

KREMNIYDA TERMODONORLARNING MODELLARI

Boltayev Diyorbek Axmedovich*Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti*

Annotatsiya. Kremniyda termodonor-I (TD-I) ning paydo bo'lishining mavjud mexanizmlari qiyosiy bayon qilingan. Kremniyning elektr o'tkazuvchanligiga kislorodning ta'sir mexanizmi haqida ilmiy adabiyotlarda keltirilgan ma'lumotlar muhokama qilingan. Kremniyda paydo bo'luvchi termodonorlarning tabiati, strukturasini to'g'risidagi dunyo olimlari tomonidan taklif etilgan modellar keltirilgan.

Kalit so'zlari: termodonor, vakansiya, kislorod-vakansiya, qattiq aralashma, silitka, termik ishlov, generatsiya, diffuziya, legirlash, kremniy, kislorod, kompleks.

Yarimo'tkazgichli elektronikaning asosiy baza elementi sifatida kremniy kristalli qo'llaniladi. Yarimo'tkazgichli elektron asboblarni tayyorlash jarayonida ularga turli xil termik ishlovlar berish bilan texnologik jarayonlar amalga oshiriladi. Xususan, kremniyga turli xil termik ishlovlar berilganda uning hajmida termik nuqsonlar paydo bo'lib, ular kremniy asosida tayyorlanadigan asboblarning elektrofizik va rekombinatsion xossalari salbiy ta'sir ko'rsatadi. Kremniyga termik ishlovlar berilganda paydo bo'luvchi termodonorlarni butun dunyodagi soha mutaxassislari tomonidan o'rganilib ularni 3 xil termodonorlarga ajratishadilar: TD-1, TD-2, TD-3. Ushbu maqolada TD-1 ning paydo bo'lish mexanizmlari va modellari keltirilgan.

KREMNIYNING ELEKTR O'TKAZUVCHANLIGIGA KISLORODNING TA'SIR MEXANIZMI HAQIDA

Kremniyda erigan kislorod uining elektr o'tkazuvchanligiga ta'sir ko'rsatmaydi, ammo tarkibida kislorod bo'lgan monokristallarga termik ishlov berilganda ma'lum bir temperaturalarda kislorodning kremniy bilan bog'lanish hosil qilishiga olib kelishi mumkin. Termik ishlov berishning ta'sir xarakteriga qarab elektr jihatdan faol markazlarning generatsiyasini ikki xil temperatura oralig'iga ajratish mumkin: 350-500 °S va 600-800 °S.

Biz 350-500 °S temperatura oralig'ida paydo bo'luvchi termik markazlarni qarab chiqamiz. Kremniyda 350-500 °S temperatura oralig'ida termodonorlarning paydo bo'lishini birinchi bo'lib Fyullyer aniqlagan [1]. Keyinchalik termodonorlarning paydo bo'lishi to'g'risidagi ilmiy tadqiqot ishlari natijalari asosida Kayzer o'z modelini yaratdi. Shu model asosida 350-500 °S temperatura oralig'ida paydo bo'luvchi termodonorlarning harakterli tomonlarini aniqlash imkoniyati paydo bo'ldi:

1. Kremniyda erigan kislorod undagi termodonorlarning paydo bo'lishida asosiy rol o'ynaydi.

2. Choxralskiy usuli bilan o'stirilgan kremniyda kislorodning konsentrasiyasi taxminan $1,5 \cdot 10^{18}$

sm^{-3} ga teng bo'lib, quymani sovutish jarayonida o'ta to'yingan kislorodli qattiq aralashma hosil bo'ladi.

3. Termodonorlar paydo bo'lishining boshlang'ich tezligi kislorod konsentrasiyasining 4-chi darajasiga to'g'ri proporsional bo'ladi.

4. Termodonorlarning maksimal konsentrasiyasi kislorod konsentrasiyasining 3-chi darajasiga to'g'ri proporsional bo'ladi.

