

MARGANETS BILAN LEGIRLANGAN KREMNIYDA MANFIY MAGNIT QARSHILIK

M.X.Madjitov – mustaqil tadqiqotchi

I.A.Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti

Tayanch soʻzlar: kremniy, magnit yarimoʻtkazgich, marganets nanoklastlarlar, magnit qarshilik.

Ключевые слова: кремний, магнитный полупроводник, нанокластеры марганца, магнитное сопротивление.

Key words: silicon, magnetic semiconductor, manganese nanoclusters, magnetic resistance.

Kirish. Yangi magnit maydonini sezuvchi yarimoʻtkazgich materiallarni olish texnologiyasini ishlab chiqish va ularning xususiyatlarini oʻrganish nafaqat spintronika, fotomagnetika, magnitoptika ilmiy yoʻnalishlarini yanada rivojlantirish va yarim oʻtkazgichlarning magnit xususiyatlari bilan bogʻliq yangi fizik hodisalarni kashf qilish, balki bunday materiallarni zamonaviy elektronkada qoʻllash koʻlamini sezilarli darajada kengaytirish, shuningdek, sodir boʻlayotgan fizik jarayonlarni chuqurroq tushunish imkonini beradi.

Shu bilan birga, kremniy kristali matritsada uning fazasi va kimyoviy tarkibini buzmadan holda magnit nanoklastlarni shakllantirish va oʻrganish alohida ilmiy va amaliy ahamiyatga ega. Chunki, bir tomondan, kremniy zamonaviy elektronikaning asosiy materialidir va ushbu material asosida olingan natijalarni amaliy qoʻllashni sezilarli darajada tezlashtiradi. Boshqa tomondan, parametrlari va konsentratsiyasi boshqariladigan magnit nanoklastlarni shakllantirish nanostrukturallik kremniyning magnit xususiyatlarining yangi, oʻrganilmagan qirralarini ochib beradi va ulardan elektromagnit va fotomagnit qurilmalarning tubdan yangi avlodini yaratish va ishlab chiqish imkonini beradi.

Nazariy tahlil. Kristal panjarada paramagnit kirishma atomlarining magnit nanoklastlarini hosil qilish orqali yarimoʻtkazgichlarning magnit xususiyatlarini boshqarish yangi ilmiy yoʻnalishdir.

Shu munosabat bilan, kremniydagi marganets kirishma atomlarining holatlarini oʻrganish katta ilmiy qiziqish uygʻotadi. Bunday qiziqish, birinchidan, marganets atomlarining katta spinli $3d5s2$ elektron tuzilishga ega boʻlgan paramagnit kirishma ekanligi, ikkinchidan, $Mn^{++}(3d5)$ holatidagi marganets atomi ancha kichik ion radiusiga ($0,96 \text{ \AA}$) ega ekanligi bilan bogʻliq, bu qiymat Si kristall panjarasidagi oraliq boʻshligʻidan kichikroq ($1,77 \text{ \AA}$). Shuning uchun kremniy tarkibidagi marganets atomlari asosan kristall panjara oraliqlaridagi boʻshliqlarda joylashgan va ancha katta diffuziya koeffitsientiga ega. Kremniy kristall panjarasidagi marganetsatomlarining ushbu asosiy parametrlari klasterlarning shakllanishini ragʻbatlantiradi. Haqiqatan ham, elektron paramagnit rezonans (EPR) usulidan foydalanilgan holda [1-3] da koʻrsatilganidek, kremniy kristall panjarasida maʼlum legirlash sharoitida qoʻshni eng yaqin ekvivalent oraliqlarda joylashgan 4ta marganets atomidan iborat klasterlar paydo boʻlishi mumkin.

Nanotexnologiyaning rivojlanishi, ayniqsa holati, tarkibi va kristallning hajmida taqsimlanishi boshqariladigan kirishma atomlarining nanoklastlarini hosil qilish texnologiyasini ishlab chiqish, kirishma atomlarining asosan kristall panjara boʻshliqlari orqali tarqalish mexanizmi zarurligini koʻrsatadi. Kirishma atomlarining faqat kristall panjaradagi oraliqlar orqali diffuziyasiga ularning holatini, oʻzaro va nuqsonlar bilan taʼsirini, eng muhimi, maʼlum termodinamik sharoitlarda turli tuzilish va tarkibga ega boʻlgan nanoklastlarni hosil qilish imkonini beradi [4-6]. Panjara tugunlarida kirishma atomlari klasterlarining shakllanishi nafaqat ularning diffuziya koeffitsienti, balki bir vaqtning oʻzida yetarli miqdordagi kristall panjara tugunlaridagi boʻsh oʻrinlarining shakllanishi bilan ham cheklangan. Kirishma atomlari kristall panjara oraliqlarida joylashganda katta diffuziya koeffitsientiga ega boʻlganligi tufayli ularning klasterlarni hosil qilish imkoniyati sezilarli darajada tezlashadi, bu jarayon kristall panjarani qayta tashkil etishni va yuqori energiyani talab qilmaydi [7].

