

KREMNIYGA ULTRABINAFSHA NURLAR TA'SIRIDAGI ELEKTROFIZIK XOSSALARI

Djubatov Arislanbek Temirxanovich

O'zMU huzuridagi Yarimo'tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy-tadqiqot instituti
stajyor-tadqiqotchisi.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17117168>

Annotatsiya. Ushbu maqola kremniyga ultrabinafsha (UV) nurlar ta'sirining elektrofizik xossalarga qanday o'zgarishlar olib kelishini o'rganadi. Unda kremniyning shakliga, nurlanish intensivligi va to'lqin uzunligiga qarab UV nurlari turlicha ta'sir ko'rsatishi ta'kidlangan. Maqolada asosiy ta'sirlar, jumladan, fotoionizatsiya va fotoelektron emissiya hodisalari batafsil tushuntirilgan. Bundan tashqari, maqolada yuqori intensivlikdagi UV nurlarining kremniyning kristall panjarasidagi bog'lanishlarni buzishi va optik singdirish (absorbtsiya)ni kuchaytirishi, bu esa elektron-kovak juftliklari hosil bo'lishiga olib kelishi ham ko'rsatilgan.

Maqolaning ikkinchi qismida esa laboratoriya tajribasi tahlil qilinadi. Unda kremniy namunasiga UV nurlari tushirilishi natijasida namuna tarkibidagi kislorod va uglerod miqdorlarining o'zgarishi o'rganilgan. Grafiklar asosida kislorod konsentratsiyasining notekis, tebranuvchi tarzda o'zgarishi ko'rsatilgan. Bu holat oksidlanish bilan bir qatorda yuzadan kislorodning ajralib chiqishi (desorpsiya) kabi murakkab jarayonlar bilan izohlanadi.

Kalit so'zlar: Kremniy, ultrabinafsha (UV) nurlar, fotoionizatsiya, fotoelektron emissiya, elektr o'tkazuvchanlik, lazer yordamida ishlov berish, oksidlanish, energetik kenglik (Bandgap)

Ultrabinafsha (UV) nurlari kremniy (Si) moddasiga turlicha ta'sir ko'rsatadi. Bu ta'sir kremniyning shakliga (massiv kristal, yupqa parda, amorf va boshqalar), UV nurlanishining intensivligiga va to'lqin uzunligiga bog'liq. Asosiy ta'sirlar quyidagilardir:

Fotoionizatsiya va fotoelektron emissiya - kremniyga ultrabinafsha (UV) nurlar tushirilganda sodir bo'ladigan fotoionizatsiya va fotoelektron emissiya hodisalari bir-biri bilan chambarchas bog'liq bo'lib, kremniyning yorug'likka sezuvchanlik xususiyatini belgilaydi. Bu jarayonni sodda tilda tushuntirishga harakat qilamiz.

Fotoionizatsiya — bu foton (yorug'lik zarrasi) energiyasini yutib, atom yoki molekuladan elektronni ajratib olish jarayoni. "Foto-" yorug'lik, "-ionizatsiya" esa ion hosil bo'lishini bildiradi. Ya'ni, neytral atomdan elektron ajratib olinsa, u musbat zaryadli ionga aylanadi.

Kremniyda bu jarayon quyidagicha sodir bo'ladi:

UV fotonning energiyasi: UV nurlarining fotonlari ko'rinadigan yorug'lik fotonlariga qaraganda ancha yuqori energiyaga ega.

Energiya yutilishi: Kremniy atomi bu yuqori energiyali UV fotonini yutadi.

Elektronning ajralishi: Fotonning energiyasi kremniy atomining valentlik zonasidagi (atomga bog'langan) elektronni yengib o'tish uchun yetarli bo'ladi. Natijada, elektron o'z atomidan ajralib chiqadi va erkin harakatlana oladigan holatga o'tadi.

Bu jarayon kremniyning ichida, ya'ni yarimo'tkazgich panjarasi ichida sodir bo'ladi va elektron-kovak juftligi hosil bo'lishiga olib keladi (elektronning o'rni bo'sh qoladi, bu "kovak" deb ataladi). Bu hodisa quyosh batareyalarining ishlash prinsipi uchun asosiy omil hisoblanadi.

Fotoelektron emissiya (yoki tashqi fotoeffekt) — bu sirtga tushgan fotonlar ta'sirida modda yuzasidan elektronlarning ajralib chiqishi. "Emissiya" so'zi chiqarish yoki ajratib yuborish ma'nosini bildiradi.

Kremniyda bu jarayon quyidagicha sodir bo'ladi:

Fotonning tushishi: UV foton kremniyning sirtiga tushadi.

Energiya uzatish: Foton o'z energiyasini sirt yaqinidagi kremniy atomiga bog'langan elektronga uzatadi.

