

Quvondiqov Obloqul

f.-m.f.d., Samarqand davlat universiteti professori

E-mail: quvondiqov@rambler.ru

Subhonqulov Ilhomjon

f.-m.f.n., Samarqand davlat universiteti dotsenti

Xomitov Sherzod Asatillo o'g'li

f.-m.f.f.d. (PhD), Samarqand davlat universiteti assistenti

Qo'chqorov To'liqin Raxmiddin o'g'li

Samarqand davlat universiteti magistranti

UO'K: 539.2

TEMIR GURUHI ELEMENTLARI ASOSIDAGI AMORF QOTISHMALARDA SPIN-ORBITAL O'ZARO TA'SIR

Annotatsiya. Temir guruhi elementlari asosidagi $\text{Fe}_{60}\text{Co}_{20}\text{Si}_8\text{B}_{12}$ va $\text{Fe}_{58}\text{Co}_{20}\text{Si}_{12}\text{B}_{10}$ qotishmalari uchun amorf va kristall holatlardagi Xoll effekti, solishtirma elektr qarshiligi va to'yinish magnitlanishining temperaturaga bog'liqligi o'rganildi. Ushbu parametrlar o'rtasidagi bog'liqlik o'rnatildi va bu anomal Xoll effekti nazariyasi nuqtai nazaridan izohlandi. Tajriba natijalariga asoslanib, spin-orbital o'zaro ta'siri parametrining koeffitsiyentlari baholandi.

Kalit so'zlar: amorf, kristall, Xoll effekti, solishtirma elektr qarshilik, magnitlanish, normal va anomal Xoll koeffitsiyenti, spin-orbital o'zaro ta'sir parametri.

СПИН-ОРБИТАЛЬНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В АМОРФНЫХ СПЛАВАХ НА ОСНОВЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЖЕЛЕЗНОЙ ГРУППЫ

Аннотация. Исследована температурная зависимость эффекта Холла, удельного электрического сопротивления и намагниченности насыщения для аморфных и кристаллических состояний сплавов $\text{Fe}_{60}\text{Co}_{20}\text{Si}_8\text{B}_{12}$ и $\text{Fe}_{58}\text{Co}_{20}\text{Si}_{12}\text{B}_{10}$ на основе элементов группы железа. Установлена взаимосвязь между этими параметрами, которая интерпретирована с точки зрения теории

аномального эффекта Холла. На основе экспериментальных данных оценены коэффициенты параметра спин–орбитального взаимодействия..

Ключевые слова: аморф, кристалл, эффект Холла, удельное электрическое сопротивление, намагниченность, нормальный и аномальный коэффициенты Холла, параметр спин–орбитального взаимодействия.

SPIN–ORBIT INTERACTION IN AMORPHOUS ALLOYS BASED ON IRON-GROUP ELEMENTS

Abstract. The temperature dependence of the Hall effect, electrical resistivity, and saturation magnetization was studied for amorphous and crystalline states of $\text{Fe}_{60}\text{Co}_{20}\text{Si}_8\text{B}_{12}$ and $\text{Fe}_{58}\text{Co}_{20}\text{Si}_{12}\text{B}_{10}$ alloys based on iron-group elements. The correlation between these parameters was established and interpreted in terms of the anomalous Hall effect theory. Based on the experimental results, the coefficients of the spin–orbital interaction parameter were evaluated.

Keywords: amorphous, crystal, Hall effect, magnetization, normal and anomalous Hall coefficients, parameter of spin–orbital interaction.

Kirish. Amorf ferromagnitlarda Xoll effektining temperaturaga bog‘liqligini o‘rganish zaryad tashuvchilarning ishorasi va konsentratsiyasini baholashga, anomal Xoll koeffitsienti R_s , solishtirma elektr qarshiligi ρ va to‘yinish magnitlanishi I_s o‘rtasidagi munosabatni o‘rnatish mumkin [1]. Bu ularning tarkibi va tuzilishiga qarab amorf ferromagnit qotishmalardagi galvanomagnit hodisalarning tabiati haqida kerakli ma’lumotlarni olish, shuningdek, elektr uzatish bilan bog‘liq bo‘lgan asosiy parametrlarning o‘zgarishi va kristall holatga o‘tish qonuniyatlarini aniqlash imkonini beradi.

