FARG‘ONA DAVLAT UNIVERSITETI

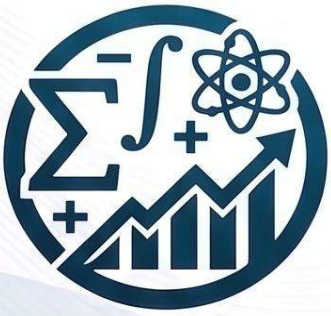
O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY TA‘LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI
FARG‘ONA DAVLAT UNIVERSITETI

YANGI AVLOD
ILMIY TADQIQOTLARI

Respublika ilmiy-amaliy konferensiya to‘plami

SHO‘BA:

Aniq fanlar



ILM-FAN YUTUQLARI – YUKSALISH SARI

INNOVATSIYA – KELAJAK POYDEVORI

2026-YIL 25-IYUN

FARG‘ONA

SnO_2 PLYONKALARINING TURLI GAZLARINI SEZUVCHANLIK XOSSALARIGA SIRTIY NUQSONLARNI TA’SIRI

UDK: 621.382

Toxirova Mashhuraxon
Farg‘ona davlat universiteti tayanch doktoranti
e-mail: toxirovamashhuraxon@gmail.com
ORCID: 0009-0005-2360-4274

Annotatsiya

Ushbu maqolada SnO_2 asosidagi yupqa plyonkalarda sirtiy nuqsonlar va kislorod bo‘shliqlari konsentratsiyasining gaz sezgirlikka ta’siri tahlil qilinadi. Maqsad turli gazlar uchun selektivlik va sezgirlikni boshqaruvchi fizik-kimyoviy mexanizmlarni asoslashdir. Ilmiy yangilik sirtiy nuqsonlar spektri bilan yutilish kinetikasi bog‘liqligini izchil asoslash va optimal ish harorati hamda nuqson muhandisligi orqali sezgirlikni oshirish yo‘llarini taklif etishdan iborat.

Kalit so‘zlar. *SnO_2 plyonka; sirtiy nuqsonlar; kislorod bo‘shlig‘i; yutilish; gaz sensori; selektivlik.*

KIRISH

Metall oksidli yarimo‘tkazgichlar asosidagi rezistiv gaz sensorlarining amaliy ahamiyati, avvalo, ularning texnologik soddaligi va past narxida namoyon bo‘lsa-da, yuqori selektivlik hamda past konsentratsiyalarga sezgirlikka erishish masalasi hanuz fundamental yondashuvni talab qiladi. **Rezistiv sensor** - tashqi ta’sir (harorat, bosim, yorug‘lik va boshqalar) natijasida qarshiligi o‘zgaradigan sensor. SnO_2 ushbu sinf materiallari orasida elektron o‘tkazuvchanligi, termik barqarorligi va sirtida kislorodning faol adsorbsiya qilishi tufayli eng ko‘p tadqiq etiladigan sistemalardan hisoblanadi [1].

Biroq SnO_2 ning gaz bilan o‘zaro ta’siri faqat kristall panjara parametrlari bilan emas, balki asosan sirt holati, donachalar chegaralari va nuqsonlar energetik spektri bilan belgilanadi. Shuning uchun sirtiy nuqsonlar deganda faqat “yetishmayotgan atom” yoki “notekislik” emas, balki yutilish bilan zaryad almashinuvida qatnashadigan faol markazlar va lokal potensial to‘siqlar tushuniladi. Mazkur tadqiqotning ilmiy mantiqi shundan iboratki, turli gazlar uchun sezgirlik farqi, ko‘pincha, sirt nuqsonlarining turi va konsentratsiyasi orqali boshqariladigan adsorbsiya-desorbsiya kinetikasi hamda sirt yaqinidagi fazoviy zaryad qatlamining qalinligi bilan izohlanadi.

SnO_2 ning klassik gaz sezgirlik mexanizmi shunday tasvirlanadiki, havoda sirtga kislorod molekulalari adsorbsiya qilinadi va elektronlarni tutib olib O_2^+ , O^+ yoki O_2^- O^- kabi ionlashgan shakllarni hosil qiladi, buning natijasida sirt yaqinida elektronlar kamayadi va donacha chegaralarida potensial to‘siq ortadi, materialning umumiy qarshiligi oshadi [2].

