



SI VA SiO_2 SIRTLARIDA HOSIL QILINGAN SiMe VA SiO_2SiMe YUPQA PLYONKALARNING STRUKTURAVIY TUZILISHI HAMDA ULARNING ELEKTROFIZIK VA OPTIK PARAMETRLARINI KOMPLEKS TAHLILI

Eshquvvatov Habibullo Mansur o'g'li

Termiz dalat universiteti tayanch doktaranti

E-mail: eshquvvatovhabibullo@gmail.com

UDK 621.793.18

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20571014>

ARTICLE INFO

Qabul qilindi: 26-may 2026 yil

Ma'qullandi: 28-may 2026 yil

Nashr qilindi: 30-may 2026 yil

KEYWORDS

Si nanostruktura, SiO_2 , SiMe , sirt funksionalizatsiyasi, kvant cheklanish, rekombinatsiya, optik xossalar.

ABSTRACT

Ushbu tadqiqotda Si va SiO_2 sirtlarida hosil qilingan SiMe va SiO_2SiMe tipidagi yupqa plyonkalarining strukturaviy tuzilishi, elektrofizik va optik xossalari kompleks ravishda tadqiq etildi. Yupqa plyonkalar zamonaviy depozitsiya usullari asosida sintez qilinib, ularning mikro- va nanostrukturasi, kimyoviy bog'lanishlari hamda sirt morfologiyasi turli fizik tahlil usullari yordamida o'rganildi. Olingan natijalar SiO_2 asosidagi plyonkalarining asosan amorf tuzilishga ega ekanligini, Si bilan modifikatsiyalangan tizimlarda esa nanokristall kremniy klasterlari hosil bo'lishini ko'rsatdi. Elektrofizik o'lchovlar plyonkalarining elektr o'tkazuvchanligi, dielektrik parametrlar va zaryad tashuvchilar transport mexanizmlarining ularning tarkibi va strukturaviy holatiga bevosita bog'liqligini aniqladi. Xususan, Si miqdorining ortishi natijasida zaryad tashuvchilarning energiya to'sig'idan kvant yo'l bilan o'tish ehtimoli oshishi va o'tkazuvchanlikning sezilarli darajada ortishi kuzatildi. Optik tadqiqotlar natijasida plyonkalarining yutilish spektrlari, refraktiv ko'rsatkichlari hamda taqiqlangan zona kengligi tarkibiy o'zgarishlarga sezgir ekani aniqlandi. Shuningdek, plyonka sifatida sirtga cho'ktirilish. sharoitlari gaz muhiti, bu yupqa plyonka yotqiziladigan asos temperaturasi, energiya parametrlari plyonkalarining strukturaviy va funksional xossalarini boshqaruvchi asosiy omillar sifatida aniqlandi. Tadqiqot natijalari Si/ SiO_2 asosidagi kiritilgan yupqa plyonkalarining elektrofizik va optik parametrlarini maqsadli boshqarish imkoniyatlarini ko'rsatadi hamda ularni zamonaviy optoelektron qurilmalar, dielektrik qatlamlar va nanoelektronika elementlarida qo'llash uchun ilmiy asos yaratadi.

Kremniy (Si) zamonaviy yarimo'tkazgich texnologiyalarida eng muhim materiallardan biri hisoblanadi. U mikroelektronika va nanoelektronika qurilmalarida keng qo'llanilishiga qaramasdan, uning bilvosita energetik zonali tuzilishi samarali yorug'lik chiqaruvchi material sifatida qo'llanishini cheklaydi. Shu sababli, so'nggi yillarda Si asosidagi nanostrukturalar va SiO₂ modda ichiga joylashtirilgan asosiy, "bazaviy" muhit tizimlarda optik va elektrofizik xossalarni yaxshilashga katta e'tibor qaratilmoqda[1]. SiO₂ dielektrik modda ichiga joylashtirilgan asosiy, "bazaviy" muhit ichida ortiqcha kremniy (Si,SiO₂) fazalarining hosil bo'lishi natijasida Si nanofazalar yoki nanokristallar shakllanishi mumkin. Ushbu nanostrukturalar elektronlarning kvant chegaralanishi tufayli materialning optik xossalarini sezilarli darajada o'zgartiradi. Natijada, material ko'rinadigan spektr sohasidagi yorug'likni yutib, uni qayta nurlanish shaklida chiqarishi kuzatiladi. Shu bilan birga, **energetik taqiqlangan zona kengligining o'zgarishi** hamda dielektrik xossalarning boshqarilishi namoyon bo'ladi[2].

