Registered in Germany **Europa Revue Journal**
ISSN: 1862-6564 **Vol. 6 No. 6 (2026) Published June 28, 2026**

SPECTROSCOPY OF ELECTRONS WITH CHARACTERISTIC ENERGY LOSS

D.B. Khakimova

Military Security and Defense University of the Republic of Uzbekistan
Military Aviation Institute Senior lecturer of the Department of General Engineering and Natural Sciences

Abstract

This article presents the spectroscopy of electrons with characteristic energy loss, corresponding to the type of a particular material, near the elastically returned electron peak of the secondary electron energy spectrum.

Keywords

spectroscopy, energy spectrum, plasmon, valence electrons, intensity, crystal, secondary electrons, energy spectrum, hybrid plasmon oscillations, amplitude.

XARAKTERLI ENERGIYASINI YO‘QOTGAN ELEKTRONLAR SPEKTROSKOPIYASI

Xakimova D.B.

O‘zbekiston Respublikasi Harbiy Xavfsizlik va Mudofaa Universiteti
Harbiy Aviatsiya Instituti Umumtexnika va tabiiy fanlar kafedrasi katta o'qituvchisi

Annotatsiya: Ushbu maqolada ikkilamchi elektronlar energetik spektrining elastik qaytgan elektronlar cho‘qqisi yaqinida muayyan materialning turiga mos ravishda xarakterli energiya yo‘qotgan eletronlar spektroskopiyasi haqida keltirilgan.

Kalit so‘zlar: spektroskopiya, energetik spektr, plazmon, valent elektronlar, intensivlik, kristall, ikkilamchi elektronlar, energetik spektr, gibrid plazmon tebranishlar, amplituda.

Ikkilamchi elektronlar energetik spektrining elastik qaytgan elektronlar cho‘qqisi yaqinida muayyan materialning turiga mos ravishda xarakterli energiya yo‘qotgan eletronlarga (XEYE) tegishli bo‘lgan cho‘qqichalar paydo bo‘ladi. Energiyaning xarakterli yo‘qolishi deganda, birlamchi elektronlarning qattiq jismga uzatayotgan energiyasining ΔE porsiyasi tushuniladi. EQE cho‘qqiidan hisoblangan XEYE

cho‘qqining ΔE vaziyati umuman olganda birlamchi elektronlarning energiyasi E_1 ga ham, birlamchi dastaning (tushish burchagiga ham bog‘liq bo‘lmaydi va namuna moddasiga xos xususiyat hisoblanadi. Elektronlarning xaraterli energiya yo‘qotishi ro‘y berishining asosiy sabablari: birlamchi elektronlar energiyasining qisman qattiq jismdagi elektronlarning zonalararo yakka zarrali holda o‘tishlarini vujudga keltirishga sarf bo‘lishi va qisman valent elektronlarning guruhlashgan (plazmon) tebranishlari uyg‘onishiga sarf bo‘lishi.

Qattiq jismdagi elektron gazning plazmon (kollektiv) tebranishlari hajmiy va sirtiy elektronlarning tebranishlaridan tashkil topgan diskret energetik spektrga ega bo‘ladi.

Hajmiy elektronlar uchun energiya yo‘qolishi ya’ni hajmiy plazmon energiyasi ΔE quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\Delta E_\upsilon = nh\omega_\upsilon , \qquad (1.9)$$

bu yerda ω_υ - bo‘ylama plazmon tebranishlar chastotasi, h - Plank doimiysi, n- butun son (n=1,2,3,..). Plazmon tebranishlari karrali va gibrid bo‘lishi mumkin. Masalan hajmiy plazmonga ikki karrali plazmon uyg‘onsa n=2, uch karrali uyg‘onsa n=3 bo‘ladi. Agar $\hbar W_V + \hbar W_S$ energiyali (yoki ularga karrali $n\hbar w_V + m\hbar w_S$) plazmon uyg‘onsa gibrid plazmon tebranishlar deyiladi. ω_υ - chastotani Lengmyur formulasi bo‘yicha hisoblash mumkin:

$$\omega_\upsilon \approx (4\pi Ne^2 / m)^{1/2}, \qquad (1.10)$$

bu yerda, N – valent elektronlar konsentratsiyasi, m va e – elektronning mos ravishda massasi va zaryadi.