Ushbu “sirt kislorodi” modeli amaliy jihatdan foydali bo‘lsa-da, u ko‘p hollarda selektivlikni, ayniqsa, yaqin haroratlarda turli gazlarning o‘xshash javoblarini to‘liq tushuntirib bera olmaydi. Bu yerda hal qiluvchi omil sifatida sirtiy nuqsonlar, xususan kislorod bo‘shliqlari, qalayning oksidlanish darajasi o‘zgarishi (Sn_4^+ va Sn_2^+ nisbatlari),

gidroksil guruhlar, donacha chegaralaridagi tuzilma buzilishlari hamda kirishmalar sababli yuzaga keladigan lokal elektr maydonlari maydonga chiqadi [3].

Kislorod bo‘shliqlari SnO_2 da eng muhim nuqsonlardan bo‘lib, ular donor tabiatli bo‘lishi mumkin va sirt yaqinida elektronlar konsentratsiyasini oshiradi. Bir qarashda elektronlar ko‘pligi sensor javobini “pasaytiradi” degan taxmin tug‘iladi, chunki havodagi qo‘shimcha qarshilik kamayadi. Ammo sensornning sezgirligi faqat bazaviy qarshilikning katta-kichikligiga bog‘liq emas, javobning nisbiy o‘zgarishi, potensial to‘siqlarning modulyatsiyasi va zaryadlanish kinetikasi ham muhim. Kislorod bo‘shlig‘i sirt uchun adsorbsiya markazi vazifasini bajarib, kislorodning ionlashgan shakllarini barqarorlashtirishi, shuningdek, ayrim gaz molekulalarining kimyoviy adsorbsiya ehtimolini oshirishi mumkin. Natijada optimal darajadagi bo‘shliqlar sezgirlikni kuchaytiradi, biroq bo‘shliqlar haddan tashqari ko‘payganda sirt “metallashib” ketishi, ekranlash kuchayishi va fazoviy zaryad qatlamining nisbiy ta’siri kamayishi ehtimoli mavjud. Demak, muammo maksimal nuqson yaratish emas, balki nuqsonlarning nazorat qilinadigan spektrini shakllantirishdan iborat. SnO_2 plyonkalarini olish texnologiyasi sirtiy nuqsonlar tabiatini bevosita belgilaydi.

Reaktiv purkash, kimyoviy bug‘ fazasida cho‘ktirish, zol-gel, spray-pirolez kabi usullar turli stexiometriya og‘ishlari va mikrostrukturani hosil qiladi [4]. Masalan, kislorodga nisbatan kamaytirilgan muhitda cho‘ktirish yoki past kislorod bosimida purkash kislorod bo‘shliqlarini ko‘paytiradi, keyingi anneal rejim esa bo‘shliqlarni qisman to‘ldirishi va kristallanishni yaxshilashi mumkin. Zol-gel usulida esa prekursorlar qoldiq guruhlari, gidroksillanish darajasi va porozlik (**Porozlik** - bu material ichida mavjud bo‘lgan kovaklarning umumiy hajmining materialning umumiy hajmiga nisbati) yuqori bo‘lishi sababli past haroratlarda ham faol sirt hosil bo‘lishi mumkin, lekin bunday sirt namlikka sezgir bo‘lib, signalning barqarorligiga salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Shuning uchun texnologik parametrlarning nuqson muhandisligi nuqtai nazaridan tanlanishi zarur: cho‘ktirish harorati, kislorodning qisman bosimi, anneal rejimi, plyonka qalinligi va donachalar o‘lchami o‘zaro bog‘liq bo‘lib, yakunda sirtning elektron holatlari taqsimotini belgilaydi.

