

**O‘TA YUPQA TEMIR OKSIDI PARDALARINING SIRT
MAGNETIZMI VA MAGNIT DOMEN STRUKTURASI****Bozorboyev Murodjon***Urganch davlat pedagogika instituti, Urganch, O‘zbekiston**E-mail: murodjonbozorboyev217@gmail.com***Annotatsiya**

Ushbu ishda Ru(0001) tagligida reaktiv molekulyar-nurli epitaksiya usulida olingan o‘ta yupqa temir oksidi (Fe_3O_4 va $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) pardalarining sirt kristall strukturasi va magnit domen tuzilishi spin-polyarizatsiyalangan past energiyali elektron mikroskopiyasi (SPLEEM) va past energiyali elektronlar difraksiyasi (LEED) usullari yordamida o‘rganilgan. Magnetit orollari (2×2) sirt davriyligi va 5,3 eV dagi xarakterli elektron qaytarish maksimumi bo‘yicha identifikatsiya qilingan. Bir necha nanometr qalinlikdagi orollarda xona haroratida magnitlanishi sirt tekisligida yotuvchi bir va ko‘p domenli holatlar kuzatilgan.

Kalit so‘zlar: magnetit, maghemit, o‘ta yupqa pardalar, ferrimagnetizm, magnit domenlar, SPLEEM, LEED.

Kirish va tajriba metodikasi

Magnetit (Fe_3O_4) Kyuri harorati yuqori (~ 850 K) bo‘lgan ferrimagnit bo‘lib [1], nazariy jihatdan Fermi sathida to‘liq spin-polyarizatsiyaga ega yarimmetall sifatida bashorat qilingan [2]. Shu sababli magnetit asosidagi o‘ta yupqa pardalar spin-ventillar, magnit tunnel o‘tishlar va magnitorezistiv tezkor xotira qurilmalari (MRAM) uchun istiqbolli material hisoblanadi [3]. Parda qalinligi bir necha nanometrgacha kamaytirilganda sirt va taglik bilan chegara ta’siri ortib, magnit anizotropiyasi, domen strukturasi va faza tarkibi hajmiy materialdagidan sezilarli farq qilishi mumkin. Bunday tizimlarda sirt magnit

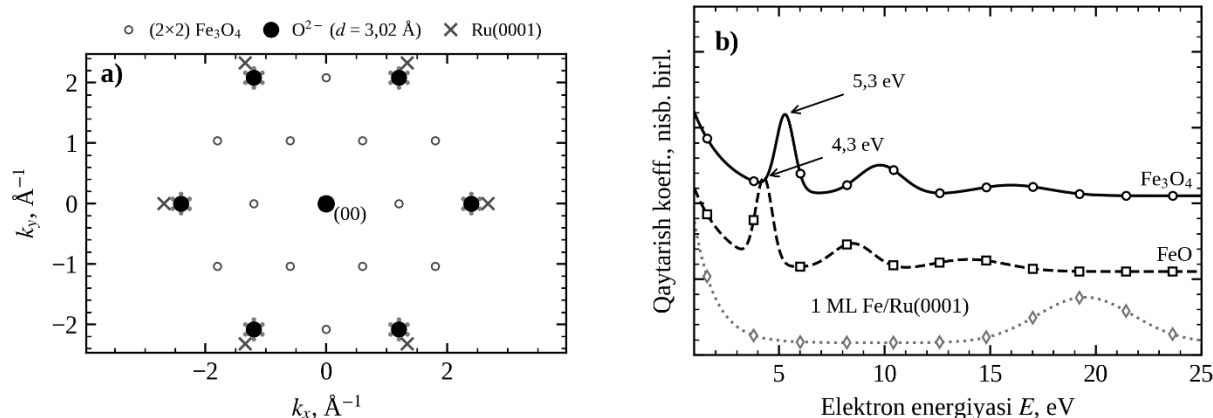


tuzilishini nanometr tartibidagi fazoviy ajrata olish qobiliyati bilan bevosita tasvirlash imkonini beruvchi usullardan biri SPLEEM hisoblanadi [4, 5].