Tadqiqot metodologiyasi. Amorf va kristall holatlardagi temir guruhi metallari asosidagi ferromagnit qotishmalarda Xoll koeffitsiyenti R_H , solishtirma elektr qarshiligi ρ va to‘yinish magnitlanishi I_s ning temperaturaga bog‘liqligini eksperimental ravishda o‘rganish orqali, ushbu parametrlar o‘rtasidagi bog‘liqliklarni o‘rnatishga harakat qilindi.

O'rganish ob'ektlari uzunligi 10 mm, kengligi 10 mm va qalinligi 25 mkm bo'lgan amorf tasmalar bo'lib, ular tez aylanadigan disk yuzasiga metalni toblash orqali olingan. [2]. O'lchash davomida namunalarning o'lchami bir xil bo'lishiga e'tibor qaratish kerak.

Solishtirma elektr qarshiligi va Xoll koeffitsiyenti Van der Pau usuli asosida ishlovchi tajriba qurilmasi yordamida o'lchandi [3]. To'yinish magnitlanishning temperaturaga bog'liqligi vibratsion magnetometr yordamida o'rganildi [4]. O'rganilayotgan qotishmalarning amorf holatda ekanligi rentgenofazaviy tahlil usuli yordamida tekshirildi. Tahlil natijalari shuni ko'rsatdiki, amorf holatdagi qotishmalar strukturaviy faktorining birinchi maksimumining ko'rinishi Gauss taqsimoti ko'rinishiga yaqin shaklga ega bo'lib, kogerent sochilish sohasining o'lchamlari $Fe_{58}Co_{20}Si_{12}B_{10}$ qotishmasi uchun 1,79 nm hamda $Fe_{60}Co_{20}Si_8B_{12}$ qotishmasi uchun 1,70 nm ga tengligi aniqlandi.

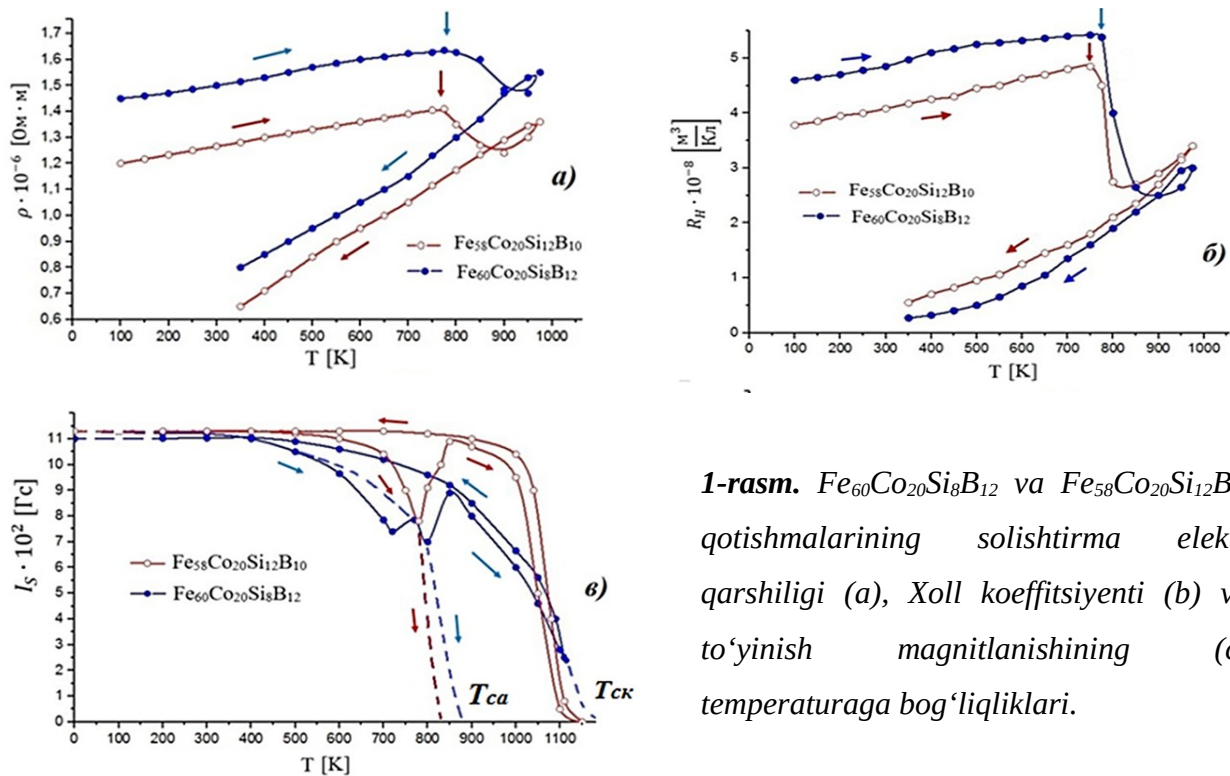
Natijalar va muhokama. Ma'lumki, Xoll solishtirma qarshiligining tashqi magnit maydon induksiyasi va magnitlanishga bog'liqligi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi [5]:

$$\rho_H = R_o B + 4\pi R_s I_s \quad (1)$$

bu yerda $R_o B$ - Lorents kuchining o'tkazuvchanlik elektronlariga ta'siri tufayli magnit maydon induksiyasiga bog'liq bo'lgan had; $4\pi R_s I_s$ - spin-orbital o'zaro ta'siri tufayli magnitlanishga bog'liq bo'lgan had.

$Fe_{60}Co_{20}Si_8B_{12}$ va $Fe_{58}Co_{20}Si_{12}B_{10}$ qotishmalarining solishtirma elektr qarshiligi, Xoll koeffitsiyenti va to'yinish magnitlanishining temperaturaga bog'liqliklari 1-rasmda keltirilgan.

$Fe_{58}Co_{20}Si_{12}B_{10}$ qotishmasining amorf holati uchun 150-750 K temperatura oralig'idagi solishtirma elektr qarshiligining qiymati $1,21 \cdot 10^{-6} \text{ Om} \cdot \text{m}$ dan $1,38 \cdot 10^{-6} \text{ Omm}$ gacha deyarli chiziqli ko'rinishda ortadi. Bu oraliqdagi qarshilikning temperatura koeffitsiyenti (QTK) $\frac{\partial \rho}{\partial T} = 2,8 \cdot 10^{-10} \frac{\text{Om} \cdot \text{m}}{\text{K}}$ ga teng. $Fe_{60}Co_{20}Si_8B_{12}$ qotishmasi uchun ρ ning temperaturaga bog'liqligi yuqoridagiga yaqin bo'ladi.



1-rasm. $\text{Fe}_{60}\text{Co}_{20}\text{Si}_8\text{B}_{12}$ va $\text{Fe}_{58}\text{Co}_{20}\text{Si}_{12}\text{B}_{10}$ qotishmalarining solishtirma elektr qarshiligi (a), Xoll koeffitsiyenti (b) va to'yinish magnitlanishining (c) temperaturaga bog'liqlilari.

100-750 K oralig'ida $\text{Fe}_{58}\text{Co}_{20}\text{Si}_{12}\text{B}_{10}$ qotishmasining Xoll koeffitsiyenti musbat ishoraga ega bo'ladi, va temperaturaning oshishi bilan Xoll koefitsienti $R_H = 3,85 \cdot 10^{-8} \frac{\text{m}^3}{\text{Kl}}$ dan $4,87 \cdot 10^{-8} \frac{\text{m}^3}{\text{Kl}}$ gacha oshadi. Temperaturaning $T=750$ K dan $T=800$ K gacha o'zgarishida R_H ning $4,87 \cdot 10^{-8} \frac{\text{m}^3}{\text{Kl}}$ dan $2,55 \cdot 10^{-8} \frac{\text{m}^3}{\text{Kl}}$ gacha keskin pasayishi kuzatiladi. Keyingi $T = 950$ K temperaturagacha qizdirish R_H ning qiymatini $3,0 \cdot 10^{-8} \frac{\text{m}^3}{\text{Kl}}$ gacha oshishiga olib keladi. $R(T)$ va $\rho(T)$ ning temperaturaga bog'liqligi ikkala qotishma uchun ham o'zgarganda, shuni aytishimiz mumkinki, 900 K dan yuqori temperaturalarda qotishmalar kristall holatga aylanadi. Xarakterli jihati shundaki, o'rganilayotgan qotishmalar uchun kristall holatda R_H ning mutloq qiymatlari pastroq va $\partial R_H / \partial T$ bir xil tarkibdagi amorf qotishmalarga qaraganda biroz kattaroqdir. R_H va $\partial R_H / \partial T$ qiymatlaridagi bu farq amorf qotishmalarning atom tuzilishining buzilishi natijasida spin-orbital o'zaro ta'sirining kuchayishi bilan bog'liq. [6].

