

NAMANGAN DAVLAT
UNIVERSITETI
ILMIY AXBOROTNOMASI, [2026-9]
ISSN:2181-1458
ISSN:2181-0427



01.00.00-FIZIKA-MATEMATIKA
journal.namdu.uz
PHYSICS AND MATHEMATICS

HF BILAN KIMYOVIY TOZALASHDAN KEYIN n^+ -Si:Sb(100) SIRTINING VOLT-AMPER XARAKTERISTIKASI VA QUTBIY ASIMMETRIYANING O' ZGARISHI

¹Mamatkarimov Odiljon Oxundedayevich. Fizika-matematika fanlari doktori, professor.

²Qo' chqorov Bekzod Hoshimjanovich Fizika-matematika fanlar doktori, dotsent

¹Abdulxayev Abrorbek Abdulloxon o' g' li. Fizika-matematika fanlari bo' yicha falsafa doktori (PhD).

¹Nosirdinov Islomiddin Outpiddin o' g' li. Erkin tadqiqotchi

ORCID: 0009-0004-3965-4332

¹Namangan davlat texnika universiteti.

²Impuls tibbiyot instituti

abdulxayev2308@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu ishda kuchli surma bilan legirlangan n^+ -Si:Sb(100) monokristall kremniy sirtining tabiiy oksidli va HF bilan kimyoviy tozalangandan keyingi volt-ampere xarakteristikasi qiyoslandi. Tasdiqlangan texnologik ketma-ketlik DI suv bilan yuvish, HF eritmasida 2 minut ishlav berish va qayta DI yuvishdan iborat. V–A o' lchovlari Keithley 2400-C qurilmasida –4...+4 V diapazonda, 500 nuqtali chiziqli ulanishida bajarilgan. Tabiiy oksidli B2 namunasida $I(-4\text{ V})=-16.450\text{ mA}$, $I(+4\text{ V})=+14.451\text{ mA}$ va qutbiy asimetriya koeffitsiyenti $K_{as}=0.879$ bo' lgan. HF dan keyingi B4 namunasida mos toklar –5.597 va +19.179 mA, K_{as} esa 3.426 ni tashkil etgan. HF ishlavi manfiy qutblanishdagi tok modulini 66.0% kamaytirgan, musbat qutblanishdagi tokni 32.7% oshirgan va past maydonli differensial qarshilikni 0.96 dan 4.69 k Ω gacha ko' targan. Natija HF ta'sirini oddiy "tok oshishi" modeli bilan emas, balki chegara sirt energetikasi va maydonga bog' liq qutbiy-selektiv injeksiyaning qayta shakllanishi bilan talqin qilish zarurligini ko' rsatadi.

Kalit so' zlar: n^+ -Si:Sb(100), HF bilan tozalash, tabiiy SiO_x , volt-ampere tavsifi, differensial qarshilik, qutbiy asimetriya, zaryad injeksiyasi.

ИЗМЕНЕНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПОЛЯРНОЙ АСИММЕТРИИ ПОВЕРХНОСТИ n^+ -Si:Sb(100) ПОСЛЕ ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ HF

Аннотация: В работе проведено сравнение вольт-амперных характеристик поверхности монокристаллического кремния n^+ -Si:Sb(100), сильно легированного сурьмой, с естественным оксидным слоем и после химической очистки HF. Подтверждённая технологическая последовательность включала промывку деионизированной (DI) водой, обработку в растворе HF в течение 2 минут и последующую промывку DI-водой. Измерения В–А характеристик выполнены на приборе Keithley 2400-C в диапазоне –4...+4 В при линейной развертке из 500 точек. Для образца B2 с естественным оксидным слоем получены значения $I(-4\text{ В})=-16,450\text{ мА}$, $I(+4\text{ В})=+14,451\text{ мА}$ и коэффициент полярной асимметрии $K_{as}=0,879$. Для образца B4 после обработки HF соответствующие токи составили –5,597 и +19,179 мА, а $K_{as}=3,426$. Обработка HF уменьшила модуль тока при отрицательном смещении на 66,0%, увеличила ток при положительном смещении на 32,7% и повысила дифференциальное сопротивление в области малых полей с 0,96 до 4,69 кОм. Результаты показывают, что влияние HF необходимо интерпретировать не в рамках простой модели «увеличения тока», а с учётом перестройки энергетики поверхностного слоя границы раздела и зависящей от поля полярно-селективной инжекции.

Ключевые слова: n^+ -Si:Sb(100), очистка HF, естественный SiO_x , вольт-амперная характеристика, дифференциальное сопротивление, полярная асимметрия, инжекция заряда.