Temir oksidi pardalari Ru(0001) monokristall tagligida ikki usulda olindi: 893 K haroratda $\sim 10^{-6}$ torr kislorod bosimida Fe ni reaktiv bug‘latish (o‘sish jarayoni LEEM yordamida real vaqtda kuzatildi) hamda 500 K da 3–10 ML Fe o‘tqazib, so‘ngra 900–1200K da 10^{-6} torr kislorodda oksidlash [6]. Fe oqimi $\sim 0,3$ ML/min ni tashkil etdi. Sirt kristall strukturasi tanlangan sohadan olingan mikro-LEED manzaralari va past energiyali elektron qaytarish spektrlari bo‘yicha aniqlandi. Magnit domen tasvirlari qarama-qarshi spin-polyarizatsiyali tasvirlar juftligining piksel-piksel ayirmasi sifatida uch ortogonal kvantlash o‘qi uchun olinib, ular asosida magnitlanish vektorining komponentlari tiklandi [5, 6].

Natijalar va muhokama

Dastlabki bosqichda Ru(0001) sirtini to‘liq qoplovchi FeO(111) (vyustit) qatlami hosil bo‘ladi, ~ 1 ML dan ortiq Fe dozasida esa mikrometr o‘lchamli uchburchak orollar o‘sa boshlaydi [6, 7]. Mikro-LEED manzaralari (1-rasm, a) ikkala fazada ham kislorod ionlarining yaqin qo‘shni masofasiga mos keluvchi $d = 3,02 \pm 0,2$ Å davriylikni ko‘rsatdi. Uchburchak orollarda qo‘shimcha ravishda (2×2) reflekslar va $54,5 \pm 7$ Å davriylikka ega muare satellitlari kuzatiladi (FeO uchun $18,5 \pm 2$ Å). (2×2) sirt yacheykasi ($\approx 6,04$ Å) $\text{Fe}_3\text{O}_4(111)$ va $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3(111)$ ga xos bo‘lgani sababli orollar shpinel strukturali magnetit fazasiga tegishli deb aniqlandi [6–8]. Fazalar elektron qaytarish spektrlarida ham aniq farqlanadi (1-rasm, b): FeO uchun xarakterli maksimum 4,3 eV da, Fe_3O_4 uchun esa 5,3 eV da joylashgan; bu “barmoq izi” SPLEEM qurilmasida difraksiya manzarasini olmasdan fazani identifikatsiya qilish imkonini beradi. Magnetit orollarini NO_2 bilan qo‘shimcha oksidlash ularni topotaktik ravishda $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (maghemit) ga aylantiradi, FeO qatlami esa $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ga o‘tadi [9].



1-rasm. Ru(0001) ustidagi temir oksidi pardalari uchun LEED manzarasining sxemasi (a) va FeO, Fe_3O_4 hamda 1 ML Fe/Ru(0001) sirtlarining past energiyali elektron qaytarish spektrlari (b) ([6] ma'lumotlari asosida sxematik tasvir).

SPLEEM tasvirlari magnetit orollarida xona haroratida aniq magnit kontrast mavjudligini ko'rsatdi (elektron energiyasi 19,2 eV). Sirtga perpendikulyar yo'nalishda magnit kontrast kuzatilmadi, ya'ni magnitlanish vektori sirt tekisligida yotadi. 3 ML Fe dan olingan pardalarda ayrim orollar bir domenli, boshqalari esa ko'p domenli holatda bo'ladi. 10 ML Fe dan olingan pardalarda (qalinligi ~ 27 atom qatlami, lateral o'lchami ~ 1 mkm) orollar yiriklashib, o'zaro tutashadi va har bir orolda keskin domen devorlari bilan ajralgan ko'plab domenlar hosil bo'ladi [6]. Qalinlik bir necha nanometr, lateral o'lcham esa $\sim 10^3$ nm bo'lganda magnit anizotropiyasida shakl hissasi ustunlik qiladi, shu sababli magnitlanish tekislikda yo'naladi va domen konfiguratsiyasi orol geometriyasi bilan belgilanadi [6, 10]. Ferrimagnit tartib hatto ~ 1 nm (ikki elementar yacheyka) qalinlikdagi magnetit kristallarida ham kamida 520 K gacha saqlanishi [11] superparamagnit chegaraga bunday qalinliklarda hali erishilmasligini ko'rsatadi.