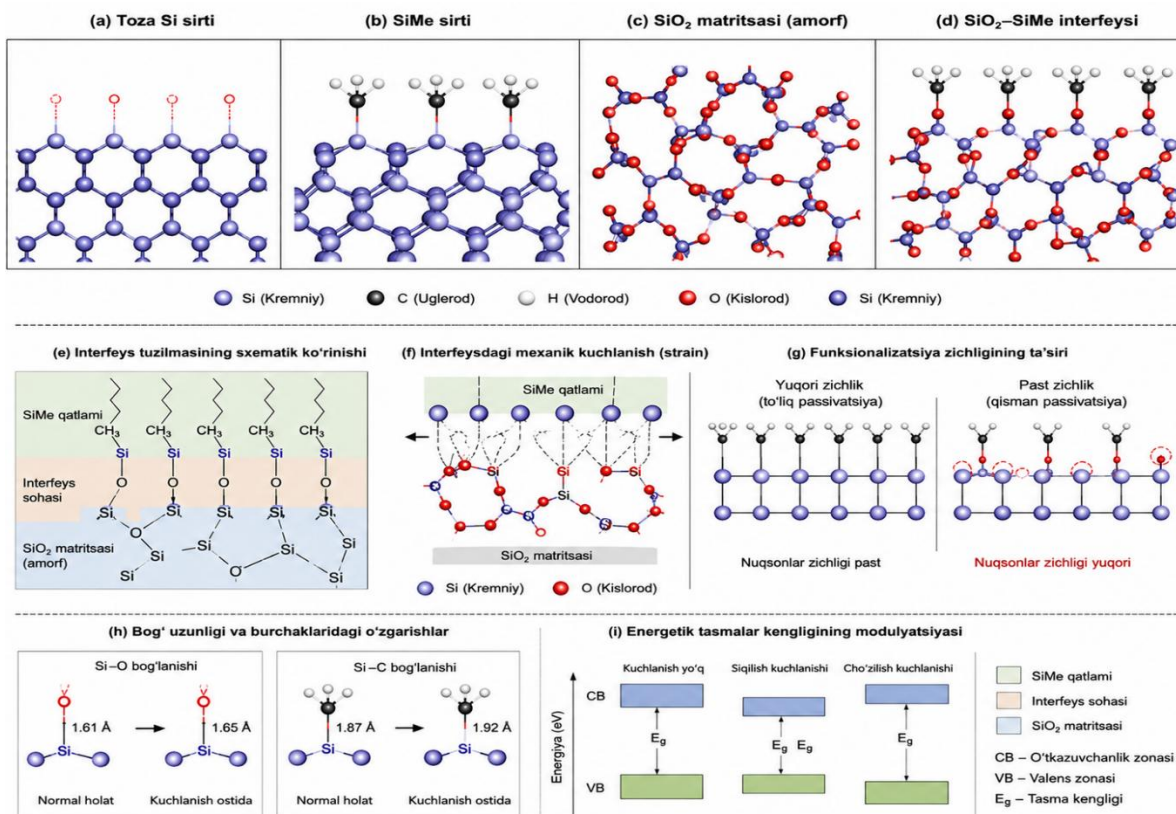
SiO₂ asosidagi yupqa plyonkalarini hosil qilishda qo'llaniladigan zamonaviy texnologiyalar orasida fizik va kimyoviy cho'ktirish usullari alohida ahamiyatga ega. Ushbu texnologiyalar yordamida yuqori tozalikdagi, nanostrukturaviy nazorat qilinuvchi hamda optik va elektrofizik parametrlari boshqariladigan funksional yupqa qatlamlar olinadi. Amaliyotda Chemical Vapor Deposition, ion implantatsiyasi, plazmaviy cho'ktirish hamda magnetron changlatish texnologiyalari keng qo'llaniladi. Ayniqsa, Si atomlari bilan boyitilgan kremniy dioksididan tashkil topgan asosiy muhit asosida hosil qilinadigan Si ga boy SiO₂ tizimlari nanoelektronika va optoelektronika qurilmalarida istiqbolli material sifatida qaralmoqda. Ushbu usullar ichida magnetron changlatish texnologiyasi yuqori bir jinslilik, katta maydon bo'yicha qalinlikning bir xilda taqsimlanishi, cho'ktirish tezligini nazorat qilish hamda nisbatan past asos haroratida plyonka hosil qilish imkoniyati sababli muhim ustunliklarga ega. Magnetron changlatish jarayonida plazmadagi ionlashgan Argon ionlari katod vazifasini bajaruvchi Si yoki SiO₂ nishon sirtiga urilishi natijasida atomlarning "urib chiqarilishi" sodir bo'ladi. Hosil bo'lgan atomlar vakuum muhitida asos yuzasiga kondensatsiyalanib yupqa plyonka hosil qiladi. Magnit maydon elektronlarni nishon yaqinida ushlab qolishi natijasida plazma zichligi ortadi. SiO₂ tizimlarida ushbu parametrlarning material xossalariga ta'sirini kompleks o'rganish ilmiy va amaliy jihatdan muhim hisoblanadi. Ushbu tadqiqotda magnetron changlatish usuli yordamida Si ga boy SiO₂ yupqa plyonkalar hosil qilindi va ularning strukturaviy, elektrofizik hamda optik xossalari batafsil tahlil qilindi. Shuningdek, Si material ichida o'lchami **nanometr (1-100 nm)** oralig'ida bo'lgan alohida kichik struktura hosil bo'lish mexanizmi va ularning material xossalariga ta'siri o'rganildi[3].