CHANGE IN THE VOLT-AMPERE CHARACTERISTIC AND POLAR ASYMMETRY OF THE n^+ -Si:Sb(100) SURFACE AFTER CHEMICAL CLEANING WITH HF

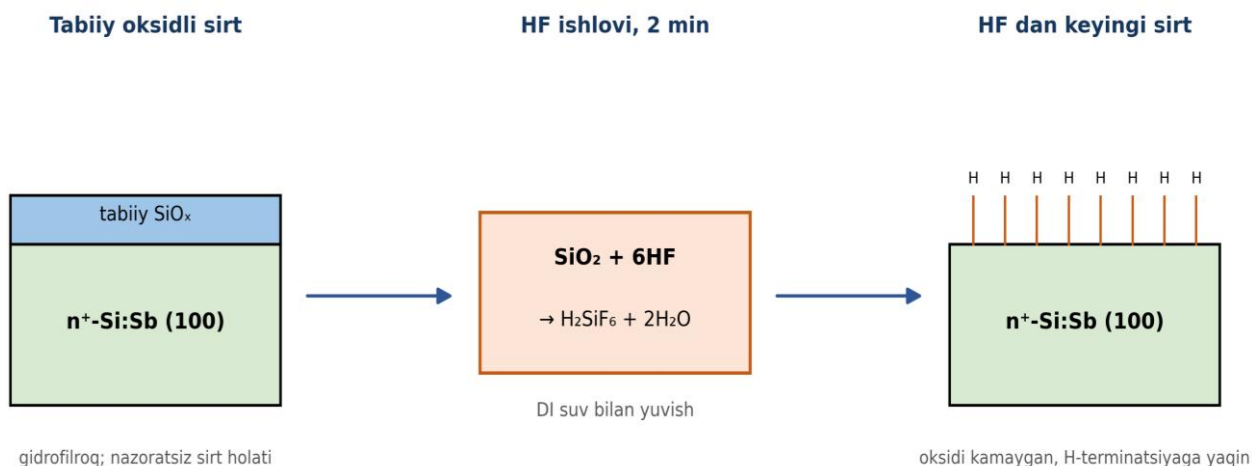
Abstract: In this work, the current-voltage characteristics of the surface of a heavily antimony-doped n^+ -Si:Sb(100) single-crystal silicon sample with a native oxide layer and after chemical cleaning with HF were compared. The validated technological sequence consisted of rinsing with DI water, treatment in an HF solution for 2 minutes, and subsequent rinsing with DI water. The V–A measurements were performed using a Keithley 2400-C instrument in the range of –4...+4 V with a linear sweep of 500 points. For the native-oxide B2 sample, $I(-4\text{ V})=-16.450\text{ mA}$, $I(+4\text{ V})=+14.451\text{ mA}$, and the polar asymmetry coefficient $K_{as}=0.879$. For the B4 sample after HF treatment, the corresponding currents were –5.597 and +19.179 mA, while $K_{as}=3.426$. HF treatment reduced the

magnitude of the current under negative bias by 66.0%, increased the current under positive bias by 32.7%, and increased the low-field differential resistance from 0.96 to 4.69 kΩ. The results indicate that the effect of HF should not be interpreted using a simple “increase in current” model, but rather in terms of a reconstruction of the interface surface energetics and field-dependent polarity-selective injection.

Keywords: n^+ -Si:Sb(100), HF cleaning, native SiO_x , current-voltage characteristic, differential resistance, polar asymmetry, charge injection.

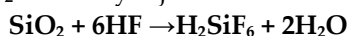
Kirish. Kremniy asosidagi metall–dielektrik–yarimo‘tkazgich tuzilmalarida sirtni tayyorlash keyingi oksidlanish, yupqa qatlam shakllantirish va elektr kontakt hosil qilish jarayonlarining boshlang‘ich chegaraviy shartini belgilaydi. Tabiiy SiO_x , organik adsorbatlar, suv va ion qoldiqlari bir necha nanometrli faol chegara sohasida potentsiali, sirt holatlari va zaryad tashuvchilarning kontakt orqali injeksiyasini o‘zgartirishi mumkin. Shu sababli bir xil hajmiy kremniydan olingan namunalar ham sirt tarixi turlicha bo‘lsa, sezilarli darajada farq qiluvchi V–A tavsiflarini berishi mumkin. Klassik RCA yondashuvda turli ifloslik turlari ketma-ket kimyoviy bosqichlar bilan kamaytiriladi, HF dip esa tabiiy yoki kimyoviy hosil qilingan kremniy oksidini eritish uchun ishlatiladi [1, 2]. HF ishlovidan keyin sirt oksidi kamayadi va kremniy H-terminatsiyalangan holatga yaqinlashadi; bunday sirtning kimyoviy passivligi va tarkibi XPS, AES, FTIR hamda STM usullari bilan ko‘p bora tahlil qilingan [3–6]. Biroq real laboratoriya sharoitida yakuniy holat HF konsentratsiyasi, yuvish, quritish, havoda ushlab va sirtga tegish kabi omillarga sezgir hisoblanadi.