Xulosa

SPLEEM va LEED usullari yordamida Ru(0001) ustidagi o'ta yupqa temir oksidi pardalarining sirt kristall strukturasi va magnit domen tuzilishi o'rganildi. Pardalar FeO qatlami va uning ustida o'suvchi uchburchak Fe₃O₄ orollaridan iborat bikomponent tuzilishga ega bo'lib, fazalar (2×2) davriylik hamda 4,3 va 5,3 eV dagi qaytarish maksimumlari bo'yicha ishonchli farqlanadi. Bir necha nanometr qalinlikdagi magnetit orollari xona haroratida ferrimagnit bo'lib, magnitlanishi sirt tekisligida yotadi, domen tuzilishi esa asosan shakl anizotropiyasi bilan belgilanadi. Olingan natijalar magnetit asosidagi o'ta yupqa pardalarning magnit anizotropiyasini boshqarish va ularni spintronika qurilmalarida qo'llash bo'yicha keyingi tadqiqotlar uchun asos bo'lib xizmat qilishi mumkin.

ADABIYOTLAR

1. Coey J. M. D. Magnetism and Magnetic Materials. – Cambridge: Cambridge University Press, 2010.
2. Fonin M., Dedkov Yu. S., Pentcheva R., Rüdiger U., Güntherodt G. Magnetite: a search for the half-metallic state // J. Phys.: Condens. Matter. – 2007. – Vol. 19. – Art. 315217.
3. Parkinson G. S. Iron oxide surfaces // Surf. Sci. Rep. – 2016. – Vol. 71. – P. 272–365.
4. Bauer E. Surface Microscopy with Low Energy Electrons. – New York: Springer, 2014.
5. Rougemaille N., Schmid A. K. Magnetic imaging with spin-polarized low-energy electron microscopy // Eur. Phys. J. Appl. Phys. – 2010. – Vol. 50. – Art. 20101.
6. Santos B., Loginova E., Mascaraque A., Schmid A. K., McCarty K. F., de la Figuera J. Structure and magnetism in ultrathin iron oxides characterized by low energy electron microscopy // J. Phys.: Condens. Matter. – 2009. – Vol. 21. – Art. 314011.



7. Ketteler G., Ranke W. Heteroepitaxial growth and nucleation of iron oxide films on Ru(0001) // J. Phys. Chem. B. – 2003. – Vol. 107. – P. 4320–4333.
8. Weiss W., Ranke W. Surface chemistry and catalysis on well-defined epitaxial iron-oxide layers // Prog. Surf. Sci. – 2002. – Vol. 70. – P. 1–151.
9. Monti M., Santos B., Mascaraque A. et al. Oxidation pathways in bicomponent ultrathin iron oxide films // J. Phys. Chem. C. – 2012. – Vol. 116. – P. 11539–11547.
10. Ruiz-Gómez S., Pérez L., Mascaraque A. et al. Geometrically defined spin structures in ultrathin Fe_3O_4 with bulk like magnetic properties // Nanoscale. – 2018. – Vol. 10. – P. 5566–5573.
11. Monti M., Santos B., Mascaraque A. et al. Magnetism in nanometer-thick magnetite // Phys. Rev. B. – 2012. – Vol. 85. – Art. 020404(R).

