

УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕУПРУГО ОТРАЖЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ОТ ВЕЩЕСТВА В УСЛОВИЯХ РЕНТГЕНСПЕКТРАЛЬНОГО МИКРОАНАЛИЗА

Н. П. ИЛЬИН, А. Е. КИРАКОСЯН, О. П. ФЕДОРОВ

Изучена зависимость спектра неупруго рассеянных электронов от угла вылета φ в условиях рентгеноспектрального микроанализа вещества.

Получено угловое распределение для элементов Al , Cu и W в широком интервале энергий от 3 кэВ до 30 кэВ.

В работе [1] нами исследованы зависимости спектров неупруго отраженных электронов а) от атомного номера элементов, б) от значения энергии первичных электронов. Получены спектры для следующих элементов: C , Al , Fe , Co , Ni , Cu , Zn , Nb , Mo , Cd , W и Bi . В указанной работе найдено, что значение максимальной интенсивности I_{max} в спектре неупруго отраженных электронов линейно зависит от порядкового номера элемента (Z).

Кроме изучения зависимости спектров неупруго отраженных электронов от атомного номера элементов и от значения энергии первичных электронов, очень важно изучить угловое распределение этих электронов в широком интервале углов. Изучение углового распределения неупруго рассеянных электронов от разных элементов дает возможность определить эффективную глубину проникновения электронов с данной энергией, что важно для повышения точности рентгеноспектрального микроанализа.

Действительно, если электрон падает нормально к поверхности образца и проходит путь (x) (рис. 1), затем, взаимодействуя с атомом

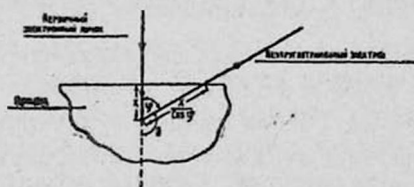


Рис. 1.

образца, рассеивается под углом θ (угол выхода $\varphi = \pi - \theta$), то ясно, что общий путь (y), пройденный электроном в образце (рис. 1), равен

$$y = x + \frac{x}{\cos \varphi}. \quad (1)$$

С другой стороны, из обобщенного закона Виддингтона [2] имеем

$$E_p^n - E^n(y) = c y^n, \quad (n > 2), \quad (2)$$

где E_p — значение энергии падающих электронов, $E(y)$ — значение энергии электронов, прошедших путь (y) , в образце, C — постоянная, ρ — плотность образца.

Таким образом, зная значение энергии падающих электронов (E_p), измеряя энергии $E(y)$ неупруго отраженных электронов после выхода из образца и зная плотность образца, мы можем из формулы (2) определить значение (y) . А из уравнений (1) и (2) можно определить глубину проникновения (x) электрона и, следовательно, зону рассеяния электронов при различных значениях энергии неупруго отраженных электронов, а также потери энергии по разным направлениям (φ) .

В связи с этим перед нами поставлена цель изучить угловое распределение спектра неупруго отраженных электронов.

По этому вопросу в литературе имеются работы Джонкера [3], Бернса [4] и Алексеева [5] для энергии от 15 эв до 0,8 кэв.

В работе Джонкера [3] изучено угловое распределение вторичных электронов для поликристаллического никеля при энергии падающих электронов $E_p = 25 \text{ эв} \div 450 \text{ эв}$ при нормальном и наклонном падении первичного электронного пучка. При нормальном падении первичного электронного пучка получается косинусоидальное распределение, а при наклонном падении получается угловое распределение с пиком по направлению зеркального отражения.

При монокристаллической мишени на общем фоне косинусоидального распределения получается тонкая структура по направлениям плотной упаковки, а при нагреве тонкая структура исчезает [4, 5].

В работе Кантера [6] рассмотрено угловое распределение для элементов Al , Cu , Ag и Au при энергии падающих электронов $E_p = 10 \text{ кэв} \div 70 \text{ кэв}$ при помощи цилиндрического электростатического анализатора.

Однако необходимо отметить, что 1) в работе Кантера исследование проведено анализатором с разрешающей способностью $\frac{\Delta E}{E} = 0,03$ и

2) в литературе имеются данные при значениях энергии падающих электронов от 25 эв до 1,5 кэв и от 10 кэв до 70 кэв, а при значении энергии от нескольких кэв до 10 кэв данные в литературе отсутствуют.

Особенно важно изучить этот интервал энергий, так как при проведении рентгеноспектрального анализа легких элементов необходимо знать закономерности взаимодействия электронов с веществом при таких энергиях.

Цель настоящей работы — изучить угловое распределение неупруго рассеянных электронов от твердых тел при энергии первичных электронов $E_p = 3 \text{ кэв} \div 30 \text{ кэв}$ с помощью малогабаритного электромагнитного спектрометра высокой разрешающей способности $\frac{\Delta E}{E} = 0,015$ в условиях рентгеноспектрального микроанализа вещества.