Mazkur ishning maqsadi — tabiiy oksidli va HF bilan tozalangan n^+ -Si:Sb(100) sirtlarining tanlangan, texnik jihatdan silliq V–A tavsiflarini qiyoslab, tok amplitudasi, past maydonli differensial qarshilik va qutbiy asimetriyadagi o‘zgarishlarni miqdoriy ajratishdir. Ishda aniq emissiya mexanizmini majburan belgilash emas, balki mavjud real o‘lchovlar doirasida fizik jihatdan himoyalangan xulosa chiqarish maqsad qilingan.



1-rasm. Tabiiy oksidli va HF bilan ishlov berilgan kremniy sirtlarining fizik-kimyoviy holati. H-terminatsiya sxematik bo‘lib, mazkur tajribada XPS yoki FTIR bilan bevosita tasdiqlanmagan.

Tadqiqot metodologiyasi. Boshlang‘ich material sifatida (100) kristallografik yo‘nalishli, surma bilan kuchli legirlangan n^+ -Si:Sb monokristall kremniy ishlatilgan; nominal solishtirma qarshilik 0.01 Ω·cm. Tadqiqotning ushbu bosqichida ishonchli tasdiqlangan sirt tayyorlash ketma-ketligi: dastlabki DI suv bilan yuvish → HF eritmasida 2 minut ishlov → HF dan keyingi DI suv bilan yuvish. HF eritmasining aniq konsentratsiyasi, yuvishning oqimli yoki statik rejimi, quritish usuli va HF dan elektr o‘lchovgacha o‘tgan vaqt laboratoriya jurnalida to‘liq saqlanmagan. Shu sabab ushbu parametrlar boshqa manbadagi 2% HF yoki N_2 blow-dry rejimidan ko‘chirilib, real tajriba parametri sifatida berilmadi.



Reaksiya tenglamasi oksidning ftorli kompleksga aylanishini umumlashtiradi. Amalda HF ishlovidan keyingi DI yuvish sirt yaqinidagi erigan reaksiya mahsulotlarini kamaytiradi; shu bilan birga suv bilan kontakt ayrim Si–F bog‘larini gidrolizlashi va sirtning keyingi kimyoviy tugallanishiga ta‘sir qilishi mumkin [5]. Demak, ishlov faqat geometrik oksid qalinligini emas, kontakt hosil bo‘ladigan sirtning kimyoviy va dipol holatini ham o‘zgartiradi. V–A tavsiflari Keithley 2400-C manba-o‘lchagichda chiziqli Voltage Sweep rejimida qayd etilgan. Bir Run –4 dan +4 V gacha 500 nuqtadan iborat bo‘lib, o‘rtacha kuchlanish qadami 0.016032 V ni tashkil etgan. O‘lchov 2-wire, front-terminal vaqtinchalik proba kontaktida bajarilgan. Tok limiti 0.1 A, source-to-measure delay 5 ms, o‘lchash oynasi 20 ms va NPLC=1 bo‘lgan. Yakuniy Ni yuqori/orqa PVD elektrodlari va standart kontakt maydoni ushbu bosqichda shakllantirilmaganligi sabab tok zichligi J hamda kontakt to‘liq balandligi hisoblanmadi.

1-jadval. *V–A o‘lchashning asosiy parametrlari. Kontakt geometriyasi standartlashtirilmagani uchun qarshiliklar diagnostik samarali qiymat sifatida talqin qilinadi.*

Parametr	Qiymat	Metodik izoh
Asbob	Keithley 2400-C	Manba-o‘lchagich
Sweep	–4...+4 V	Chiziqli, bipolyar
Nuqtalar soni	500	Har bir tanlangan Run
Kuchlanish qadami	≈0.016032 V	Eksport metadata bo‘yicha
Delay / window	5 ms / 20 ms	NPLC=1
Tok limiti	0.1 A	Auto current range
Ulanish	2-wire	Vaqtinchalik proba, front terminal
Asosiy Run-lar	B2 Run 10; B4 Run 12	Silliq, uzluksiz, sakrashsiz