Tajriba natijalari. Kristall panjara boʻshliqlari orqali diffuziyani amalga oshirish mumkin boʻlgan usullardan biri

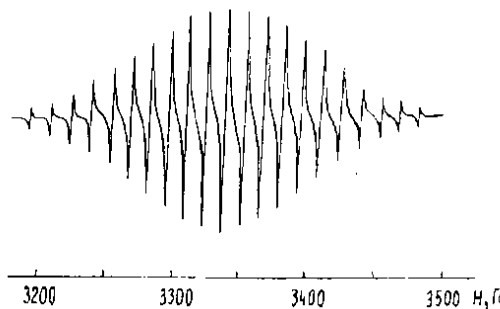
past haroratli va bosqichli diffuziyani amalga oshirishdir. Past haroratli diffuziya deganda shunday diffuziya jarayonini tushunish kerakki, bunda kristall panjara tugunlaridagi boʻsh oʻrinlarining termik muvozanat konsentratsiyasi (N_v) panjara ichiga kiritilgan kirishma atomlari konsentratsiyasi (N) dan sezilarli darajada kam boʻlishi kerak. Boshqacha qilib aytganda, kristall panjara tugunlari boʻsh oʻrinlaridagi yoki komplekslardagi kirishma atomlarining konsentratsiyasi (N_S) kristall panjara oraliqlaridagi kirishma atomlari konsentratsiyasi (N_i) dan sezilarli darajada kam boʻlishi kerakligini anglatadi.

Boshqa tomondan, kirishma atomlarining kristall panjara oraliqlaridagi mavjud potensial toʻsiqni yengib oʻtib, bir oraliq holatdan ikkinchisiga oʻtishi uchun diffuziya harorati, yaʼni diffuziyani faollashtirish energiyasi E_a yetarli boʻlishi kerak.

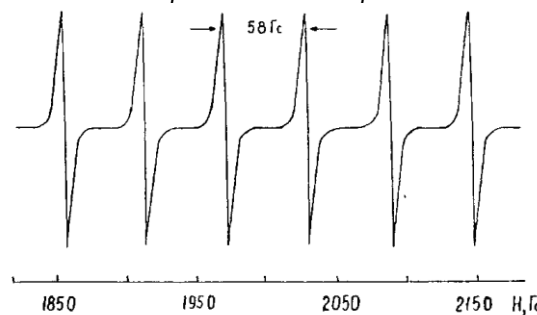
Marganets atomlarining kremniyga past haroratli diffuziyasi sharoitida nafaqat sirtida eroziya va sirt yuzasiga yaqin qatlamlarda silitsidlar hosil boʻlmaydi, balki kremniyga kiritilayotgan kirishma atomlarining kerakli konsentratsiyasini istalgan chuqurlikda bir xil qilib olish mumkin.

Past haroratli diffuziya sharoitida olingan $T=300K$ da Fermi sathi $E_F=E_V+(0,38 \div 0,45) \text{ eV}$ energiya oraligʻida boʻlgan $p\text{-Si} < B, Mn >$ namunalarda olib borilgan tadqiqotlar natijalari shuni koʻrsatadiki (1 - rasm), bu namunalarda tarkibida toʻrtta marganets atomi mavjud nanoklastlarga xos boʻlgan 21 chiziqdan iborat EPR spektrlari aniq kuzatiladi [8, 9].

1-rasm. Kremniydagi tarkibida 4ta marganets atomi mavjud nanoklaster $[Mn^{++}]_4$ ga xos boʻlgan 21 chiziqdan iborat EPR spektri. 2-rasm. Kremniydagi nanoklaster hosil qilmagan Mn^{++} marganets atomlarining EPR spektri.



1-rasm. Kremniydagi tarkibida 4ta marganets atomi mavjud nanoklaster $[Mn^{++}]_4$ ga xos boʻlgan 21 chiziqdan iborat EPR spektri.



2-rasm. Kremniydagi nanoklaster hosil qilmagan Mn^{++} marganets atomlarining EPR spektri.