Исследование углового распределения таких электронов проводилось на установке, собранной на базе электронографа ЭМ-4, которая подробно описана в [1].

Для съема угловой зависимости неупруго рассеянных электронов первичный пучок направляли в точку образца, через которую проходит ось вращения рычага, на конце которого находится анализатор (рис. 2). Входная щель электромагнитного спектрометра обращена к точке падения первичного пучка. Вращение рычага в интервале углов вылета от 0 до 90° осуществляется при помощи реверсированного электромотора. Угол вылета определяется углом между нормалью к поверхности образца и направлением вылета электрона, падающего на вход-

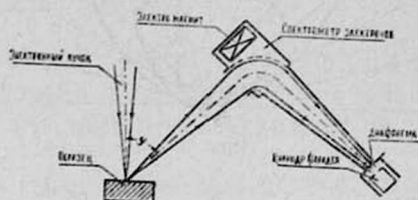


Рис. 2.

ную щель спектрометра. Ввиду того, что в интервале углов от 0 до 30° корпус анализатора преграждает путь первичному пучку, вследствие этого съем проводили в интервале углов вылета от 30° до 90°.

Обратно рассеянные электроны, разложенные в спектр анализатором, записываются на самопишущем потенциометре. Затем строится векторная диаграмма зависимости максимальной интенсивности $I_{\max}$ [пик на спектре] от угла вылета φ .

Угловые зависимости $I_{\max}$ от φ для элементов Al , Cu и W при $E_p = 3$ кэв приведены на рис. 3, а при $E_p = 30$ кэв для тех же элементов приведены на рис. 4. При $E_p = 3$ кэв для Al угловая зависимость представляет собой косинусоидальное распределение, т. е. $I_{\max} = I_0 \cos \varphi$.

Для Cu диаграмма углового распределения вытянута в сторону падения первичного электронного пучка, а для W угловое распределение (рис. 3) более вытянуто в сторону нормали образца, чем у Cu .

При $E_p = 30$ кэв для Al и Cu угловое распределение представляет собой косинусоидальное распределение, а для W угловое распределение отличается от косинусоидального тем, что чуть сплюснуто по направлению падающего пучка.

Значение $I_{\max} = 3 \cdot 10^{-11}$ а для Al при $\varphi = 37,5^\circ$ для $E = 30$ кэв, а для других элементов значения $I_{\max}$ не приведены, так как их можно найти из линейной зависимости $I_{\max}$ от атомного номера элемента.

Из рис. 3 и 4 видно, что при $E_p = 3$ кэв для средних и тяжелых элементов рассеяние происходит под большими углами и выявляется „парабола“ рассеяния. А для легких элементов независимо от значения энергии E_p первичных электронов распределение рассеянных электронов получается косинусоидальным. То же самое получается для средних эле-

ментов при больших энергиях $E_p = 30$ кэв. Например, для *Cu* угловое распределение неупруго отраженных электронов косинусоидально.

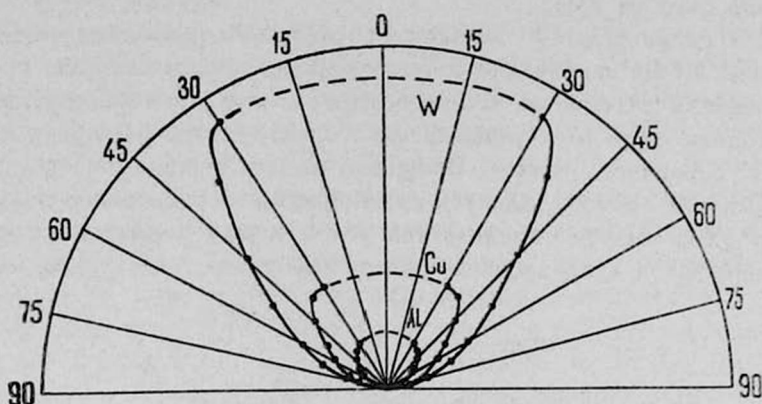


Рис. 3.

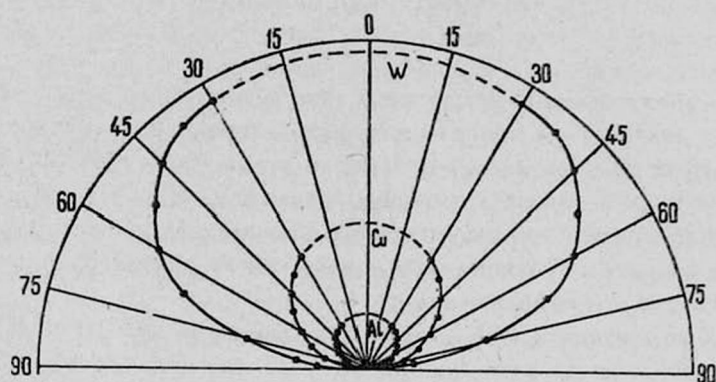


Рис. 4.