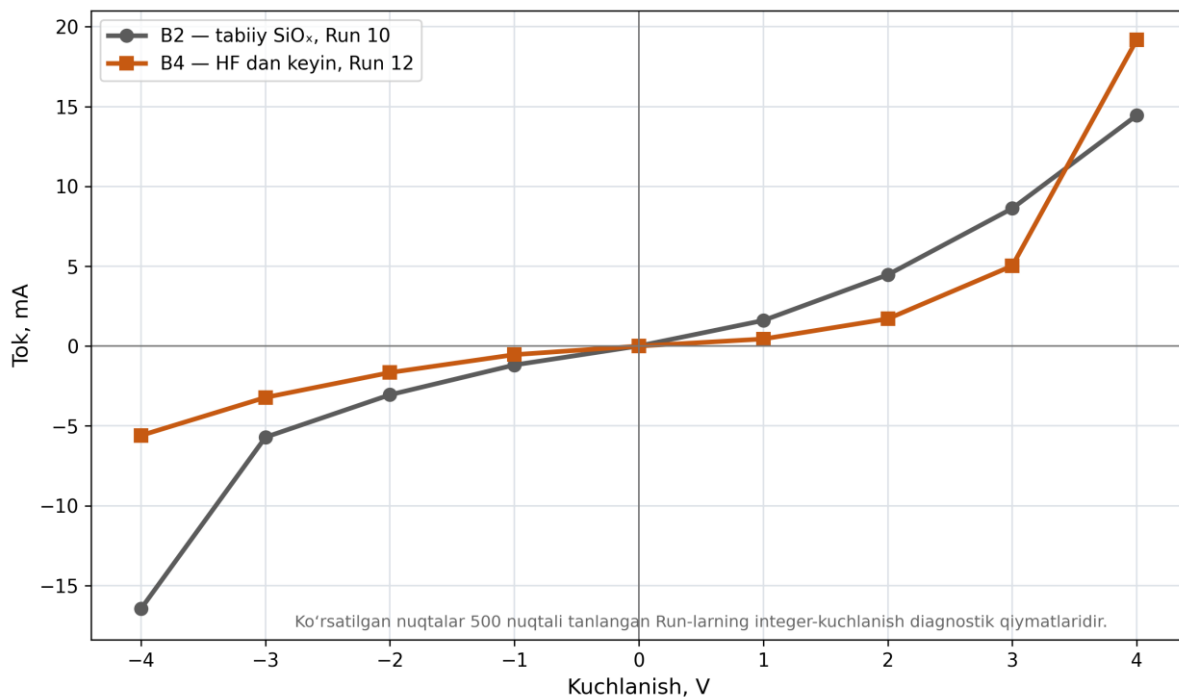
Tabiiy oksidli holat uchun B2 Run 10, HF dan keyingi holat uchun B4 Run 12 tanlangan. Tanlash mezonlari bir xil ±4 V diapazon, 500 nuqta, egri chiziqning uzluksizligi, compliance chegarasiga urilmaslik va keskin lokal kontakt sakrashlarining yo‘qligidan iborat. Bu oldindan ro‘yxatdan o‘tgan statistik saralash emas; shu sabab natijalar “representativ dastlabki Run” sifatida ifodalanadi. Qutbiy asimmetriya $K_{as}=I(+4\text{ V})/|I(-4\text{ V})|$ ko‘rinishida aniqlandi. Past maydonli differensial o‘tkazuvchanlik G_0 to‘liq Run ichidagi $|V| \leq 0.5\text{ V}$ oralig‘iga chiziqli regressiya orqali, $R_0=1/G_0$ esa uning teskari qiymati sifatida olingan. $R_{eff}=|V/I|$ faqat berilgan vaqtinchalik ulanishning ±4 V dagi samarali qarshiligidir; u materialning solishtirma qarshiligi emas.

$$K_{as} = I(+4\text{ V}) / |I(-4\text{ V})| \quad R_0 = (dI/dV)^{-1}, \quad |V| \leq 0.5\text{ V}$$