Amorf holatdagi $\text{Fe}_{58}\text{Co}_{20}\text{Si}_{12}\text{B}_{10}$ qotishma magnitlanishining temperaturaga bog'liqlik egri chizig'i kristall holatga qaraganda keskinroq yo'nalishga ega. Temperaturaning oshishi bilan I_s magnitlanish $T=300$ K da 1120 Gs dan $T=780$ K da

730 Gs gacha pasayadi, lekin nolga yetib bormaydi. $\text{Fe}_{58}\text{Co}_{20}\text{Si}_{12}\text{B}_{10}$ qotishmasining Kyuri nuqtasi va kristallanish temperaturasi juda yaqin bo'lganligi uchun, T ning yanada ortishi magnitlanishning $T = 850 \text{ K}$ da 1000 Gs gacha oshishiga olib keladi, keyin esa $T = 1125 \text{ K}$ da nolga intiladi. Bu temperatura berilgan qotishmaning kristallik holati uchun Kyuri nuqtasi bo'lib, shu temperaturada namuna ferromagnit holatdan paramagnit holatga o'tadi. Kristall namunaning sovishi I_s ning taxminan $T = 800 \text{ K}$ ga monoton o'sishi bilan yuzaga keladi. Keyingi sovutishda kristalli namunaning I_s qiymati 800-300 K oralig'ida deyarli o'zgarmaydi. Magnitlanishning mutloq qiymatlari xona haroratida amorf va kristallangan namunalarda taxminan bir xil bo'ladi.

[7] da temir guruhi asosidagi ferromagnitlarda anomal Xoll effekti o'tkazuvchanlik elektronlarining bir jinsli bo'lmagan spin to'lqinlarida sochilishi natijasida yuzaga keladigan ikki turdagi spin-orbital o'zaro ta'sirini hisobga olgan holda ko'rib chiqilgan: magnit elektronlarning bevosita spin-orbital o'zaro ta'siri va o'tkazuvchanlik elektronlarining orbital momenti bilan magnit elektronlarning spinlari o'rtasidagi o'zaro ta'siri natijasi deb qarash mumkin. Ferromagnit holatdagi anomal Xoll effekti uchun quyidagi ifoda olingan [8]:

$$R_s = \pm \frac{3\lambda_{so}\rho}{16E_F I_s(O)} \quad (2)$$

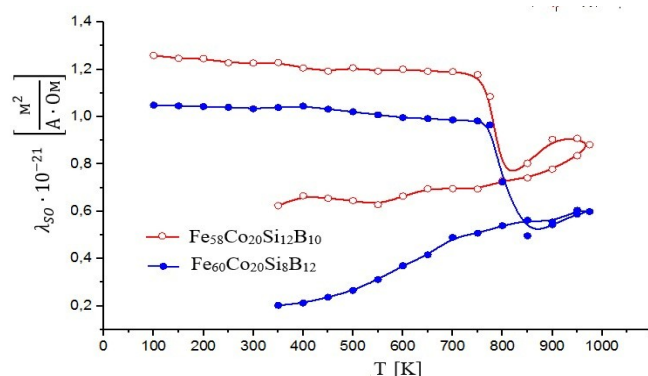
bu yerda λ_{so} spin-orbital o'zaro ta'sirining effektiv parametri, ρ – solishtirma elektr qarshiligi, E_F – Fermi energiyasi, $I_s(O)$ – spontan magnitlanish.

Elektr, magnit va galvanomagnit xususiyatlarini har tomonlama eksperimental o'rganish spin-orbital o'zaro ta'sirining λ_{so} effektiv parametrlarini baholashga imkon beradi [9].

$$R_H = \frac{\rho_H}{B} = R_0 + \frac{2e^2}{\mu_0 \mu_B \hbar g} \rho^2 \lambda_{so} \chi = R_0 + R_s \chi \quad (3)$$

bu yerda $\mu_B = 0,927 \cdot 10^{-23} \text{ J/Tl}$ – Bor magnitoni, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Gn/m}$ – magnit doimiysi, $\hbar = 1,054 \cdot 10^{-34} \text{ Dj} \cdot \text{s}$ - Plank doimiysi, $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ - elektron zaryadi, ρ – solishtirma elektr qarshilik, o'tkinchi metallari uchun $g \approx 2$ Lande koeffitsienti, λ_{so} - spin-orbital o'zaro ta'sirining effektiv parametri.

(3) formuladan foydalanib, ferromagnit amorf va kristall holatlardagi spin-orbital o‘zaro ta’sirining effektiv parametri hisoblandi. Hisoblash natijalari 2-rasmda keltirilgan.