Yarimo‘tkazgichlar texnologiyasida **anneal (annealing) rejimi** - bu materialni ma’lum haroratgacha qizdirib, shu haroratda ma’lum vaqt ushlab turish va keyin nazorat ostida sovitish jarayonining parametrlar to‘plamidir. Annealingning asosiy maqsadlari:

- Kristall panjaradagi nuqsonlarni kamaytirish.
- Implantatsiya qilingan qo‘shimcha atomlarni (dopantlarni) elektr jihatdan faol holatga keltirish.
- Ichki mexanik kuchlanishlarni kamaytirish.
- Metall va yarimo‘tkazgich qatlamlari orasidagi kontakt sifatini yaxshilash.
- Qatlamlarning mikrostrukturasi va elektr xossalarini optimallashtirish.

Sirt nuqsonlarini diagnostika qilishda fizik usullar majmuasi talab etiladi, chunki bitta metod nuqsonning ham konsentratsiyasini, ham energetikasini to‘liq berolmaydi. XRD kristall faza va donacha o‘lchami haqida ma’lumot beradi, biroq u sirtning kimyoviy holatini bevosita ko‘rsatmaydi. SEM va AFM mikrorelyef va nuqsonlarni aniqlab, gaz diffuziyasi va faol sirt maydoni bahosini beradi. XPS esa qalay 3d va kislorod 1s spektrlari orqali sirt stexiometriyasi, Sn_2^+ ulushi, “kislorod bo‘shlig‘i bilan

bog‘liq” komponentlar hamda gidroksil yoki adsorblangan kislorod ulushini ajratishga imkon beradi [5]. Shu bilan birga, elektr o‘lchovlar, xususan, turli haroratlarda qarshilikning o‘zgarishi va gaz impulslariga javob kinetikasi, nuqsonlar orqali zaryad tashuvchilarning faollashuv energiyasini bilvosita baholash imkonini yaratadi. Turli gazlar uchun sezgirlik farqini tahlil qilganda, avvalo, ularning reaktivligi, molekulyar o‘lchami, dipol momenti va sirt bilan bog‘lanish energiyasini hisobga olish kerak. Qaytaruvchi gazlar uchun SnO_2 da asosiy farqlovchi bosqich ko‘pincha reaksiyaning boshlanishi uchun zarur bo‘lgan aktivatsiya energiyasi va sirt kislorodining shakli bilan belgilanadi; masalan, pastroq haroratlarda O_2^- ustun bo‘lsa, yuqoriroq haroratlarda O^- faollashadi va bu javob amplitudasi hamda tezligiga ta’sir qiladi. Sirtiy nuqsonlar esa aynan qaysi ionlashgan kislorod shakli barqaror bo‘lishini siljitadi, chunki bo‘shliq yaqinida elektron zichligi va lokal potensial o‘zgaradi. Oksidlovchi gazlar, xususan NO_2 uchun, kuchli elektron harakatchanligi sababli sirtga adsorbsiya tez boradi, ammo barqaror komplekslar hosil bo‘lganda desorbsiya sekinlashib, qayta tiklanish vaqti ortishi mumkin, bu holatda nuqsonlarning turi sensorning qayta tiklanish dinamikasini belgilovchi asosiy omilga aylanadi. Demak, selektivlikni faqat bitta “optimal harorat” bilan emas, balki nuqson spektri va ish haroratining birgalikdagi moslashuvi bilan ta’minlash maqsadga muvofiq.

Plyonka qalinligi va donacha o‘lchamining roli sirt yaqinidagi fazoviy zaryad qatlamining qalinligi bilan uzviy bog‘liq. Agar donacha radiusi Debay uzunligiga yaqinlashsa, butun donacha deyarli to‘liq “bo‘shashgan” holatga keladi va sirt reaksiyasi butun hajm o‘tkazuvchanligini keskin modulyatsiya qiladi. Bu holatda sezgirlik ortadi, biroq shovqin, drift va namlik ta’siri ham kuchayishi mumkin. Juda yirik donachalarda esa sirt ta’siri faqat yupqa qatlam bilan cheklanib, nisbiy javob pasayadi [5]. Shuning uchun sirtiy nuqsonlarni ko‘paytirish bilan birga, donacha o‘lchamini nazorat qilish ham talab etiladi, amaliy tajribada anneal haroratini oshirish donachani yiriklashtiradi va nuqsonlarni qisman kamaytiradi, shuning uchun “nuqson ko‘p bo‘lsin” va “donacha kichik bo‘lsin” degan ikki talab o‘rtasida optimal muvozanat tanlanadi. Sirtiy nuqsonlar ta’sirini chuqurroq talqin qilish uchun donacha chegaralaridagi potensial to‘siq modeliga murojaat qilish maqsadga muvofiq.

