung usuli [14] yordamida hisoblandi.

Natijalar va muhokama.

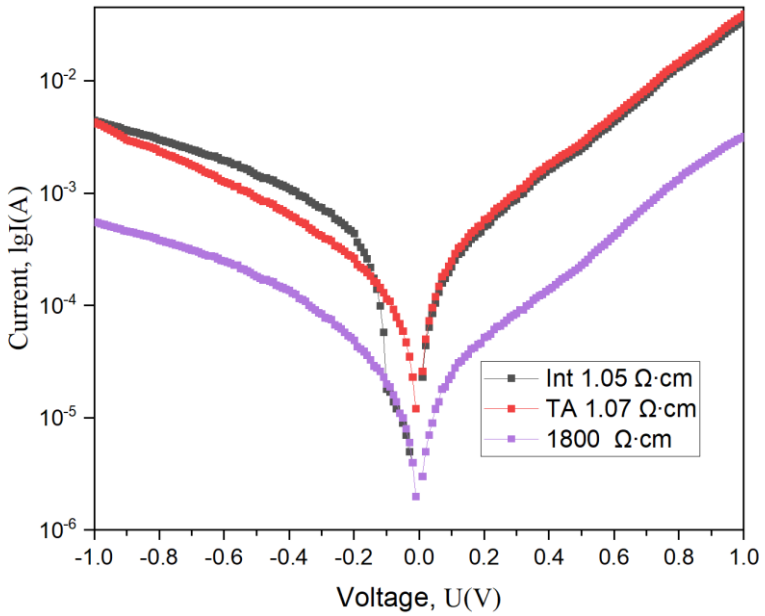
Co/SiO₂/Si strukturasining ko‘ndalang kesimini SEM tahlili

2-rasmda tayyorlangan $Co/SiO_2/n-Si$ strukturasining ko‘ndalang kesimining SEM tasviri keltirilgan, u Thermo Fisher Scientific Apreo ChemiSEM (integrallashgan energiya-dispersiv rentgen spektroskopiyasi – EDS detektori bilan jihozlangan) skanerlovchi elektron mikroskopi yordamida, 125 000× kattalashtirishda (tezlashtiruvchi kuchlanish 12,00 kV, T2 detektor, ishchi masofa 12,2 mm) olindi. Tasvirning pastki qismi kremniy taglikning asosiy qismiga to‘g‘ri keladi va yuqori aniqlikdagi tasvirlashda monokristall kremniyga xos bo‘lgan donador kontrastni namoyon qiladi. Taglik ustida aniq ko‘rinuvchi, uzluksiz yorqin qatlam kuzatiladi – bu yupqa SiO_2 dielektrik qatlami va kobalt metall qatlamining birgalikdagi tasviri hisoblanadi; ushbu qatlam bilan kremniy taglik orasidagi chegara butun tasvirlangan hudud bo‘ylab keskin va uzluksiz bo‘lib, qavatlanish (delaminatsiya) yoki makroskopik bo‘shliqlarning izlari kuzatilmadi. Yorqin qatlam qalinligida kichik mahalliy tebranishlar ko‘zga tashlanadi, bu esa bizning oldingi

atom-kuch mikroskopiyasi (AFM) tadqiqotimizda [9] yupqa kobalt plyonkalari uchun qayd etilgan orolsimon (Volmer–Weber) o‘sish mexanizmiga mos keladi. Yorqin qatlam ustidagi qorong‘i hudud esa metall qatlam ustidagi namuna sirti hududiga to‘g‘ri keladi. Umuman olganda, SEM tasviri 1.2-bo‘limda tavsiflangan ko‘p bosqichli kimyoviy ishlov, undan keyingi SiO_2 hosil qilish va magnetron changlatish usulida Co cho‘ktirish jarayonlari natijasida strukturaviy jihatdan uzluksiz $Co/SiO_2/Si$ qatlamlar tizimi hosil bo‘lganligini tasdiqlaydi — bu esa MOY qurilmasining takrorlanuvchan ishlashi uchun zaruriy shartdir.



2-rasm. $Co/SiO_2/n$-Si strukturasining Thermo Fisher Scientific Apreo ChemiSEM (EDS detektori bilan) yordamida olingan ko‘ndalang kesim SEM tasviri (125 000× kattalashtirish, 12,00 kV, T2 detektor, WD 12,2 mm, masshtab chizig‘i 400 nm)



3-rasm. $Co/SiO_2/n-Si\langle P\rangle$ (boshlang‘ich, Int, ρ = 1,05 Ω·cm), $Co/SiO_2/n-Si\langle P\rangle$ (termik ishlov berilgan, TA, ρ = 1,07 Ω·cm) va $Co/SiO_2/n-Si\langle P,Zn\rangle$ (ρ = 1800 Ω·cm) strukturalarining xona haroratidagi volt-amper xarakteristikasi (yarim-logarifmik |I|–U grafigi) [9]