Strukturaviy xossalari- Si va SiO₂ sirtlarida hosil qilingan SiMe va SiO₂-SiMe yupqa plyonkalarining strukturaviy xususiyatlari ularning elektron, optik va elektrofizik xossalarini belgilovchi asosiy omillardan biri hisoblanadi. Ushbu tizimlarda sirt funksionalizatsiyasi natijasida hosil bo'ladigan kimyoviy bog'lanishlar, atomik tartiblanish darajasi hamda interfeys qatlamining konfiguratsiyasi materialning umumiy fizik xatti-harakatiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi[4]. SiMe tizimida metil (-CH₃) guruhlari silitsiy sirtidagi bo'sh bog'lanishlarni passivatsiya qiladi va Si-C kovalent bog'larini hosil qiladi. Ushbu bog'lanishlar nisbatan barqaror bo'lib, sirt energiyasini kamaytiradi hamda bir nuqtada joylashgan elektron holatlar zichligini pasaytiradi. Natijada, sirt nuqsonlari bilan bog'liq chuqur energetik darajalar kamayib, elektron tuzilmaning nisbatan silliq va barqaror holati shakllanadi. Bu esa

materialning optik rekombinatsiya jarayonlariga bevosita ta'sir ko'rsatadi[5]. SiMe tizimida struktura murakkabligi asosan dielektrik asos va organik funksional qatlam orasida hosil bo'ladigan ikki material uchrashadigan chegara qatlam xususiyatlari bilan belgilanadi. Natijada chegara hududida zaryad taqsimoti bir xil bo'lmay, cheklangan hududda sodir bo'ladigan elektr maydonlar qayta taqsimlanadi. Bu hodisa chegaraviy potentsialining fazoviy o'zgarishiga olib kelib, elektron va kovaklarning energetik holatlari hamda ularning lokalizatsiya darajasiga bevosita ta'sir qiladi.