Sirtiy plazmon energiyasi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$E_S = \hbar\omega_S \qquad (1.11)$$

Sirtiy plazmon chastotasi $\omega_s = \omega_\upsilon / \sqrt{1+\varepsilon}$ bo‘lganligi uchun

$$E_S = \hbar\omega_S = \hbar\omega_\upsilon \Big/ \sqrt{1+\varepsilon}, \qquad (1.12)$$

kabi aniqlanadi, bu yerda, ε - namunaga chegaradosh muhitning dielektrik singdiruvchanligi.

Zonalararo o‘tish jarayonida birlamchi elektronning qattiq jism elektroniga uzatadigan o‘rtacha energiyasi quyidagi formulaga ko‘ra hisoblanadi.

$$\Delta E_C = \frac{\hbar^2}{2m}\left(\frac{2\pi n}{d}\right)^2 \approx 150(n/d)^2, \qquad (1.13)$$

Bu yerda d – panjara doimiysi, n – teskari panjara vektori.

Plazmonlar energiyasining nazariy hisoblangan qiymatlari tajriba natijalari bilan doim mos tushavermaydi. Bunday farqlarning vujudga kelishi dastavval plazmon tebranishlarida qatnashayotgan valent elektronlar sonini aniq bilmaslik bilan bog‘liq. Masalan grafitning spektrida ikkita bir karrali hajmiy plazmon kuzatiladi: atomlardagi bittadan valent elektronlarning kollektivlashgan plazmon uyg‘onishiga mos keluvchi 10,7 eV energiyali cho‘qqi va uchtadan valent elektronlar kollektivlashgan plazmon uyg‘onishi uchun 21,5 eV energiyali cho‘qqi. O‘tish metallarida va ularning birikmalarida sirtiy plazmonlar uchun tajribaviy va nazariy ma’lumotlar orasida katta farq bor. Masalan, Mo uchun tajribada kuzatilgan $\hbar\omega_s$ ning (ΔE_S=10,5 eV) qiymatlari nazariy (16 eV) qiymatidan kam. Buning sababi elektron gazning hajmiy va sirtiy moddalariga ionli asosning ta’siri bo‘lishi mumkin. Masalan, d – o‘tish metallarining plazmon tebranishlarida hamma s – va, d – elektronlar qatnashishi yoki faqatgina d – elektronlar qatnashishi mumkin. Shu munosabat bilan d- metallarning XEES spektrlarida elektronlarning guruhlarga bo‘linishi tufayli vujudga keladigan qo‘shimcha cho‘qqilar kuzatiladi.

Turli xil plazmonli va yakka zarrali uyg‘onishlar mavjudligi sababli XEES spektrlarida kuzatiladigan barcha cho‘qqilarni nazariy jihatdan izohlash benihoya qiyindir. XEES cho‘qqilarini taqqoslash uchun odatda turli xil tabiatli energiya yo‘qolishiga mos keluvchi cho‘qqi intensivliklari birlamchi elektronlarning E_P energiyasiga va dastaning nishon sirtiga φ tushish burchagiga turlicha bog‘liqligidan foydalaniladi. XEES cho‘qqilarini izohlashda quyidagi qonuniyatlarga asoslanish zarur. E_P ning ortishi bilan sirtiy plazmon cho‘qqisining amplitudasi hajmiy plazmon cho‘qqisi amplitudasiga nisbatan kamayadi, φ ning ortishi bilan esa bu intensivliklar

qarama-qarshi yo‘nalishda o‘zgaradi. Hajmiy plazmon cho‘qqisi amplitudasining zonalararo o‘tish cho‘qqisi amplitudasiga nisbati birlamchi dasta energiyasiga proporsional ortadi. E_P ning barcha qiymatlarida plazmon tebranish cho‘qqilarining intensivliklari zonalararo o‘tish cho‘qqilari intensivliklariga nisbatan ancha katta bo‘ladi.