2 - rasm. $Fe_{60}Co_{20}Si_8B_{12}$ va $Fe_{58}Co_{20}Si_{12}B_{10}$ qotishmalarining spin-orbital o‘zaro ta’sirining effektiv parametri koeffitsiyentining temperaturaga bog‘liqligi.

Hisoblash natijalari shuni ko‘rsatadiki, ferromagnit holatda spin-orbital o‘zaro ta’sirining effektiv parametri temperaturaga kuchsiz bog‘liq bo‘lib, temperatura oshishi bilan kamayadi. Kristal holati uchun u temperaturaning pasayishi bilan pasayadi. Bu shundan dalolat beradiki, ferromagnit holatda spin-orbital o‘zaro ta’sirining effektiv parametri asosan o‘tkazuvchanlik elektronlarining spinli sochilishining tartibsizligi orqali amalga oshiriladi.

Kristall va amorf ferromagnit qotishmalarda $R_s(T)$ bog‘liqliklarining farqlanishining asosiy sababi strukturaning buzilishi natijasida yuzaga keladigan sochilish mexanizmi tufayli sodir bo‘ladi [10]. $R_s(T)$ ning amorf ferromagnitlarga bog‘liqligi magnit bir hil bo‘lmagan tok tashuvchilarning sochilishi bilan sezilarli darajada ta’sir qilishi mumkin. Ta’kidlanishicha, [8] o‘tkazuvchanlik elektronlarining aralashmali markazlarida sochilishi (shuningdek, magnonli, fononli va boshqalar) paytida spin-orbital o‘zaro ta’siri natijasida sochilish ehtimoliyatida assimetriya yuzaga keladi, bu esa o‘tkazuvchanlik elektronlarining "burilishi"ga olib keladi. Amorf qotishmalardagi d-simon holatlar uchun nafaqat diffuziya, balki sakrashli mexanizmga yaqin zaryad ko‘chishi, shuningdek virtual nuqsonlarda elektronlarning o‘z-o‘zini lokallasuvi kuzatiladi [10-12].

Xulosa. Kristall qotishmalarda d-simon elektronlar qutblangan spinining assimetrik sochilishi R_s ning temperaturaga bog‘liqligi (4) munosabat orqali namoyon

bo'lishi ko'rsatilgan. Xuddi shunday munosabat amorf qotishmalarga ham tegishli ekanligi aniqlandi va qoida tariqasida yuqori qarshilikka ega amorf qotishmalar uchun (4) dagi birinchi had ikkinchidan kichik ekanligi ko'rsatildi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Кувандиков О.К., Субханкулов И. // Структура и свойства аморфных сплавов. Устинов: Удм. гос. ун-т. 1985. С.135.
2. Золотухин И.В. Аморфные металлические материалы // Соровский образовательный журнал. Физика. 1987. С.73-78.
3. Van der PAUW // Semiconductor Devices: Pioneering Papers. 1991. pp. 174-182. DOI: https://doi.org/10.1142/9789814503464_0017
4. Subhonqulov I., Amonov B., Bakaev G. Xomitov Sh. // “Yuqori temperaturalarda amorf qotishmalarning magnitlanishi va uni o'lchash usuli”. SamDU ilmiy axborotnomasi. Samarqand. – 2017. – №. 1. – С. 177-181.
5. Михайловский Ю.О., Меттус Д.Е., Казаков А.П. и др. // Письма в ЖЭТФ, 2013. Т.97. № 8, С. 544. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0370274X1308008>
6. Ирхин Ю.П., Абельский Ш.Ш. // ФТТ. 1964, Т.6, С.1635.
7. Granovskii A.B., Prudnikov V.N., Kazakov A.P. et al. // J. Exp. Theor. Phys. 2012. V.115. P.805. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1063776112090051>
8. Ведяев А.В., Грановский А.Б. // ФММ. 1984. Т. 58. №.6. С. 1084.
9. Trudea M., Cochrane R.W., Baxter D.V. et al. // Phys. Rev., 1988. V.37. No. 9. P. 4499
10. Арсеньев А.Д., Грановский А.Б., Ведяев А.В. // Теория аномального эффекта Холла аморфных ферромагнетиков: рассеяние на магнитных неоднородностях. – Физика аморфных магнетиков Красноярск: Ин-т физики: 1989, С. 151.
11. Luttengen J. M. // Phys.Rev. 1958. V.112. No.3. P.739.
12. Блинов М.И., Черненко В.А., Прудников В.Н. и др. // ЖЭТФ, 2021, том 159, вып. 3, стр. 546–552, DOI: <https://doi.org/10.31857/S0044451021030159>