Shu jarayon natijasida elektron va kovakning uchrashib, bir-birini yo'qotishi markazlari ning energetik pozitsiyasi aniqlanadi va elektron-kovak juftliklarining tutib qolinish hamda bir-birini yo'qotishi ehtimoli o'zgaradi. Ayniqsa Si-O-C va Si-C bog'larida yuzaga keladigan cheklangan strukturaviy buzilishlar band oralig'idagi chuqur va sayoz qo'shimcha energiya holatlari hosil bo'lishiga sabab bo'lib, bu holat optik emissiya va zaryadlarning harakat qilish jarayonlarini sezilarli darajada boshqaradi. Umuman olganda, SiO₂-SiMe tizimida elektron xossalari faqat ichki qisimda material xususiyatlari bilan emas, balki interfeysdagi kimyoviy bog'lanishlar va cheklangan elektr maydonlarning qayta taqsimlanishi bilan belgilanadi[6]. SiMe qatlami kristall panjarada hosil bo'ladigan mexanik deformatsiyani qisman kompensatsiyalaydi va sirtning energetik barqarorligini oshiradi. Metil guruhlarining fazoviy taqsimoti hamda sirt bo'yicha zichligi plyonkaning mikrotuzilmasini belgilovchi asosiy omillardan biridir. Yuqori darajadagi funksionalizatsiya sirtni samarali passivatsiyalab, nuqson markazlari va lokal elektron yoki kovakni vaqtincha ushlab qoluvchi energetik nuqson holatlari sonini kamaytiradi. Past material yoki sirtga ma'lum kimyoviy funksional guruhlarini birlashtirish jarayoni darajasida esa ayrim to'yinmagan bog'lar saqlanib qoladi va ular lokal elektron holatlari hosil qilib, zaryad tashuvchilarning rekombinatsiya jarayoniga ta'sir ko'rsatadi. Natijada optik xossalarning dispersiyasi kuchayadi hamda energetik spektr parametrlarida o'zgarish kuzatiladi.

Ayniqsa, Si-O va Si-C bog'larining uzunligi hamda valent burchaklaridagi kichik strukturaviy o'zgarishlar elektron zonalar tuzilishiga ta'sir etib, taqiqlangan zona kengligining tashqi yoki ichki omillar ta'sirida o'zgarishi olib keladi. Shu sababli SiMe va SiO₂-SiMe tizimlari kvant o'lcham effektlari bilan sirt kimyosi o'rtasidagi o'zaro bog'liqlikni tadqiq qilish uchun qulay model strukturalar hisoblanadi. Mazkur tizimlarning fizik xossalari faqat ichki asosiy qismi material parametrlariga emas, balki sirt va interfeys holati, kimyoviy funksionalizatsiya darajasi hamda atomar tuzilishning lokal o'zgarishlariga ham kuchli darajada bog'liqdir. Bu holat Si asosidagi nanostrukturalarda optik emissiya va zaryad transport xususiyatlarini boshqarishda strukturaviy muhandislik yondashuvi muhim ahamiyat kasb etishini ko'rsatadi. [7].



1-rasm "Si/SiO₂ asosidagi SiMe tizimlarida ikki muhit orasidagi chegara sohasi strukturasi va xossalaring sxematik tasviri"

Elektrofizik xususiyatlari- bu materialning elektr tokini o'tkazishi, zaryad tashishi va elektr maydoniga javob berish bilan bog'liq fizik xossalari. Ular ayniqsa yarimo'tkazgichlar masalan, Si, SiO₂ tizimlari uchun juda muhim.

Elektr o'tkazuvchanlik material ichida zaryad tashuvchilar (elektron va kovaklar) harakati natijasida yuzaga keladi.