Shunday qilib, XEES cho‘qqilari intensivliklarining energiya va burchakka bog‘liqligini o‘rgana borib turli xil energiya yo‘qotishlar tabiatini aniqlash va shu bilan birga qattiq jism sirtining elektron tuzilishi haqida ma’lumotlar olish mumkin. Masalan, plazmonning uyg‘onish energiyasini bilgan holda berilgan moddaning valent elektronlari konsentratsiyasini aniqlash mumkin.

Sirtiy plazmonlar chastotasi o‘rganilayotgan material sirtining dielektrik doimiysiga juda sezgir. Shuning uchun sirtiy plazmonlar uyg‘onishi bilan bog‘liq xarakterli energiya yo‘qotish cho‘qqilarini tahlil qilish yupqa plyonkalar hosil qilish, tozalash, kataliz, adsorbsiya va shu kabi jarayonlarni o‘rganishda foydali ma’lumotlar berishi mumkin; elektronlar sathlarining ionlashishi bilan bog‘liq cho‘qqilarni o‘rganish esa material sirtiga yaqin qatlamlarning kimyoviy tarkibini tahlil qilishning effektiv vositasi hisoblanadi.

Kichik (I-100 eV) va o‘rta (100-2000 eV) energiyali elektronlar bilan “o‘qqa tutilgan” qattiq jism yuzasida sodir bo‘ladigan oddiy jarayonlarni o‘rganish, sirtning elektron va kristall tuzilishi to‘g‘risida, moddaning sirtga chiqish qatlamining element tarkibi va undagi atom zarralarining kimyoviy bog‘lanishlari haqida, o‘rganilayotgan namuna – moddaning emission xossalariga va chiqish ishi to‘g‘risida, hamda turli faktorlar ionli implantatsiya, plyonkaning changlanishi elektron “o‘qqa tutish” qizish va hokazo ta’sirida moddaning zikr etilgan parametrlarining o‘zgarishi to‘g‘risida mufassal ma’lumot olish imkonini beradi.

Bunga muvofiq holda sirt diagnostikasi uchun amalda quyidagi ikkilamchi emission spektroskopiya usullaridan foydalaniladi:

- ikkilamchi elektron emissiya koeffitsiyentlarini va ularning birlamchi dastani tushish burchagi va energiyasiga bog‘liqligini o‘lchash;
- sekin elektronlar difraksiyasi;

- oje – elektronlar spektroskopiyasi;
- elektronlar energiyasining xarakteristik yo‘qotish spektroskopiyasi;
- haqiqiy ikkilamchi elektronlar spektroskopiyasi;
- kichik energiyalar $E_p \leq 100$ eV sohasida elastik qaytgan elektronlar spektroskopiyasi.
- chegaraviy potensiallar spektroskopiyasi.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Adamchuk V.K., Fedosenko S.I. Issledovaniye protsessa formirovaniya kontaktov poluprovodnik – metall metodom fotoelektronnoy spektroskopii // Izv. AN. SSSR. Ser. Fizicheskaya. 1979. t.43, № 3. S. 523 – 528.
2. Aliyev A.A., Xakimov A. Stimulirovaniye vtorichnoy ionnoy emissii putem implantatsii ionov metallov v tverdoye telo. VIP-14. Rossiya. 1999. t.1, s. 302 – 305.
3. Arifov U.A. Vzaimodeystviye atomnix chastits s poverxnostyu tverdogo tela. M.: Nauka. 1968. S. 22 – 24, 242 – 243.
4. Arsenyeva-Geyl A.N. Vneshniy fotoeffekt s poluprovodnikov i dielektrikov. M.: Texn-teor. lit. 1957. 224 s.
5. Bronshteyn I.M. Frayman B.S. Vtorichnaya elektronnaya emissiya.- M.: Nauka, 1969, -108 s.
6. Normurodov M.T., Umirzakov B.YE. Vliyaniye ionnoy implantatsii na emissionniye svoystva Pd-Ba. Moskva. Elektronika SVCH. 1991. № 10, S. 28 –30
7. Wells O.C. Scanning Elektron Microscopy, Mc Grow-Hill, New York, 1979
8. . http://perst.isssph.kiae.ru/Inform/perst/2004/4_22/index.htm
9. http://vivovoco.rsl.ru/VV/JOURNAL/NATURE/04_06/MAGIC.HTM