5. Termik ishlov berish jarayonida SiO_4 komplekslaridan tashqari 4 tadan kam ishtirok etuvchi uyg'ongan donorli markazlar oilasi paydo bo'ladi.

6. 500°C dan yuqori temperaturalarda termodonorlar konsentrasiyasining kamayishi kuzatiladi.

Tajribalar natijasi asosida Kayzer o'z hammualliflari bilan termodonorlar generatsiyasi haqida o'z modelini yaratdi. Bu model hozir fanda Kayzer modeli deb nom olgan [2]. Kayzer modeliga ko'ra 350-

500°S temperatura oralig'ida paydo bo'luvchi termodonorlar turg'un SiO –tetraedr shaklidagi 4 komplekslar bo'lib hisoblanadi. Tarkibida kislorod mavjud bo'lgan kremniyga $350\text{--}500^\circ\text{S}$ temperatura oralig'ida termik ishlov berish kremniyning taqiqlangan zonasida mayda donorli energetik sathlarning

paydo bo'lishiga olib keladi. Bu energetik sathlar turli mualliflar tomonidan ($E_C \approx 0.13 \text{ eV}$ va $E_C \approx 0.16 \text{ eV}$) aniqlangan. Ko'pchilik mualliflarning fikricha $E_C \approx 0.16 \text{ eV}$ energetik sath SiO_4 komplekslarning hosil bo'lishi bilan $E_C \approx 0.08 \text{ eV}$ donorli mayda energetik sathlarni esa kislorod-kremniyli polimerlarning paydo bo'lishi bilan bog'liq, deb hisoblaydilar. Bularidan tashqari [3] da bu sathlar issiqlik nuqsonlarining bir karra va ikki karra zaryadlangan holatlari bilan bog'liq, degan fikrlarni bayon qilishgan.

Kayzer modeli TD hosil bo'lish mexanizmi to'g'risida mulohaza qiladi, ammo SiO_4 kompleksning donorli xossalari haqida hech qanday tushuntirish bermaydi. SiO_4 kompleksning donorli xossasini tushuntirish uchun birinchi marta fransuz olimi J. P. Syushe [4] harakat qilgan va 450°S da kompleks hosil bo'lishining bir nechta variantlarini ko'rib chiqqan. Shulardan eng ehtimoli kattasi 1 zaryadli O_4 dir. Bu donor-ion-molekula bo'lib, vakansiya va qo'shni tugun orasida joylashgandir. O_4 kompleksining 1 ta kislorod atomi tugunda joylashgan bo'lib $+2e$ zaryadlangan. Kislorod atomining bu holatda stabil bo'lishi uni o'rab turgan 3 ta manfiy zaryadlangan tugunlar orasida joylashgan kislorod atomlari hisobiga bo'ladi. Syushe fikriga ko'ra, kislorodli komplekslarning yuqori tartiblilari neytral markazlardek tutishi kerak. Bu fikr Kayzer modeliga mos tushadi.

Kayzer o'z modelini ishlab chiqishda kislordning boshqa kirishmalar bilan o'zaro ta'sirini hisobga olmagan. Shu bilan birga bir qator ishlarda kremniyda kirishmalar

bo'lganda [2] dagi modeldan chetlanishlar kuzatiladi. [2, 5] ishlarda 350-500⁰S temperatura oralig'ida termodonorlar generatsiyasiga uglerodning ta'siri bo'ladi va u sekinlashtiradi, deyilgan.

Termodonorlar paydo bo'lishiga akseptorli kirishmalarning (*Al, B, Ga*) ta'siri Fuller va uning hammualliflari tomonidan o'rganilgan va birinchi marta akseptor markazlarining termodonorlar generatsiyasini sezilarli darajada tezlashtirishi kuzatilgan. Mualliflar turli xil temperaturalarga stabil bo'lgan kamida 2 xil donorli markazlar mavjudligini aytishgan: $t > 500^0\text{S}$ da noturg'un bo'lgan SiO va 4 ancha turg'un bo'lgan SiO_4 akseptorli kirishmalar bilan hosil qilgan komplekslar. Ammo ular ham bu fikrlarni tasdiqlovchi biror bir tajriba natijalarini yoki nazariy fikrlarni keltirmagan, termodonorlar generatsiyasiga akseptor yoki donorli kirishmalarning ta'siri ham o'rganilmagan. Bu masalani [6] ish mualliflari ancha yaxshi muhokama qilishgan va quyidagi fikrlarni bayon etgan:

- termodonorlarning hosil bo'lish kinetikasi *n-Si* da Kayzer modeliga bo'ysinadi. Bunda asosiy kiritilayotgan kirishma fosfor konsentratsiyasining TD generatsiyasiga ta'siri sezilmagan.

- akseptorli kirishma konsentratsiyasi juda yuqori bo'lmagan (V) *p-Si* da TD generatsiyasi *n-Si* niki kabi bo'ladi. Borning konsentratsiyasi oshishi bilan TD hosil bo'lishining boshlang'ich tezligi va konsentratsiyasi birdaniga oshib ketadi. Bor bilan legirlangan *p-Si* ga 350-500 ⁰S temperatura 2□ □ oralig'ida termik ishlov berilganda SiO_4 TD bilan birga bir zaryadli O B TD ham paydo bo'lishi mumkin. SiO_4 dagidek, TD ning yangi shakli bu tugunda o'tirgan kislorod atomi va qo'shni akseptor kirishma atomi bilan stabil holatda bo'lishi mumkin.

Chuqur energetik sathlar hosil qiluvchi markazlarning TD lar paydo bo'lishiga ishtirok etish imkoniyati to'g'risida Graffning ishlarida [7] aytilgan. Bunday fikrlar 350-500⁰S temperatura oralig'ida *Si* ga termik ishlov berilganda asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning yashash vaqtiga ta'sirini tadqiq qilish natijalari asosida paydo bo'ldi. 450⁰S da uzoq vaqt termik ishlov berish zaryad tashuvchilarning yashash vaqtining oshishiga, 550-600⁰S da termik ishlov berilganda esa kamayishiga olib keladi. 450⁰S da termik ishlov berilganda zaryad tashuvchilarning yashash vaqtining oshishi bilan bir qancha yutilish polosalarining (9-30 *mkm*, $T = 80\text{ K}$ da) paydo bo'lishi kuzatilgan. Bu polosalarning intensivligi 350- 500⁰S da termik ishlov berish davomiyligiga va kislorodning konsentratsiyasiga bog'liq.

Kremniy tarkibida ba'zi bir kirishmalar mavjud bo'lganda hamda kremniyga 350-500⁰S da termik ishlov berilganda qo'shimcha elektr jihatdan faol markazlarning paydo bo'lishi [8] ish mualliflarining fikrini Kayzer modeliga nisbatan o'zgarishiga asos bo'ldi va ular past temperaturali TD, ularning paydo bo'lish mexanizmlari va tabiati to'g'risidagi yangi gipotezani oldinga surdilar.

KREMNIYDA TERMODONORLARNING PAYDO BO‘LISHI TO‘G‘RISIDAGI MODELLAR.

TD-I ning paydo bo‘lishi kinetikasini o‘rganish borasida elektr, optik va paramagnit xossalarini o‘rganishga bag‘ishlangan tajriba natijalariga asoslanib TD-I strukturasini aniqlashga imkon beruvchi bir qator modellar taklif qilingan.

Kayzer, Frish va Riis modeli. Tarixan bu model TD-I hosil bo‘lish kinetikasining xossalarini muvoffaqiyatli ravishda tushintirib beruvchi model hisoblanadi. Kremniyda kislorodning to‘yingan qattiq aralashmasida kislorod bilan kompleks hosil qilish reaksiyasiga asoslanib, mualliflar shunday xulosaga

kelishdilar, TD-I - bu kislorodli kompleks SiO_4 dir. Kayzer va boshqalar SiO_4 kompleksining faol

donorli tabiatini tushintirib bera olmadilar. Shunga qaramasdan tajribada aniqlangan tugunlar aro joylashgan kislorodning diffuziya koeffisienti shunchalik kichikki, Kayzer tasavvuri asosida TD-I ning hosil bo‘lish kinetikasini miqdor jihatdan izohlab bo‘lmaydi. Kayzer modeli TD-I ning ko‘p shakilligini tushintirishda ham qiyinchilikka olib keladi [2].