Muhokama va tadqiqot natijalari. B2 tabiiy oksidli namunada V–A egri chizig‘i sezilarli noxiziqli, biroq ±4 V tok modullari bir-biriga nisbatan yaqin: –4 V da –16.450 mA va +4 V da +14.451 mA. $K_{as}=0.879$ bo‘lib, bu ideal simmetriya $K_{as}=1$ dan 12.1% past. Past kuchlanishdagi qiyalik yuqori bo‘lsa-da, tokning kuchlanishga bog‘liqligi yagona omik qarshilik bilan to‘liq ifodalanmaydi. HF bilan tozalangan B4 da egri chiziqning qutbiy shakli keskin o‘zgargan. Manfiy qutblanishdagi tok –5.597 mA gacha kamaygan, musbat qutblanishdagi tok esa +19.179 mA gacha oshgan. Shunday qilib, etalonga nisbatan $|I(-4\text{ V})|$ 66.0% ga kamaygan, $I(+4\text{ V})$ esa 32.7% ga ortgan. HF ishlovining ikki qutblanishda qarama-qarshi yo‘nalishdagi ta‘siri “oksid olib tashlandi va umumiy tok oshdi” kabi bir parametrlilik izohni rad etadi.

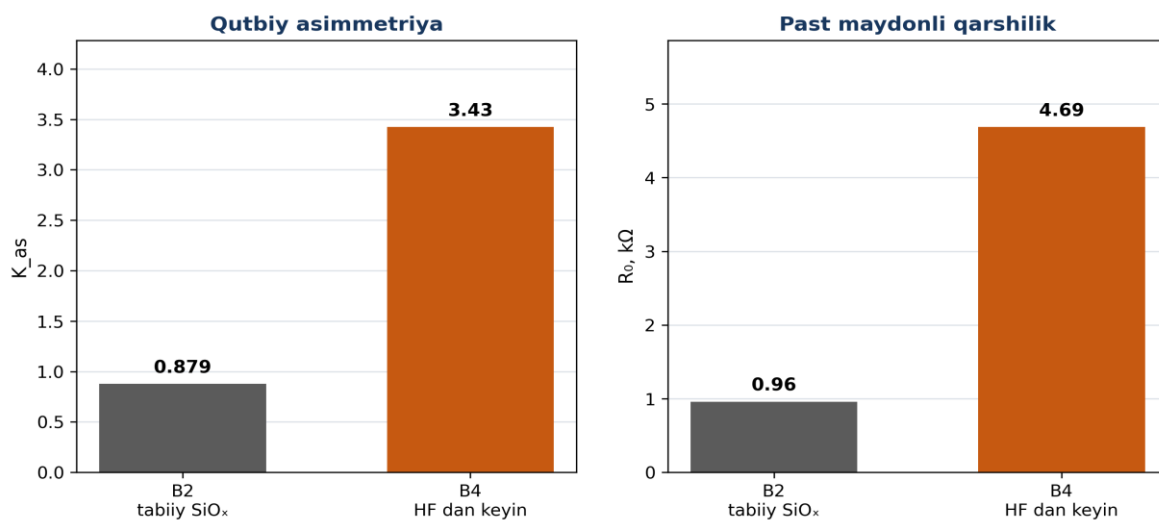
2-jadval. *Tabiiy oksidli va HF bilan tozalangan holatlarning diagnostik V–A ko‘rsatkichlari. B2 va B4 turli namunalardir; qiymatlar guruhlararo representativ qiyos sifatida berilgan.*

Holat	$I(-4\text{ V})$, mA	$I(+4\text{ V})$, mA	K_{as}	R_0 , kΩ	$R_{eff}(-/+)$, kΩ
B2 — tabiiy SiO _x	–16.450	+14.451	0.879	0.96	0.243 / 0.277
B4 — HF dan keyin	–5.597	+19.179	3.426	4.69	0.715 / 0.209



2-rasm. Tabiiy oksidli B2 va HF bilan tozalangan B4 namunalarining V–A diagnostik nuqtalari. Nuqtalar to'liq 500 nuqtali Run-lardan $V=-4, -3, \dots, +4$ V qiymatlariga eng yaqin o' lchovlar bo' yicha olingan.

HF dan keyin K_{as} 0.879 dan 3.426 gacha, ya'ni 3.90 marta oshgan. Shu bilan birga R_0 0.96 dan 4.69 k Ω gacha ko' tarilib, qariyb 4.9 marta ortgan. Biroq B4 ning +4 V dagi toki B2 dan katta. Bu bir qarashda qarama-qarshi natija past maydon va yuqori maydon rejimlarida bir xil zaryad ko' chish modeli hukmron emasligini ko' rsatadi: past maydonda kontakt/chegara to' sig' i tokni kuchliroq cheklashi, musbat yuqori maydonda esa injeksiya faollashishi mumkin.



3-rasm. HF ishlovidan keyin qutbiy asimmetriya K_{as} va past maydonli differensial qarshilik R_0 ning o' zgarishi.