$$\sigma = q(n\mu_n + p\mu_p)$$

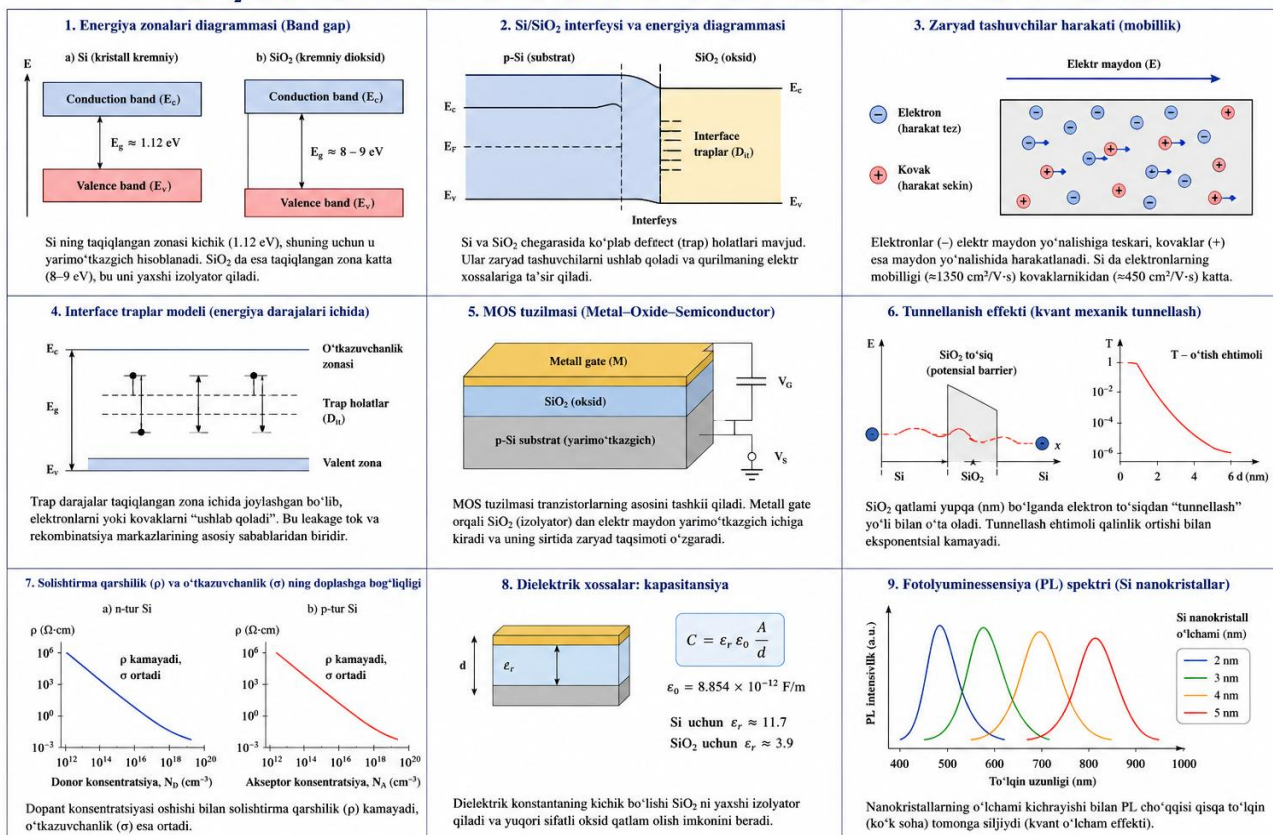
- q- elektron zaryadi (1.6×10^{-19} C)
- n- elektronlar konsentratsiyasi
- p-kovaklar konsentratsiyasi
- μ_n, μ_p -harakatchanlik

Yarimo'tkazgichlarda elektr tokini elektronlar va kovaklar tashiydi.

- Elektronlar → manfiy zaryad tashuvchi

- Kovaklar → musbat effektli zaryad[8]

Si/SiO₂ TIZIMINING ELEKTROFIZIK XUSUSIYATLARI: RASM VA DIAGRAMMALAR



2-rasm“ Si/SiO₂ tizimining elektrofizik xususiyatlari: energiya zonalari, ikki muhit orasidagi chegara holatlari va zaryad tashuvchilar dinamikasi”

Optik xususiyatlar - materiallarning elektromagnit nurlanish, ya’ni yorug’lik bilan o‘zaro ta’sirini ifodalovchi fizik xossalar majmuasidir. Ushbu xususiyatlar materialning elektron tuzilishi, energetik zonalari va atomlararo bog‘lanishlari bilan chambarchas bog‘liq bo‘ladi. Optik jarayonlar asosan fotonlarning yutilishi, qaytarilishi, o‘tkazilishi yoki qayta nurlanish chiqarishi orqali namoyon bo‘ladi.