Yangi texnologiya bilan olingan marganets atomlarining nanoklastlarni kuzatilgan namunalardagi kabi bir xil

parametrlarga (qarshilik) ega bo'lgan, an'anaviy diffuziya texnologiyasi bilan olingan p-tipli o'tkazuvchanlikka ega Si<B,Mn> namunalari EPR marganets atomlarining nanoklastarlari mavjudligini ko'rsatmadi. Yangi texnologiya bilan olingan marganetskirishma atomlari bilan ortiqcha kompensatsiyalangan n-tipli Si<B,Mn> namunalari ham nanoklastarlari hosil bo'lmagan. EPR spektrlari yakka holdatdagi marganets atomlari bilan bog'liq (2-rasm).

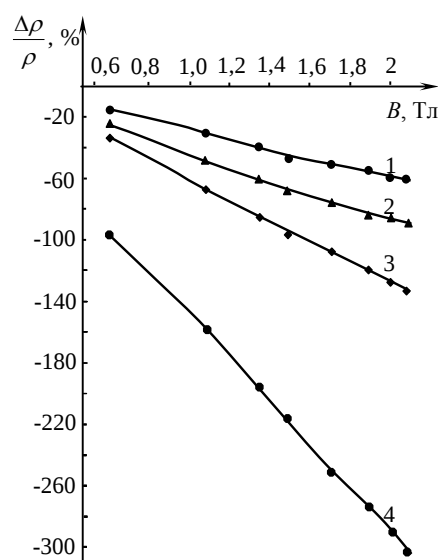
Nanoklastar tuzilishi kremniy kristall panjarasida joylashgan manfiy zaryadlangan bor atomi atrofidagi eng yaqin ekvivalent oraliqlarda joylashgan to'rtta musbat zaryadlangan $[Mn^{++}]_4$ marganetsatomidan iborat. Marganets atomlarining nanoklastarlari magnit markazlar vazifasini bajarishi mumkin, chunki Mn^{++} ($3d54s0$) spini $S=5/2$ ga teng, $[Mn^{++}]_4$ klaster spini to'rt marta katta, ya'ni $4S=10$ bo'lgan to'rtta marganets atomidan iborat, ya'ni. ular kuchli magnit moment sifatida harakat qilishlari kerak. Olingan materialning elektrofizik xususiyatlarini o'rganish uchun Holl effekti usuli qo'llanildi. Haqiqatan ham, ushbu namunalardagi Holl kuchlanishining pasayishi va zaryad tashuvchilarning Holl harakatchanligi, biz ishlab chiqqan yangi texnologiyaga ko'ra, ortiqcha kompensatsiyalangan namunalari bilan solishtirganda sezilarli darajada farq qiladi.

$[Mn^{++}]_4$ magnit nanoklastarli p-Si<B,Mn> namunalari magnit qarshilik (MQ) xona haroratida magnit maydonning ko'ndalang ($B \perp$) yo'nalishida o'rganildi. Magnit maydon $B = 0 \div 2$ T oraliqida o'zgargan, ya'ni kuchsiz magnit maydon sharti bajarilgan.

Marganets atomlarining $[Mn^{++}]_4$ magnit nanoklastarlari hosil qilingan kremniydagi magnit qarshilikni o'rganish natijalari 3-rasmga ko'rsatilgan.

Rasmdan ko'rinib turibdiki, nanoklastarlar konsentratsiyasining ortishi bilan manfiy magnit qarshilik (MMQ) qiymati sezilarli darajada oshadi. Nanoklastarlar konsentratsiyasi $N=10^{15} \text{ cm}^{-3}$ bo'lgan namunalarda xona haroratida $E=100 \text{ V/sm}$ da o'ta katta manfiy magnit qarshilik $\Delta\rho/\rho \sim 300\%$ olinadi va magnit maydonga sezgirlik $\alpha=150\%/\text{Tл}$ ga teng bo'ladi.

Kremniyda nanoklastarlar konsentratsiyasining, $2 \cdot 10^{13} \div 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ oraliqda ortishi bilan MMQ qiymati 8÷10 marta, magnit maydon sezgirliги esa $\alpha=28\%/\text{Tл}$ dan $\alpha=150\%/\text{Tл}$ gacha oshadi.



$N(Mn)_4 = 2 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ da $\alpha=28\%/\text{Tл}$

$N(Mn)_4 = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ da $\alpha=150\%/\text{Tл}$

3-rasm. $T=300 \text{ K}$, $E=100 \text{ V/sm}$ magnit nanoklastarlar konsentratsiyasi har xil bo'lgan namunalardagi MMQ ning magnit maydonga bog'liqligi:

1-- $N(Mn)_4 = 2 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$, 2-- $N(Mn)_4 = 2 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$, 3-- $N(Mn)_4 = 5 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$, 4-- $N(Mn)_4 = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$.