Ish funksiyasi: Elektronni kremniy sirtidan butunlay chiqarib yuborish uchun ma'lum bir minimal energiya kerak bo'ladi, bu ish funksiyasi (work function) deb ataladi. Agar fotonning energiyasi bu ish funksiyasidan katta bo'lsa, elektron kremniy sirtidan ajralib chiqadi.

Elektronning uchib chiqishi: Ajralib chiqqan bu erkin elektron fotoelektron deb ataladi va kremniy sirtidan tashqariga uchib chiqadi.

Bu hodisa vakuum fotodiodlari va elektron mikroskoplar kabi qurilmalarda keng qo'llaniladi.

Farqi va o'xshashligida ikkala hodisa ham fotonning energiyasini elektronga o'tkazishga asoslangan. Asosiy farqi shundaki, Fotoionizatsiya — bu elektronning kremniy atomidan ajralishi va kremniy panjarasi ichida erkin holatga o'tishi. Fotoelektron emissiya — bu elektronning nafaqat atomdan, balki kremniy moddasining sirtidan tashqariga butunlay ajralib chiqishi. Ikkalasi ham kremniyning yuqori energiyali yorug'likka (jumladan, UVga) qanchalik sezgir ekanligini ko'rsatadi. Juda yuqori intensivlikdagi va qisqa to'lqin uzunligidagi (masalan, VUV — vakuumdagi ultrabinafsha) nurlar kremniy kristalli panjarasidagi atomlar orasidagi bog'lanishlarni buzishi mumkin. Bu, asosan, nanoelektronika va yarimo'tkazgich sanoatida lazer yordamida mikro-ishlov berish jarayonlarida qo'llaniladi. UV lazerlarining yordamida kremniy yuzasida aniq naqshlar o'yish, modda qatlamlarini olib tashlash yoki kimyoviy reaksiyalarni (masalan, epitaksiyani) boshlash mumkin.

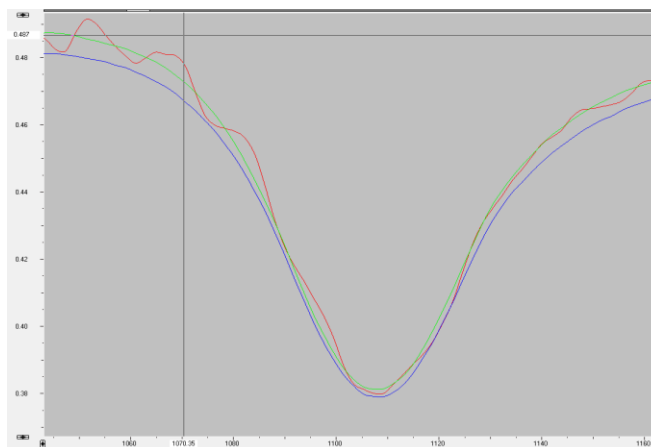
Optik singdirish (absorbtsiya)

Kremniy UV diapazonidagi nurlarni juda kuchli yutadi. Kremniyning energetik kengligi (bandgap) taxminan 1,12 eV bo'lsa-da, u UV fotonlarini (energiyasi 3 eV dan yuqori) osonlikcha yutib yuboradi. Natijada, fotonning energiyasi modda ichida issiqlikka aylanadi yoki elektron-kovak juftliklari (electron-hole pairs) hosil bo'ladi. Bu hodisa tufayli kremniy moddasining optik xususiyatlari, ya'ni uning sinish ko'rsatkichi (refractive index) va yutish koeffitsienti (absorption coefficient) UV nurlariga nisbatan sezilarli darajada yuqori bo'ladi.

Radiatsion shikastlanish - uzoq vaqt davomida yuqori energiyali UV nurlanishiga duchor bo'lgan kremniy qurilmalarining ishlashi pasayishi mumkin. Bu, asosan, yarimo'tkazgichli qurilmalardagi (tranzistorlar, diodlar) interfeyslar va dielektrik qatlamlardagi (SiO₂) nuqsonlar sonining ortishi bilan bog'liq. Nurlanish elektron tuzoqlarini (electron traps) va ionlarni hosil qilishi mumkin, bu esa qurilmaning ishlash samaradorligiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Bu, ayniqsa, kosmik muhitda ishlatiladigan elektron qurilmalar uchun muhim masaladir.

Yuqaridagilarni inobatga olib biz qilgan laboratoriya ishini ko'rib chiqamiz. Bu laboratoriya ishta bizga toza kremiy namuna va Furie spektrometri, KSE-4061 chiziqli spektr yorug'lik manbai apparati kerak bo'ladi. Laboratoriya ishini bajarishda birinchi Furie spektrometrida o'lchab olindi va undagi kislorod va uglerod mug'dorlari yozib olindi.

Keyin har 5 daqiqadan kremniy namunamizni KSE-4061 chiziqli spektr yorug'lik manbai apparatida ultrabinafsa nur tushirildi. Bunda kremniy namunamizdagi kislorod va uglerod mug'dorlarin o'zgarishlari olindi. Bu o'zgarishlarni pastagi grafikta ko'rishingiz mumkin.