В ы в о д ы

1. Получена зависимость значения интенсивности пика на спектре неупруго отраженных электронов от угла вылета φ для элементов *Al*, *Cu* и *W* в широком интервале энергий первичных электронов $E_p = 3 \div 30$ кэв.

2. Обнаружено, что: а) для легких элементов (*Al*) угловое распределение $I_{\max}$ от φ косинусоидально, т. е. $I_{\max} = I_0 \cos \varphi$ в интервале энергий первичных электронов $E_p = 3 \div 30$ кэв, б) для средних (*Cu*) и тяжелых (*W*) элементов при $E_p = 3$ кэв имеем параболическое распределение, обратное первичному пучку, при $E_p = 30$ кэв имеет место косинусоидальное распределение для средних элементов, а для тяжелых элементов — сплюснутое распределение по направлению падающего пучка.

3. В интервале энергий $E_p = 10 \div 30$ кэв угловое распределение $I_{\max}$ от φ для данного элемента не зависит от значения энергии E_p , т. е.

при энергии $E_p = 10$ кэв имеем такое же распределение, как и при энергии $E_p = 30$ кэв.

Ереванский госуниверситет

Поступила 30.III.1971

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. И. П. Ильин, А. Е. Киракосян, О. П. Федоров, Изв. АН АрмССР Физика, 6, (1971).
2. Н. Г. Находкин, А. А. Остроухов, В. А. Романовский, ФТТ, 4, 1514 (1962).
3. J. L. H. Jonker, Philips Res. Rep. 8, 434 (1953), 12, 249 (1957).
4. J. Burns, Phys. Rev. 119, 102 (1960).
5. В. А. Алексеев, В. А. Борисов, ФТТ, 4, 265 (1962).
6. H. Kanter, Ann. Phys. 20, 144 (1957).

ՆՅՈՒԹԵՐԻՑ ՈՉ ԱՌԱՋԳԱԿԱՆ ԱՆԴՐԱԴԱՐՁԱՄ ԷԼԵԿՏՐՈՆՆԵՐԻ ՍՊԵԿՏՐԻ ԱՆԿՅՈՒՆԱՅԻՆ ԲԱՇԽՈՒՄԸ ՌԵՆՏԳԵՆՆՅԱՆ ՍՊԵԿՏՐԱԼ ՄԻԿՐՈԱՆԱԼԻԶԻ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ

Ի. Պ. ԻԼՅԻՆ, Ա. Ե. ԿԻՐԱԿՈՍՅԱՆ, Օ. Պ. ՖԵՈԴՈՐՈՎ

Ուսումնասիրված է ունեղենայան սպեկտրալ միկրոանալիզի պայմաններում ոչ առաձգական էլեկտրոնների սպեկտրի կախումն էլքի ֆանկցիոնից Al , Cu և W էլեմենտների համար, երբ սկզբնական էլեկտրոնների էներգիան փոփոխվել է $E_p = 3 \div 30$ կէվ սահմաններում:

Ստացված է, որ սպեկտրի մաքսիմալ ինտենսիվության կախումը էլքի ֆանկցիոնից, երբ $E_p = 3$ կէվ միջին (Cu) և ծանր (W) էլեմենտների համար տեղի ունի պատման պարարտությունից պայմանավորված, իսկ թեթև (Al) էլեմենտի համար՝ $I_{max} = I_0 \cos \varphi$ բաշխումով: Նույնպիսի՝ ալիքներ $I_{max} = I_0 \cos \varphi$ բաշխումով առաջանում է 30 կէվ արժեքի դեպքում, իսկ ծանր (W) էլեմենտի համար կոսինուսիդական բաշխումը տարբերվում է նրանով որ նա սեղմված է առաջնային էլեկտրոնային փնջի ուղղությամբ:

Էներգիայի $E_p = 10 \div 30$ կէվ արժեքների դեպքում տվյալ էլեմենտից ստացված բաշխումը կախված չէ E_p աղմուկից, ալիքներ $E_p = 10$ կէվ համար ունենք նույն բաշխումը ինչ որ $E_p = 30$ կէվ դեպքում:

ANGULAR DISTRIBUTION OF BACKSCATTERED INELASTIC ELECTRONS IN X-RAY SPECTRAL MICROANALYSIS OF SUBSTANCE

N. P. ILEEN, A. E. KIRAKOSSIAN, O. P. FEODOROV

The dependence of backscattered electron spectrum on the emission angle φ in X-ray spectral microanalysis of substance is studied. The angular distributions for Al , Cu and W are obtained, the energy interval being from 3 to 30 keV.