HF tabiiy SiO₂ ni eritgach, metall/proba bilan kremniy orasidagi dielektrik oraliq qatlam va sirt dipoli o' zgaradi. Adabiyotlarda HF asosidagi ishlovdan keyin sirt oksidining olib tashlanishi va Si–H bog' lari bilan tugallangan holatga yaqinlashish XPS, AES hamda infraqizil spektroskopiya orqali ko' rsatilgan [3, 4]. Si(001)/(100) sirtida esa eritma tarkibi va OH⁻ konsentratsiyasi atomar morfologiyaga ham ta'sir qilishi mumkin [6]. Shuning uchun HF dan keyingi elektr javob faqat oksid qalinligi bilan emas, balki sirtning kimyoviy tugallanishi, mikromorfologiyasi, qayta adsorbsiya va vaqtinchalik kontakt hosil bo' lishi bilan birgalikda belgilanadi. B4 da manfiy tokning kamayishi va musbat tokning ortishi potensial to' siqning qutblanishga javobi o' zgarganini ko' rsatadi. Musbat qutblanishda tashuvchilar injeksiyasi elektr maydon bilan tez faollashayotgan bo' lishi mumkin; manfiy qutblanishda esa kontakt yoki sirt holatlari tokni ko' proq cheklaydi. Ammo mavjud V–A ma'lumotining o' zi termoelektron emissiya, tunnellanish, Schottky emission yoki Poole–Frenkel

jarayonlaridan birini qat'iy ajratishga yetarli emas. Buning uchun standart metall kontakt maydoni, $\log(I)-V$, $\log(I/V^2)-1/V$, haroratga bog'liq o' lchovlar va dielektrik parametrlar zarur. HF dan keyingi DI rinse ham neytral bosqich emas. Takahagi va hammualliflar HF bilan ishlangan kremniyda Si-F miqdori HF konsentratsiyasiga bog' liqligini va suv bilan yuvishda ko' p Si-F bog' lari tez gidrolizlanib Si-OH guruhlariga aylanishini ko' rsatgan [5]. Mazkur tajribada HF konsentratsiyasi va yuvish davomiyligi qayd etilmagani sabab sirtni sof H-terminatsiyalangan deb e'lon qilish mumkin emas. Elektr natijani "oksidi kamaytirilgan va kimyoviy tugallanishi o' zgargan sirt" deb ifodalash ilmiy jihatdan aniqroq. $R_0 \quad |V| \leq 0.5 \text{ V}$ oralig' idagi lokal qiyalikni tavsiflaydi. HF dan keyin R_0 ning ortishi nol kuchlanish yaqinida kichik signal o' tkazuvchanligi kamayganini bildiradi. Biroq +4 V dagi tokning ortishi elektr maydonning potensial profilni sezilarli o' zgartirib, tashuvchilarni to' siqdan o' tishini faollashtirayotganidan dalolat beradi. Demak, B4 V-A si uchun doimiy R bilan ifodalanuvchi $I=V/R$ modeli fizik mazmunni yo' qotadi. Qutbiy asimmetriya K_{as} ning 3.426 ga yetishi vaqtinchalik yuqori va orqa kontaktlarning ekvivalent emasligi, ochilgan sirtning proba bosimi va lokal kontakt maydoniga sezgirligi yoki sirt holatlarining bir yo' nalistda injeksiyani kuchliroq boshqarishi bilan bog' liq bo' lishi mumkin. Ushbu ehtimollar bir-birini inkor etmaydi. Shu bois hozirgi natija mexanizmning yakuniy isboti emas, balki keyingi standartlashtirilgan tajriba uchun kuchli diagnostik signal hisoblanadi.

Natijalarni talqin qilishda to' rtta cheklov qat'iy saqlandi. Birinchidan, B2 va B4 bir xil fizik bo' lakning ketma-ket "oldin-keyin" o' lchovi emas, balki bir xil turdagi boshlang' ich materialdan olingan turli reprezentativ namunalardir. Ikkinchidan, har bir holat uchun hozircha bitta tanlangan Run tahlil qilingan; standart og' ish va ishonch oralig' i hisoblanmagan. Uchinchidan, vaqtinchalik proba kontakti maydoni va bosimi standartlashtirilmagan, yakuniy Ni/Ni PVD kontaktlari mavjud bo' lmagan. To' rtinchidan, HF konsentratsiyasi, quritish va HF- $\emptyset$ lchov vaqti to' liq qayd etilmagan.