MOY strukturaning shakllanganligini tasdiqlovchi volt-amper xarakteristika

Tavsiflangan texnologik ketma-ketlik natijasida funksional metall-oksid-yarimo‘tkazgich o‘tishi hosil bo‘lganligini fizik jihatdan tasdiqlash maqsadida, yuqorida tavsiflangan bir xil tozalash va cho‘ktirish texnologiyasi bo‘yicha tayyorlangan $Co/SiO_2/n-Si\langle P\rangle$ va $Co/SiO_2/n-Si\langle P,Zn\rangle$ strukturalarining xona haroratidagi volt-amper xarakteristikalari tahlil qilindi (3-rasm). Ushbu VAX o‘lchovlari bizning oldingi ishimizda [9] batafsil keltirilgan bo‘lib, bu yerda ular aynan MOY strukturaga xos potensial to‘siqning

muvaffaqiyatli fizik shakllanganligining isboti sifatida qo‘llaniladi. 3-rasmdan ko‘rinib turibdiki, tekshirilgan barcha strukturalarda aniq ifodalangan to‘g‘rilovchi (diodsimon) xatti-harakat kuzatildi, bunda |U| = 1 V da to‘g‘ri tok teskari tokdan bir necha marta katta bo‘ldi; taglikning solishtirma qarshiligi 1,05–1,07 Ω·cm dan 1800 Ω·cm gacha oshishi bilan teskari tarmoqdagi tok qiymati izchil ravishda kamayadi, bu esa kuchli Zn bilan kompensirlangan taglikning yuqori ketma-ket qarshiligi va past erkin zaryad tashuvchilar konsentratsiyasiga mos keladi.

VAX ning to‘g‘ri tarmog‘idan Cheung va Cheung usuli [14] yordamida hisoblangan potensial to‘siq balandligi φ_B qiymatlari turli solishtirma qarshilikka ega tagliklar uchun 3-jadvalda umumlashtirilgan.

3-jadval. Turli solishtirma qarshilikka ega tagliklarda tayyorlangan strukturalarning potensial to‘siq balandligi qiymatlari

№	Struktura	Taglikning solishtirma qarshiligi, Ω·cm	Potensial to‘siq balandligi φ_B, eV
1	$Co/SiO_2/n-Si\langle P\rangle$ (boshlang‘ich namuna)	1,05	0,4734
2	$Co/SiO_2/n-Si\langle P\rangle$ (1150°C da termik ishlov berilgan)	1,07	0,4722
3	$Co/SiO_2/n-Si\langle P,Zn\rangle$	1800	0,4798

3-jadvaldan ko‘rinib turibdiki, taglik solishtirma qarshiligidan qat’i nazar, tekshirilgan barcha strukturalarda aniq ifodalangan potensial to‘siq ($\varphi_B \approx$ 0,47–0,48 eV) hosil bo‘lgan, bu esa qo‘llanilgan texnologik ketma-ketlik – ko‘p bosqichli kimyoviy tozalash, nam termik oksidlash va magnetron changlatish usulida Co cho‘ktirish – kuchli Zn bilan kompensirlangan va boshlang’ich kremniy tagliklarida strukturaviy va elektrik jihatdan izchil MOY o‘tishlarini berishini so‘zsiz tasdiqlaydi. Namunalar orasida φ_B qiymatining nisbatan kichik o‘zgarishi (≈1,6% doirasida) 1-bo‘limda tavsiflangan ko‘p bosqichli tozalash va cho‘ktirish texnologiyasining takrorlanuvchanligini yana bir bor tasdiqlaydi, chunki potensial to‘siq balandligi nazoratsiz interfeys ifloslanishiga va cho‘ktirilgan metall qatlamning notekisligiga juda sezgir bo‘ladi [9, 14].

Xulosa. $Co/SiO_2/n-Si\langle P,Zn\rangle$ MOY strukturalarini tayyorlash uchun batafsil, takrorlanuvchan texnologik yo‘l taqdim etildi, u kremniy sirtining uch bosqichli kimyoviy tozalanishini (erituvchilar bilan tozalash, RCA-1 ishlovi va HF bilan etchlash, namlanish testi orqali nazorat qilingan), SiO_2 hosil qilish uchun nam termik oksidlashni va DXZD-400 qurilmasida kobaltni DC magnetron changlatish usulida cho‘ktirishni (Ar oqim tezligi 80 sccm, ishchi bosim 4 Pa, changlatish quvvati 100 Vt) o‘z ichiga oladi. Ko‘ndalang kesimning SEM tahlili makroskopik nuqsonlarsiz, uzluksiz va aniq chegaraga ega $Co/SiO_2/Si$ qatlamlar tizimi shakllanganligini tasdiqladi. Funksional MOY o‘tishining fizik jihatdan shakllanganligi tayyorlangan strukturalarning volt-amper xarakteristikalari orqali tasdiqlandi – ular keng diapazondagi (1,05–1800 Ω·cm) solishtirma qarshilikka ega tagliklarda barqaror $\varphi_B \approx$ 0,47–0,48 eV qiymatiga ega aniq to‘g‘rilovchi xususiyatni namoyon qildi. Shu tariqa, taqdim etilgan texnologiya kelgusida sensor va pozitsion-sezgir qurilmalar uchun mo‘ljallangan $Co/SiO_2/Si\langle P,Zn\rangle$ gibrid strukturalarni tayyorlashning ishonchli va takrorlanuvchan asosi sifatida qaralishi mumkin.

