

### Дәріс 3 Жарықтандырушы электрондық микроскоп, жұмыс істеу режимі, электрондардың затпен әсерлесуі

#### Дәріс жоспары:

- 1 Жарықтандырушы электрондық микроскоп
- 2 Электрон шоқтарының затпен әсерлесуі
- 3 Серпімді және серпімсіз шашырау

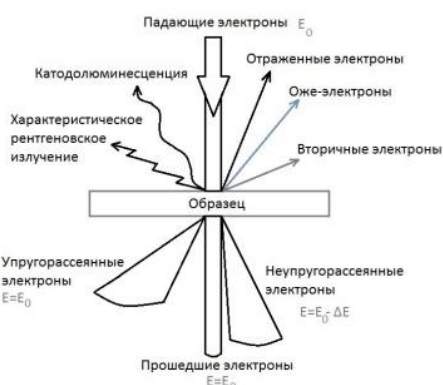
Жарықтандырушы электрондық микроскоп – жоғары энергиялы электрондар шоғымен жұқа (әдетте 100 нм-ден аз) үлгілерді бақылау әдісі. Жарықтандырушы электронды микроскоптың жарықтандыру жүйесімен қалыптастырылған электрон шоқтары зерттеліп отырған үлгіден өтіп шашырайды, яғни өзінің қозғалыс траекториясын өзгертеді. Электрон шоқтары интенсивтілігі үлгі арқылы өткеннен кейін интенсивтіліктің кеңістікте таралуы түскен электрондардың үлгімен әрекеттесуіне байланысты өзгереді. Электромагнитті линзалардың жүйесі арқылы үлгі зерттеу барысында кескін қалыптасады және үлкейтіледі, ол детекторға барып түседі, детектор люминесцентті экраннан, фотопластикадан тұрады.

Толқын ұзындығы аз электрондарды қолдану арқылы ажырату қабілеті (разрешение) жоғары кескіндерді алуға болады. Егер, үлгіге түскен электрондардың энергиясы 100кВ болса, онда электромагнитті сәулелің толқын ұзындығы 0,004 нм болады және атом өлшемінен әлдеқайда кіші. Алынған кескіннің интерпретациясы кезінде «электрондық тығыздық» деген ұғым қолданылады. Электронды тығыз құрылым түсінігі – бұл электрон шоқтарын қатты шашыратады немесе жұтады деп түсіну керек. Электрондық тығыздық ол үлгінің қалыңдығына және орташа атомдық нөмеріне байланысты. Атомдық нөмерлері өте аз элементтер электрондарды әлсіз шағылдырады. Сондықтан мысалы биологиялық объектілердің электрондық тығыздығын арттыру үшін, сәйкесінше электрондардың шағылуын күшейту үшін контрастты жоғарылату керек, ол үшін зерттелетін биологиялық объектілерге ауыр металлдың тұздарын енгізеді.

Жарықтандырушы электрондық микроскоп зерттеліп отырған үлгінің морфологиясын, құрылымын, элементтік құрамын анықтап береді.

#### Электрон шоқтарының затпен әсерлесуі

ЖЭМында үлгіні жоғары энергиялы электрондармен сәулелендіру кезінде электрондар үлгі материалының атомдарымен әрекеттесуі және үлгі атомдарының ядроларымен және электрондарымен электростатикалық әрекеттесу нәтижесінде қозғалыс траекториясының өзгеруі мүмкін.



Сурет 1 Электрон шоқтарының затпен әсерлесуі

Катодтан шыққан электрондар үлгідегі атомның ядросымен немесе электронымен әсерлесуі нәтижесінде шашыраған электрондарды серпімді шашыраған (ядромен әсерлесу) және серпімсіз шашыраған (үлгінің электрондарымен) электрондар деп бөлуге болады.

Бірінші жағдайда, яғни серпімді шашырау кезінде катодтан ұшып келген электрондар мен ядроның массаларында айырмашылық өте көп болғандықтан энергия алмасу болмайды, сондықтанда бұндай әсерлесу кезінде түскен электрондар энергия жоғалтпайды. Серпімді шашырау кезінде электрон үлгі атомының ядросына жақын өткенде үлкен бұрышқа ауытқуы мүмкін (50 мрад тан үлкен). Бұндай шашырау Резерфорд шашырауы деп аталады. Егер электронның қозғалыс траекториясы 90 градусқа ауытқитын болса ( $\pi/2$ , немесе 1,57 рад), онда электрон үлгінің бетін тастап кетуі мүмкін (шағылған электрондар). Көптеген электрондар электростатикалық өріс әлсіз болатын ядродан алыс жерден өтеді. Осыған сәйкес көптеген электрондардың шағылу бұрышы аз, 100кВ энергиямен түскен электрондар үшін 10-100 мрад аралығында болады. Кристаллдық үлгілерді зерттеу барысында, электрондардың толқындық табиғатын ескере отырып электрондардың дифракциясы байқалады. Электрондық дифракция серпімді шашыраудың бір түрі ретінде қарастырылады.