Ionlashgan kislorod sirtga yaqin elektronlarni kamaytirib, donacha chegarasida to‘siq balandligini oshiradi, gaz kelganda bu to‘siq pasayadi va o‘tkazuvchanlik ortadi. Nuqsonlar, ayniqsa bo‘shliqlar va aralash valentli qalay markazlari, ushbu to‘siqning bazaviy qiymatini ham, gaz ta’sirida o‘zgarish amplitudasini ham belgilaydi. Agar nuqsonlar sirt holatlari zichligini oshirib, tuzoq holatlarini ko‘paytirsa, bazaviy to‘siq baland bo‘lishi mumkin, lekin gaz bilan reaksiyaga kirishish uchun ko‘proq faol markazlar yuzaga keladi; bu esa ma’lum konsentratsiyalarda sezgirlikni oshiradi. Aksincha, nuqsonlar elektronlarni haddan ziyod erkinlashtirib, sirt zaryadining nisbiy o‘zgarishini kichraytirsa, javob susayadi [6]. Shunday qilib, nuqsonlar sensor javobiga ikki tomonlama, raqobatli mexanizmlar orqali ta’sir qiladi va tajribada kuzatiladigan maksimumlar aynan shu raqobat natijasidir.

Amaliy sharoitda namlik muammosi alohida e’tibor talab qiladi, chunki H_2O molekulalari SnO_2 sirtida gidroksil guruhlarni hosil qilib, kislorod adsorbsiya markazlarini band qilishi yoki proton o‘tkazuvchanlik kanallarini yuzaga keltirishi

mumkin. Bu esa gaz sezgirlik signalini buzadi, ayniqsa past haroratlarda. Sirtiy nuqsonlar namlikka sezgirlikni ham boshqaradi: bo‘shliqlar va koordinatsiyasi to‘yinmagan atomlar suv uchun kuchli adsorbsiya markazi bo‘lib xizmat qiladi. Shuning uchun nuqson muhandisligi faqat sezgirlikni oshirish emas, balki namlikka nisbatan barqarorlikni ham hisobga olgan holda olib borilishi kerak.

Tadqiqotning kutiladigan ilmiy natijasi: SnO_2 plyonkalari uchun turli gazlarda kuzatiladigan javoblar farqini “faol sirt markazlari” konsepsiyasi orqali izohlashdan iborat bo‘lib, bunda XPS orqali ajratilgan O^{2-} komponentlari (panjaraviy kislorod, nuqson bilan bog‘liq kislorod, adsorblangan kislorod va gidroksil) nisbatlari elektr javobning amplitudasi va kinetik parametrlari bilan solishtiriladi. Agar adsorblangan kislorod ulushi oshsa, qaytaruvchi gazlarga javob ortishi, ammo tiklanish vaqti cho‘zilishi mumkin, bo‘shliq bilan bog‘liq komponent ortganda esa past haroratlarda ham javob paydo bo‘lishi, lekin drift kuchayishi ehtimoli mavjud. Shu tarzda nuqson spektri va ish harorati “moslik xaritasi” shakllantiriladi. Tadqiqotning amaliy ahamiyati shundaki, bunday xarita asosida CO, H_2, etanol bug‘lari yoki NO_2 kabi gazlar uchun mos texnologik rejimlar tanlanib, sensorning sezgirlik-selektivlik-barqarorlik ko‘rsatkichlari birgalikda optimallashtiriladi.