Shu cheklovlar sabab 66.0% kamayish, 32.7% ortish va 3.90 martalik K_{as} o' zgarishi aynan tanlangan Run-larning tavsifidir; ular hozircha butun texnologik guruhning o' rtacha parametri deb e'lon qilinmaydi. Biroq ikki qutblanishda o' zgarishning qarama-qarshi yo' nalishi va R_0 ning bir necha marta ortishi HF dan keyingi sirt/contact holati elektr javobni sezilarli qayta tashkil etganini ko' rsatuvchi yetarlicha aniq dastlabki dalildir.

Mavjud natijalarning fizik mazmunini aniqroq ajratish uchun tokning faqat absolyut qiymatini emas, ikki qutb orasidagi muvozanatni ham tahlil qilish maqsadga muvofiq. Buning uchun normallashtirilgan qutbiy selektivlik koeffitsiyenti $S_p = [I(+4 \text{ V}) - |I(-4 \text{ V})|] / [I(+4 \text{ V}) + |I(-4 \text{ V})|]$ kiritildi. Ushbu o' lchamsiz ko' rsatkich -1 dan +1 gacha o' zgaradi: $S_p = 0$ tok modullarining qutbiy simmetriyasini, $S_p > 0$ musbat qutbdagi, $S_p < 0$ esa manfiy qutbdagi tok ustunligini bildiradi. Bu koeffitsiyent K_{as} bilan bir xil ma'lumotni boshqa masshtabda beradi, biroq ikki tokning yig' indisiga normallangani sabab holatlar orasidagi farqni ixcham va intuitiv ifodalaydi. Hisoblash B2 uchun $S_p = (14.451 - 16.450) / (14.451 + 16.450) = -0.0647$, B4 uchun esa $S_p = (19.179 - 5.597) / (19.179 + 5.597) = 0.5482$ ekanini ko' rsatdi. Demak, tabiiy oksidli sirtida qutbiy nomuvozanat kichik va manfiy yo' nalistga og' gan bo' lsa, HF ishlovidan keyin musbat qutb ustunligi yaqqol shakllangan. S_p ning ishorasi almashishi HF ishlovidan keyingi farq oddiy tok masshtabi siljishi emasligini ko' rsatadi. Agar ishlov faqat namunadagi umumiy ketma-ket qarshilikni o' zgartirganida, ikkala qutbdagi toklar bir yo' nalistda va yaqin nisbatda o' zgarishi kutilardi. Tajribada esa $|I(-4 \text{ V})|$ 0.340 nisbatgacha kamaygan, $I(+4 \text{ V})$ esa 1.328 nisbatgacha oshgan.

3-jadval. Mavjud $\pm 4 \text{ V}$ natijalaridan hisoblangan qo' shimcha qutbiy ko' rsatkichlar. Qiymatlar yangi tajriba emas, 2-jadval ma'lumotlarining matematik qayta ishlanishidir.

Holat	$\Sigma I $, mA	ΔI_q , mA	S_p	B4/B2 nisbati
B2 — tabiiy SiO_x	30.901	-1.999	-0.0647	Bazaviy holat
B4 — HF dan keyin	24.776	+13.582	+0.5482	0.340 (-4 V); 1.328 (+4 V)

Bu yerda $\Sigma |I| = |I(-4 \text{ V})| + I(+4 \text{ V})$ umumiy chekka tok masshtabini, $\Delta I_q = I(+4 \text{ V}) - |I(-4 \text{ V})|$ esa qutbiy farqni ifodalaydi. $\Sigma |I|$ HF dan keyin 30.901 mA dan 24.776 mA gacha, ya'ni 19.8% kamaygan. Ayni paytda ΔI_q -1.999 mA dan +13.582 mA gacha o' zgargan. Shunday qilib, yig' indi tokdagi mo' tadil pasayish ortida qutbiy qayta taqsimlanish ancha kuchli ekani ko' rinadi. Bu natija HF ishlovining eng muhim belgisi o' rtacha o' tkazuvchanlikdan ko' ra kontakt chegarasining yo' nalistga bog' liq injeksiya shartlariga ta'siri ekanini tasdiqlaydi.

Xulosa.

Tabiiy oksidli B2 namunasida -4 va +4 V toklar mos ravishda -16.450 va +14.451 mA bo' lib, $K_{as} = 0.879$ va $R_0 = 0.96 \text{ k}\Omega$ qayd etildi.

HF bilan 2 minut ishlov berilgan va DI suv bilan yuvilgan B4 namunasida -4 V toki -5.597 mA, +4 V toki +19.179 mA bo' ldi; $K_{as} = 3.426$ va $R_0 = 4.69 \text{ k}\Omega$ gacha oshdi.