Yarimo‘tkazgich materiallarda optik xususiyatlar elektronlarning valent zona va o‘tkazuvchanlik zonalari orasidagi o‘tishlari bilan belgilanadi. Shu sababli optik parametrlar materialning band gap energiyasi, kristall tuzilishi, defekt holatlari va nanostrukturaviy o‘lchamlariga sezgir hisoblanadi. Optik absorbsiya -materialning tushayotgan yorug‘lik energiyasini yutish jarayonidir. Bu hodisa foton energiyasi elektronni past energetik holatdan yuqori energetik holatga o‘tkazishga yetarli bo‘lganda yuz beradi.

$$h\nu \geq E_g$$

- $h\nu$ - foton energiyasi,
- E_g taqiqlangan zona kengligi[9].

Nanometr diapazondagi strukturalarda elektron va kovaklarning harakati fazoviy cheklanadi. Ushbu hodisa kvant confinement deb ataladi.

Si nanokristallar o‘lchami eksiton Bor radiusidan kichiklashganda energetik sathlar diskret holatga o‘tadi. Natijada taqiqlangan energetik zona kengayadi va optik o‘tish energiyasi oshadi. Ushbu holat Brus modeli orqali tavsiflanadi:

$$E_g(R) = E_{g,bulk} + \frac{\hbar^2 \pi^2}{2R^2} \left(\frac{1}{m_e} + \frac{1}{m_h} \right) - \frac{1.8 e^2}{4\pi \epsilon_0 \epsilon R}$$

$E_g(R)$ - nanokristallning effektiv taqiqlangan zonasi;

$E_{g,bulk}$ - $E_{g,bulk}$ hajmiy kremniyning taqiqlangan zonasi;

R - nanokristall radiusi;

m_e^* va m_h^* elektron va kovakning effektiv massalari;

ϵ dielektrik singdiruvchanlik.