XULOSA

$\boldsymbol{SnO_2}$ yupqa plyonkalarida gaz sezgirlikning asosiy boshqaruv parametri sifatida sirtiy nuqsonlar spektri, ayniqsa kislorod bo‘shliqlari va adsorblangan kislorod shakllari nisbatlari aniqlovchi rol o‘ynashi ilmiy jihatdan asoslandi. Nuqsonlar bir tomondan adsorbsiya va reaksiyalar uchun faol markazlar sonini ko‘paytirib sezgirlikni oshirsa, ikkinchi tomondan bazaviy o‘tkazuvchanlik va ekranlashni o‘zgartirib, javobning nisbiy amplitudasini cheklashi mumkinligi ko‘rsatildi, shu sabab optimal sezgirlik nuqsonlarning maksimal miqdorida emas, balki ularning nazorat qilinadigan muvozanatida yuzaga keladi. Ishlab chiqarish texnologiyasi va mikrostrukturani boshqarish orqali nuqson muhandisligini amalga oshirish selektivlik, javob tezligi va qayta tiklanish barqarorligini birgalikda yaxshilashning samarali yo‘li sifatida umumlashtirildi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Barsan N., Weimar U. Conduction model of metal oxide gas sensors. Journal of Electroceramics. Dordrecht, Springer, 2001. 143–167 p.

2. Yamazoe N., Shimanoe K. Theory of power laws for semiconductor gas sensors. Sensors and Actuators B: Chemical. Amsterdam, Elsevier, 2008. 313–320 p.

3. Comini E. Metal oxide nanowire chemical sensors: innovation and quality of life. Materials Today. Oxford, Elsevier, 2016. 559–567 p.

4. Гулямов З. Г., Эргашев Б. А. Полупроводниковые сенсоры на основе оксидов металлов: физические основы и технологии. Ташкент, Фан, 2018. 220 с.

5. Худайберганов А. А., Набиев Ш. Н. Физика тонких пленок SnO2 и их газочувствительные свойства. Самарканд, СамДУ нашри, 2020. 180 с.

6. Batzill M., Diebold U. The surface and materials science of tin oxide. Progress in Surface Science. Oxford, Elsevier, 2005. 47–154 p.

M U N D A R I J A

№		Bet
1	IKKI PARAMETRLI MITTAG–LEFFLER FUNKSIYASINING ASOSIY XOSSALARI VA KASR TARTIBLI DIFFERENSIAL TENGLAMALARDAGI QO‘LLANILISHI ***Ne'matjonov Furqatjon Farhodjon o‘g‘li***	**6**
2	THE TWO-PARAMETRIC MITTAG-LEFFLER FUNCTION AND ITS SOME PROPERTIES ***Furkatjon F. Nematjonov***	**8**
3	KO‘P KOMPONENTLI KOLLOID SUYUQLIK TOMCHISINING BUG‘LANISHIDA KONVEKSIYA-DIFFUZIYA VA KAPILLYAR OQIMLAR FIZIKASI ***Madaminov Ikromjon Baxtiyor o‘g‘li***	**16**
4	GENERATIV AI YORDAMIDA TEXNIK HUJJATLARNI AVTOMATIK YARATISH TEXNOLOGIYALARI ***Mamirov Diyorbek Rasiljon o‘g‘li***	**22**
5	KOLLOID SUYUQLIK TOMCHISINING KLINOVIDLI DEGIDRATATSIYASIDA FAZAVIY O‘TISH VA STRUKTURA HOSIL BO‘LISHINING FIZIK MEXANIZMLARI ***Madaminov Ikromjon Baxtiyor o‘g‘li***	**31**
6	SnO_2 PLYONKALARINING TURLI GAZLARINI SEZUVCHANLIK XOSSALARIGA SIRTIY NUQSONLARNI TA'SIRI ***Toxirova Mashhuraxon***	**37**
7	HARORAT MAYDONIDA DISTILLANGAN SUV VA NaCl ERITMASI TOMCHILARINING GEOMETRIK EVOLYUTSIYASI VA EVAPORATSIYA KINETIKASI ***Madaminov Ikromjon Baxtiyor o‘g‘li***	**41**
8	KONTAKT BURCHAGI EVOLYUTSIYASI ORQALI KOLLOID TOMCHILARNING CCR, CCA VA ARALASH QURISH REJIMLARINI FIZIK MODELLASHTIRISH ***Madaminov Ikromjon Baxtiyor o‘g‘li***	**44**
9	О СУЩЕСТВОВАНИИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ТИПА ДИРИХЛЕ ДЛЯ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ С ТРЕМЯ СИНГУЛЯРНЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ	**47**