HF ishlovi $|I(-4 \text{ V})|$ ni 66.0% kamaytirib, $I(+4 \text{ V})$ ni 32.7% oshirdi. Demak, asosiy hodisa umumiy o' tkazuvchanlikning bir yo' naliqli o' zgarishi emas, qutbiy-selektiv injeksiyaning kuchayishidir.

Past maydonda R_0 ning qariyb 4.9 marta ortishi bilan yuqori musbat maydonda tokning oshishi V–A tavsifini yagona omik qarshilik bilan tushuntirib bo' lmasligini ko' rsatdi.

HF sirt oksidi va kimyoviy tugallanishini o' zgartirib, kontakt energetikasi va maydonga bog' liq zaryad injeksiyasini qayta shakllantirgan bo' lishi mumkin; aniq transport mexanizmi qo' shimcha o' lchovlarsiz belgilanmadi.

Natijalar turli reprezentativ namunalar va vaqtinchalik kontaktlardan olingani sabab dastlabki hisoblanadi. Standart Ni kontaktlar va takroriy statistika bilan tasdiqlangach, ularni to' liq jurnal maqolasining eksperimental bo' limiga kengaytirish mumkin.

Mualliflar hissasi, manfaatlar to' qnashuvi va moliyalashtirish

Mualliflar hissasi: barcha mualliflar tadqiqot konsepsiyasi, ma'lumotlarni tahlil qilish va maqola matnini tayyorlashda teng hissa qo' shgan. Manfaatlar to' qnashuvi: mualliflar manfaatlar to' qnashuvi yo' qligini bildiradi. Moliyalashtirish: tadqiqot tashqi moliyaviy yordamsiz amalga oshirilgan.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Bachman M. **Kremniy plastinalarini tozalash usullari**. INRF Application Note, University of California Irvine, 2002.
2. Kern W., Puotinen D. A. **Kremniy yarimo' tkazgich texnologiyasida foydalanish uchun vodorod peroksid asosidagi tozalash eritmalari**. RCA Review, 1970, 31(2), 187–206.
3. Fenner D. B., Biegelsen D. K., Bringans R. D. **Kremniy sirtini vodorod bilan tugatish orqali passivatsiyalash**. Journal of Applied Physics, 1989, 66, 419–424. <https://doi.org/10.1063/1.343839>.
4. Higashi G. S., Chabal Y. J., Trucks G. W., Raghavachari K. **Si(111) sirtining ideal vodorod bilan tugatilishi**. Applied Physics Letters, 1990, 56, 656–658. <https://doi.org/10.1063/1.102728>.
5. Takahagi T., Ishitani A., Kuroda H., Nagasawa Y. **Gidroftorid kislota bilan ishlov berilgan kremniy monokristalli sirtida ftor saqlovchi zarrachalar**. Journal of Applied Physics, 1991, 69, 803–807. <https://doi.org/10.1063/1.347367>.
6. Morita Y., Tokumoto H. **Ho' l-kimyoviy ishlov berish orqali Si(001) sirtini atom miqyosida tekislash va vodorod bilan tugatish**. Journal of Vacuum Science & Technology A, 1996, 14, 854–858. <https://doi.org/10.1116/1.580403>.

Reference

1. Bachman M. Cleaning Procedures for Silicon Wafers. INRF Application Note, University of California Irvine, 2002.
2. Kern W., Puotinen D. A. Cleaning solutions based on hydrogen peroxide for use in silicon semiconductor technology. RCA Review, 1970, 31(2), 187–206.
3. Fenner D. B., Biegelsen D. K., Bringans R. D. Silicon surface passivation by hydrogen termination. Journal of Applied Physics, 1989, 66, 419–424. <https://doi.org/10.1063/1.343839>.
4. Higashi G. S., Chabal Y. J., Trucks G. W., Raghavachari K. Ideal hydrogen termination of the Si(111) surface. Applied Physics Letters, 1990, 56, 656–658. <https://doi.org/10.1063/1.102728>.
5. Takahagi T., Ishitani A., Kuroda H., Nagasawa Y. Fluorine-containing species on the hydrofluoric acid etched silicon single-crystal surface. Journal of Applied Physics, 1991, 69, 803–807. <https://doi.org/10.1063/1.347367>.
6. Morita Y., Tokumoto H. Atomic scale flattening and hydrogen termination of the Si(001) surface by wet-chemical treatment. Journal of Vacuum Science & Technology A, 1996, 14, 854–858. <https://doi.org/10.1116/1.580403>