Gyozel va Tan modeli. Mualliflar bundan oldingi modellarning kamchiliklarini aynan qayd qiladilar: tugunlar aro kislorodning diffuziya koeffisienti juda kichik bo‘lganligi sababli SiO_4 kompleksning donorlik tabiatini namoyon qilish ehtimolligi juda kichik. Bundan tashqari SiO_4 komplekslarining donor faolligini tushintirish qiyin.

Gelmrayx va Sirtllar o‘z modellarida bu kamchilikni inobatga olishgan va TD-I sifatida vakansiya-tugundagi kislorodⁿ atomi ($\text{O}^\square \text{V}^\square$) komplekslar hosil qiladi, deb qaragan. Bu model haqiqatdan

ham donorlik faolligini tushintiraolgan, ammo TD-I ning hosil bo‘lish kinetikasi xossalarini tushintirib beraolmagan. Bundan tashqari chuqur energetik sathlar spektroskopiyasi metodi yordamida elektron nurlantirish yordamida hosil qilingan qo‘shimcha vakansiyalar TD-I larning maksimal konsentratsiyasini oshirmaydi. Shuning uchun TD-I tarkibiga vakansiya kirmaydi, deb hisoblash mumkin.

ADABIYOTLAR

1. Fuller. C.S., Dilzenberger J.A., Hanny N.B., Buehler E. Resisitivity Changes in Silicon Induced by Heat Treatment // Phys. Rev.1954.V.96. №3. P 833.
2. Kaiser I.I., Frisch H., Reiss H. Mechanism of the Formation of Donor States in Heat-Treated Silicon // Phys. Rev.-1958.-V.112, N 5.-P. 1546-1554.
3. Литовченко А.Г., Макаренко Л.Ф., Мурын Л.И., О термодонорах в кремнии // Тез. докл. IV Всесоюз. конф. по физико-химическим основам легирования полупроводниковых материалов. М., 1979. с.195
4. Suchet J. P. Sur le role de l'oxygem dans les cristaux de silicium // J. Chine. Phys.-1961.-V.58, N 3.-P. 455-463.

5. Hrostowski H.J., Kaiser R.H. Infrared Spectrum of Heat Treatment Centers in Silicon // Phys. Rev. Lett. 1958. V. 1. №6. P. 199-200.
6. Батвин В.В., Сальник Е.А. Влияние акцепторов на генерацию термодоноров в кремнии, содержащем кислород // Электрон. техника. Сер. IV. Материалы. 1980. №5. с. 42-45.
7. Graff K., Pieper H. The Carrier Lifetime of Heat-Treated Silicon Crystals // J. Electron. Mater. 1975.V. 4. №2. P. 281-298.
8. Helmreich D., E. Sirtl. Oxygen in Silicon: A Modern View // In: Semiconductor Silicon 1977, edited by H.R.Huff and E.Sirtl (Electrochemical Society, Pennington, New Jersey, 1977).-P. 626-636.
9. Gosele U., Tan T. Y. Oxygen Diffusion and Thermal Donor Formation in Silicon // Appl. Phys. A.-1982.-V.28, N 1.-p. 79-92.
10. Pajot V., Compain H., Lerouille J., Clerjaud B. Spectroscopic Studies of 450°C Thermal Donors in Silicon // Physica B+C.-1983.-V. 117-118.-p. 110-112.
11. Newman R. C, Oates A. S., Livingston F. M. Self-interstitials and Thermal Donor Formation in Silicon: New measurements and a Model for the Defects // J. Phys. C: Solid State Phys.-1983.- V.16, N 19.-P. L667-L674.