ADABIYOTLAR:

1. Liang, Z.; Wu, W.; Fang, Z.; Deng, Z.; Fu, X.; Ning, H.; Luo, D.; Zhu, Z.; Yao, R.; Peng, J. A Review of Doped Metal Oxide Semiconductors in the Stability of Thin Film Transistors. J. Alloys Compd. 2025, 1010, 177434, doi:10.1016/j.jallcom.2024.177434.

2. Theka, T.J.; Swart, H.C.; Motaung, D.E. Recent Trends, Advances, and Challenges in MOF-Derived Metal Oxide Semiconductor-Based Sensors for BTEX Detection: A Review. Inorg. Chem. Commun. 2024, 168, 112884, doi:10.1016/j.inoche.2024.112884.

3. Gao, S.-L.; Qiu, L.-P.; Zhang, J.; Han, W.-P.; Ramakrishna, S.; Long, Y.-Z. Persistent Photoconductivity of Metal Oxide Semiconductors. ACS Appl. Electron. Mater. 2024, 6, 1542–1561, doi:10.1021/acsaelm.3c01549.

4. Bakhadyrkhanov, M.K.; Isamov, S.B.; Kenzhaev, Z.T.; Melebaev, D.; Zikrillayev, Kh.F.; Ikhtiyarova, G.A. Silicon Photovoltaic Cells with Deep p–n-Junction. Appl. Sol. Energy 2020, 56, 13–17, doi:10.3103/S0003701X2001003X.

5. Kern, W. The Evolution of Silicon Wafer Cleaning Technology. J. Electrochem. Soc. 1990, 137, 1887–1892, doi:10.1149/1.2086825.

6. Ishizaka, A.; Shiraki, Y. Low Temperature Surface Cleaning of Silicon and Its Application to Silicon MBE. J. Electrochem. Soc. 1986, 133, 666–671, doi:10.1149/1.2108651.

7. Chen, L.; Ngo, D.; Luo, J.; Gong, Y.; Xiao, C.; He, X.; Yu, B.; Qian, L.; Kim, S.H. Dependence of Water Adsorption on the Surface Structure of Silicon Wafers Aged under Different Environmental Conditions. Phys. Chem. Chem. Phys. 2019, 21, 26041–26048, doi:10.1039/C9CP04776J.

8. Angermann, H. Conditioning of Si-Interfaces by Wet-Chemical Oxidation: Electronic Interface Properties Study by Surface Photovoltage Measurements. Appl. Surf. Sci. 2014, 312, 3–16, doi:10.1016/j.apsusc.2014.05.087.

9. Arzikulov, E.U.; Usanov, R.M.; Lu, Shaowei; Liu, Teng; Nong, Zhisheng; Zoirov, S.X. The Co/SiO_2/n-Si⟨P,Zn⟩ Hybrid Structure as a Smart Material in Modern Nanoelectronics. Chop etish jarayonida.

10. Arzikulov, E.U.; Usanov, R.M.; Quvondiqov, Sh.J.; Lui, Teng; Bobonov, D.T.; Sattarov, S.A. Lateral Photoeffect in Metal–Oxide–Semiconductor Structures Based on Monocrystalline Silicon. Chop etish jarayonida.

11. Bakhadyrkhanov, M.K.; Zikrillaev, N.F.; Arzikulov, E.U. Влияние упругости паров диффузанта на концентрацию электроактивных атомов и степень компенсации образцов Si⟨Zn⟩. Письма в ЖТФ 1991, 17 (12), 1–4, https://journals.ioffe.ru/articles/25973.

12. Usanov, R.; Ashirov, U.; Sharafova, T.; Nurimov, A. Co/SiO_2/Si⟨P,Zn⟩ gibrid strukturasi uchun kuchli kompensirlangan Si⟨P,Zn⟩ tagliklarning elektrik xossalari va energetik diagrammasi. O‘zMU xabarlari — Вестник НУУз — Acta NUUz, Fizika, 2025, 3/1/1, 455–458.

13. Bondarev, I.A.; Rautskii, M.V.; Yakovlev, I.A.; Volochaev, M.N.; Lukyanenko, A.V.; Tarasov, A.S.; Volkov, N.V. Study of the Photovoltage in Mn/SiO_2/n-Si MOS Structure at Cryogenic Temperatures. Semiconductors 2019, 53, 1954–1958, doi:10.1134/S1063782619140045.

14. Cheung, S.K.; Cheung, N.W. Extraction of Schottky Diode Parameters from Forward Current–Voltage Characteristics. Appl. Phys. Lett. 1986, 49, 85–87, doi:10.1063/1.97359.