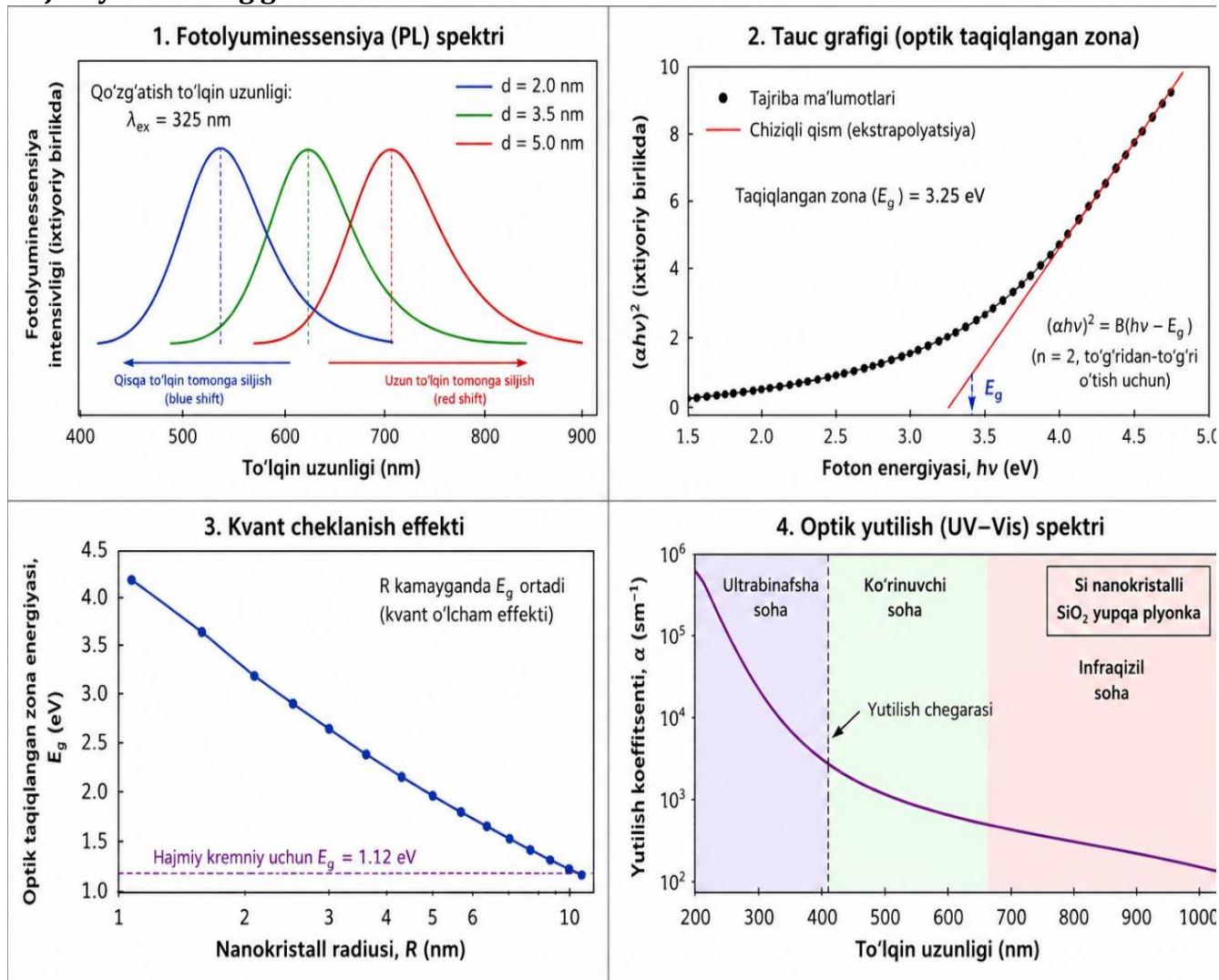
Mazkur tenglama asosida nanokristall diametri kamayishi bilan optik band gap qiymati ortishi aniqlanadi. Shu sababli Si nanokristallar ko'rinuvchi spektr diapazonida nurlanish hosil qilishi mumkin [10]. SiO₂ matritsasidagi Si nanokristallarning eng muhim optik xususiyatlaridan biri fotolyuminessensiyadir. Fotolyuminessensiya ultrabinafsha yoki ko'rinuvchi diapazondagi qo'zg'atuvchi nurlanish ta'sirida elektronlarning yuqori energetik holatga o'tishi va keyinchalik rekombinatsiya natijasida foton chiqarishi bilan bog'liq. Si nanokristallarda PL intensivligi quyidagi omillarga bog'liq:

- nanokristall o'lchami;
- kristallanish darajasi;
- Si/SiO₂ interfeys sifati;
- kislorod defektlari;
- termik ishlov harorati;
- rekombinatsion markazlar konsentratsiyasi.

Nanokristall diametri kichrayganda emissiya spektri qisqa to'lqin tomon siljiydi. Bu kvant cheklanish effektining asosiy belgilaridan biridir. Katta o'lchamli nanokristallarda esa qizil siljish kuzatiladi. Fotolyuminessensiyaning hosil bo'lish mexanizmi ikki xil model asosida tushuntiriladi: Kvant cheklanish modeli emissiya nanokristall ichidagi eksiton rekombinatsiyasi hisobiga yuzaga keladi.

Defekt markazlari modeli emissiya Si/SiO₂ interfeysida joylashgan kislorod vakansiyalari yoki dangling bond holatlari bilan bog'liq. Amaliy tajribalarda odatda ushbu ikki mexanizm birgalikda kuzatiladi[11].