Серпімсіз шашырау жағдайында, түскен электрондар үлгінің электрондарымен әсерлеседі. Бұл жерде бірнеше әсерлесуді қарастыруға болады:

а) Атомның ішкі қабықшасындағы бір ғана электронмен әсерлесу. Егер, атомның ішкі қабықшасындағы электронға энергия берілсе, және ол энергияның шамасы берілген электрондық қабат үшін иондану энергиясына тең немесе одан үлкен (әдетте бірнеше оннан бірнеше мың эВ-қа дейін, шашырау бұрыштары 10 мрадқа тең болады) болса, онда электрон негізгі күйден қозған күйге ауыса алады. Ал оның орнына байланыс энергиясы төмен сыртқы немесе ішкі қабықшадағы электрон алады.

Берілген электрондық қабат үшін иондану энергиясына тең немесе одан жоғары энергия атомның ішкі қабатындағы электронға ауысқан жағдайда (әдетте бірнеше оннан бірнеше мың эВ-қа дейін, шашырау бұрыштары 10 мрадқа тең болады). энергиясы 100 кВ электрондар үшін) электрон негізгі күйден қозған күйге ауыса алады. Бұл жағдайда артық энергия рентгендік кванты немесе Оже электроны түрінде шығарылуы мүмкін.

б) Атомның сыртқы қабықшасындағы бір электронмен әсерлесе. Егер де өткізгішті қарастыратын болсақ, электронның қозған күйге өтуі бір зонаның төңірегінде болады, бұл жағдайда үлгінің бетінен екінші ретті электрондардың эмиссиялануы (шығуы) мүмкін. Егер де жартылай өткізгіш немесе изоляторды қарастырсақ, онда зона аралық ауысу жүреді (шашырау бұрышы 1-2 мрад, ауысу энергиясы бірден ондаған эВ). Релаксация кезінде артық энергия жарық кванты (катодолюминесценция) немесе жылу арқылы бөлінуі мүмкін.

в) валенттік электрондардың тербелістерінің коллективті қозуы – плазмон. Плазмон энергиясы  $E_p = \hbar\omega$ , мұндағы  $\hbar$  – Планк тұрақтысы,  $\omega$  – плазмонның тербеліс жиілігі, ол валенттілік электрондарының тығыздығының квадрат түбіріне пропорционал. Көптеген қатты заттар үшін ол 5—30 эВ.

Шашырау процестерін сипаттайтын шама шашыраудың көлденең қимасы болып табылады:

$$\sigma = \frac{N}{n_m n_e},$$

Мұндағы,  $N$  - көлем бірлігіне шаққандағы оқиғалар саны (мысалы, серпімді шашырау оқиғаларының саны, ішкі қабықтардың қозуы және т.б.),  $n_m$  – бірлік көлемдегі атомдар саны,  $n_e$  – бірлік ауданға түсетін, бірінші ретті электрондар саны.

Жоғарыда аталған процестердің әрқайсысы үшін шашыраудың көлденең қималарын есептеу (жартылай шашырау көлденең қималары) айтарлықтай күрделі және кванттық механикалық әдістермен орындалады. Шашырау ықтималдығы үлгінің құрамындағы элементтің атомдық нөміріне, үлгінің қалыңдығына және электрон шоқтарының энергиясына байланысты болуы мүмкін. Шашыраудың көлденең қимасы неғұрлым үлкен болса, соғұрлым процесстің ықтималдығы жоғары.

**Дәрісті бекіту сұрақтары:**

- 1 Жарықтандырушы электрондық микроскопқа берілетін үдетуші кернеудің мәні қандай?
- 2 Серпімді және серпімсіз шашырау кезінде қандай сигналдар тіркеледі?
- 3 Шашырау процесстерін қалай сипаттайсыз?

Әдебиеттер тізімі:

1. Алфимова, М.М. Занимательные нанотехнологии / М.М. Алфимова. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. - 823 с.
2. В.И. Марголин и др. Введение в нанотехнологию / В.И. Марголин и др. - М.: Лань, 2012. - 464 с.
3. Пашкеев, И.Ю. Самойлова, О.В. Растровая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ / Учебное пособие. Челябинск: ЮУрГУ, 2015. – 47 с.
4. Криштал М. М., Ясников И. С., Полуниин В. И., Филатов А. М., Ульяенков А. Г. Сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ Техносфера, Москва, 2009 г.
5. Griffiths G. The Use of Electron Microscopy in Cell Biology. MCB, 2004, 68 p.