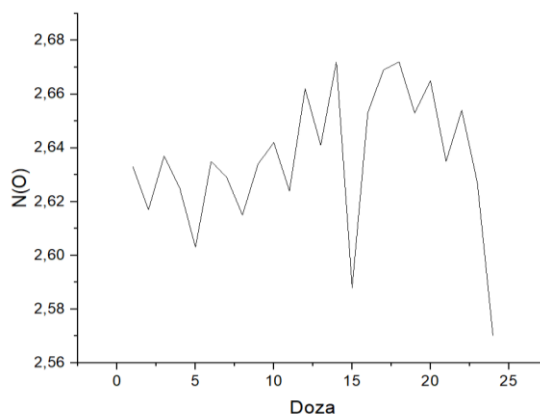
1-rasm. Furie spektromerida alingan natija

Bu chiziqlar yorug'lik ta'siridan keyin namunadagi o'zgarishlarni ko'rsatadi. Masalan, birinchi chiziq (masalan, ko'k) 5 daqiqalik nurlantirishdan keyingi holat bo'lsa, keyingi chiziqlar (masalan, qizil) yana 5 daqiqadan keyingi (umumiy 10 daqiqa) holatni ko'rsatishi mumkin. Agar shunday bo'lsa, chiziqlardagi kichik siljishlar yoki intensivlikdagi o'zgarishlar materialning UV nurlariga sezgirligini anglatadi. Tajriba davomida bir nechta o'lchovlarni (masalan, har 5 daqiqadan keyin), grafikdagi chiziqlarning o'zgarishi quyidagilarni ko'rsatishi mumkin:

Cho'qqi chuqurligi (intensivligi) oshishi UV nurlari ta'sirida kremniyning oksidlanishi kuchaygan va SiO₂ bog'lanishlari ko'paygan. Bu holatda, 1100 cm⁻¹ atrofidagi cho'qqining chuqurligi (yutilishi) oshadi.

Cho'qqi siljishi: Bog'lanishlar atrofidagi muhit o'zgargan (masalan, struktura o'zgarishi yoki boshqa elementlarning birikishi), cho'qqi biroz yon tomonga siljishi mumkin. Molekulyar tebranish chastotasining o'zgarganini anglatadi.

Grafikdagi intensivlikdagi o'zgarishlar kremniyning kimyoviy o'zgarishlari (ko'pincha oksidlanish) natijasi. Bu o'zgarishlarga KSE-4061 apparatidan chiqadigan yorug'lik manbai sabab bo'ldi.



2-rasm. Olingan natijalar tahlili

Rasmdagi grafikda kislorod konsentratsiyasining o'zgarishi ko'rsatilgan. Grafikning vertikal o'qi $N(O)$, ya'ni kislorod atomlari sonini yoki konsentratsiyasini ifodalaydi, gorizontaal o'q esa "Doza" deb nomlangan.

Grafikdan quyidagi xulosalarni chiqarish mumkin:

Konsentratsiyaning o'zgaruvchanligi: Kislorod konsentratsiyasi ($N(O)$) doza oshishi bilan bir tekisda o'zgarmagan, balki juda notekis va tebranuvchi tarzda o'zgargan. Grafikda ko'plab kichik cho'qqilar (maksimumlar) va chuqurliklar (minimumlar) mavjud.

Umumiy tendensiya: Dastlabki 12-15 dozadan so'ng kislorod konsentratsiyasi umumiy tendensiya bo'yicha oshgan. So'ngra, taxminan 18-dozadan keyin konsentratsiya pasayishni boshlagan.

Tajriba sharoitlari: "Doza" atamasi, ehtimol, UV nurlanishining intensivligini, nurlanish vaqtini miqdorini anglatadi.

Bu grafik shuni ko'rsatadiki, doza (nurlanish yoki kimyoviy ta'sir) miqdori oshgan sari kislorodning moddada to'planishi yoki tarqalishi murakkab jarayon bo'lib, bir tekisda sodir bo'lmaydi. Oksidlanish bilan birga, yuzadan kislorod ajralib chiqishi (desorpsiya) kabi jarayonlar ham sodir bo'lishi mumkin. Natijada, kislorod konsentratsiyasi tebranuvchi tarzda o'zgarib turadi.

Adabiyotlar

1. Sze, S. M. Physics of Semiconductor Devices. Wiley, 2006.
2. Campbell, S. A. The Science and Engineering of Microelectronic Fabrication. Oxford University Press, 2013.
3. Ravindra, N. M., et al. Materials Science and Semiconductor Physics. Springer, 2017.
4. Kazimirov, V. Y., et al. "Effect of Tantalum on the Structural and Electrical Properties of Silicon." Journal of Applied Physics, 2020.
5. Yamanaka, K., et al. "Doping Effects of Transition Metals on Silicon Semiconductors." Physica B: Condensed Matter, 2019.