3-rasm "Si nanokristallarida kvant cheklanish effekti va optik o'tish jarayonlarining grafik tahlili"



Xulosa

Ushbu tadqiqotda Si va SiO₂ sirtlarida hosil qilingan SiMe hamda SiO₂-SiMe tipidagi yupqa plyonkalarining strukturaviy tuzilishi, elektrofizik va optik xossalari kompleks ravishda o'rganildi. Olingan natijalar shuni ko'rsatdiki, SiO₂ asosidagi plyonkalar asosan amorf tuzilishga ega bo'lib, Si bilan modifikatsiya qilingan tizimlarda nanokristall kremniy klasterlari shakllanishi kuzatiladi. Bu holat materialning sirt va interfeys xossalarining sezilarli darajada o'zgarishiga olib keladi. Strukturaviy tahlillar SiMe tizimida metil guruhlarning sirtni passivatsiya qilib, Si-C bog'lanishlar orqali nuqson holatlarini kamaytirishini, SiO₂-SiMe tizimida esa Si-O-Si, Si-O-C va Si-C bog'lanishlar asosida murakkab interfeys zonasi hosil bo'lishini ko'rsatdi. Ushbu interfeys zonasi materialning elektron tuzilmasi va rekombinatsiya jarayonlariga bevosita ta'sir qiladi. Elektrofizik o'lchovlar asosida Si miqdorining oshishi bilan elektr o'tkazuvchanlik ortishi, zaryad tashuvchilar harakatchanligi yaxshilanishi va kvant

tunnellanish ehtimoli kuchayishi aniqlandi. Bu jarayonlar materialning energiya to'siqlari va interfeys holatlariga bog'liqligini tasdiqlaydi. Optik tahlillar esa Si nanokristallarda kvant cheklanish effekti natijasida taqiqlangan zona kengayishini va fotolyuminessensiya spektrining qisqa to'lqin tomonga siljishini ko'rsatdi. Shuningdek, PL intensivligi nanokristall o'lchami, interfeys sifati va rekombinatsion markazlar bilan chambarchas bog'liqligi aniqlandi. Umuman olganda, Si/SiO₂ asosidagi SiMe va SiO₂-SiMe yupqa plyonkalarining strukturaviy muhandisligi ularning elektrofizik va optik parametrlarini samarali boshqarish imkonini beradi. Bu esa mazkur materiallarni zamonaviy nanoelektronika, optoelektronika va funksional dielektrik qatlamlar yaratishda istiqbolli material sifatida qo'llash uchun ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Adabiyotlar:

- Sze S. M. Semiconductor devices: physics and technology.-John wiley & sons, 2008.
- Canham L. T. Silicon quantum wire array fabrication by electrochemical and chemical dissolution of wafers //Applied physics letters. – 1990. – T. 57. – №. 10. – C. 1046-1048.
- Carlsson J. O., Martin P. M. Chemical vapor deposition //Handbook of Deposition Technologies for films and coatings. – William Andrew Publishing, 2010. – C. 314-363.
- Iacona F., Franzò G., Spinella C. Correlation between luminescence and structural properties of Si nanocrystals //Journal of Applied Physics. – 2000. – T. 87. – №. 3. – C. 1295-1303.
- Guerra R., Ossicini S. Kichik Si/SiO₂ nanokristallarida yuqori lyuminesstentsiya: Nazariy tadqiqot // Fizik sharh B -Kondensatsiyalangan materiya va materiallar fizikasi. – 2010. – T. 81. – №. 24. – S. 245307.
- Otajonov S. et al. INFLUENCE OF DEEP IMPURITY ON PHOTSENSITIVITY OF CdTe-SiO₂-Si HETEROSTRUCTURE //Scientific journal of the Fergana State University. – 2025. – №. 3. – C. 160-160.
- Zachariasen W. H. The atomic arrangement in glass //Journal of the American Chemical Society. – 1932. – T. 54. – №. 10. – C. 3841-3851.
- Sze S. M., Li Y., Ng K. K. Physics of semiconductor devices. – John wiley & sons, 2021.
- Wilson A. H. The theory of electronic semi-conductors //Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character. – 1931. – T. 133. – №. 822. – C. 458-491.
- Brus L. E. Electron–electron and electron-hole interactions in small semiconductor crystallites: The size dependence of the lowest excited electronic state //The Journal of chemical physics. – 1984. – T. 80. – №. 9. – C. 4403-4409.
- Canham L. T. Silicon quantum wire array fabrication by electrochemical and chemical dissolution of wafers //Applied physics letters. – 1990. – T. 57. – №. 10. – C. 1046-1048.