Xulosa. Marganets atomlarining $[Mn^{++}]_4$ magnit nanoklastarlari hosil qilingan kremniydagi magnit qarshilikni tadqiq qilishning nazariy tahlili va tajriba natijalari bunday materiallarda MMQ kuzatilishi va uning tabiati to'rtta marganets atomlarining nanoklastarlari mavjudligi bilan bevosita bog'liqligini hamda kremniyda marganets atomlarining $[Mn^{++}]_4$ magnit nanoklastarlari konsentratsiyani o'zgartirish orqali MMQ qiymatini keng oraliqda o'zgartirish imkoniyati mavjudligini ko'rsatib beradi. Kremniyda katta qiymatdagi manfiy magnit qarshilikning xona haroratida ($T=300\text{K}$) kuzatilishi esa qo'llanishi nuqtayi nazaridan juda muhim amaliy ahamiyatga ega.

Adabiyotlar

1. Ludwig G.W., Woodbury H.H., Carlson R.O. Spin Resonance of Deep Level Impurities in Germanium and Silicon // J.Phys.Chem. Sol., 1959. V.8. -P.490.
2. Фистуль В.И., Казакова В.М., Бобриков Ю.А., Рябцев А.В., Абдурахманов К.П., Зайнабидинов С., Камилов Т.С., Утамурадова Ш.Б. О состоянии примесных ионов марганца в кремнии // Физика и техника полупроводников. – Санкт-Петербург, 1982. -Т.: 16. В.5–С. 939-941.
3. Kreissl J., Gehlhoff W. Electron Paramagnetic Resonance of the Cluster in Silicon // phys.stat.sol. 1988.– V.145 (b).– P. 609-616.
4. Алексеев В.В. О механизме диффузии атомов в конденсированных средах. // ФТТ. - Т. 50.– В.10.– С. 1775-1778.
5. Бахадирханов М.К., Аюпов К.С., Арзукулов Э.У., Сражев С.Н., Тошбоев Т.У. Термические свойства кремния с кластерами атомов никеля //Физика.–Томск, 2008.– № 3 (11).– С.170-172.
6. Бахадирханов М.К., Илиев Х.М., Мавлянов Г.Х., Сатаров О.Э., Эгамбердиев Б.Э., Сапарниязова З.П., Тачилин С.А. Перемещение носителей заряда в кремнии с многозарядными нанокластерами атомов марганца // VI – международная конференция и V – школа молодых ученых и специалистов. Кремний–2009. –Новосибирск: 7-10 июля, 2009.
7. Бахадирханов М.К., Абдурахманов Б.А. Физико-технологические основы формирования кластеров примесных атомов в кремнии. // Доклады АН РУз. –Ташкент: 2013. № 3. -С. 29-33.
8. Bakhadyrkhanov M.K., Mavlonov G.Kh., Isamov S.B., Iliyev Kh.M., Ayupov K.S., Saparniyazova Z.M. and S.A.Tachilin. Transport Properties of Silicon Doped with Manganese via Low Temperature Diffusion // Inorganic Materials, 2011, Vol. 47, No. 5, -P. 479-483.
9. Bakhadyrkhanov M.K., Ayupov K.S., Mavlyanov G.Kh., Iliyev Kh.M., and Isamov S.B. Photoconductivity of Silicon with Nanoclusters of Manganese Atoms // Russian Microelectronics, 2010, Vol. 39, № 6. -P. 401-404.

РЕЗЮМЕ. Кремниyда past haroratli diffuziya usuli bilan marganets kirishma atomlari magnit nanoklastarlari hosil qilish orqali xona haroratida katta manfiy magnit qarshilik hodisasi kuzatilgan. Kremniydagi marganets nanoklastarlari konsentratsiyasini boshqarish orqali manfiy magnit qarshilik qiymatini boshqarish mumkinligi ko'rsatilgan.

РЕЗЮМЕ. Явление большого отрицательного магнитосопротивления наблюдалось при комнатной температуре за счет формирования магнитных нанокластеров атомов марганца в кремнии путем низкотемпературной диффузии. Показано, что величиной отрицательного магнитосопротивления можно управлять, контролируя концентрацию нанокластеров марганца в кремнии.

SUMMARY. A large negative magnetoresistance phenomenon has been observed at room temperature by forming magnetic nanoclusters of manganese doped atoms in silicon by low-temperature diffusion. It has been shown that the negative magnetoresistance value can be controlled by controlling the concentration of manganese nanoclusters in silicon.