

Дәріс 7 Электрөкүштік микроскопия. Магнитті-күштік микроскопия. Жақынөрісті оптикалық микроскопия.

Дәрістің жоспары:

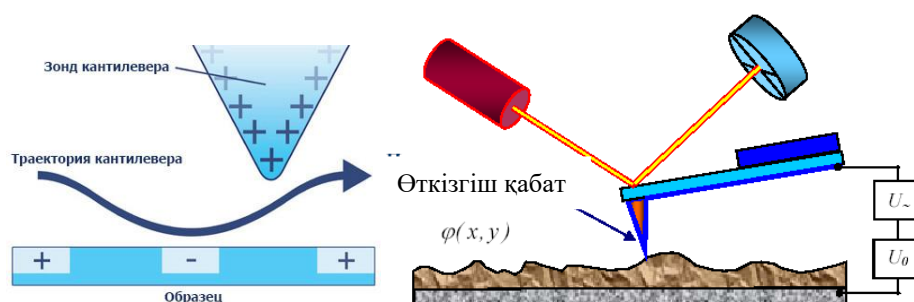
1 Электрөкүштік микроскопия.

2 Магнитті-күштік микроскопия.

3 Жақынөрісті оптикалық микроскопия.

1 Электрөкүштік микроскопия.

Электрөкүштік микроскопияда беттің қасиеттері туралы ақпараттар алу үшін зонд пен беттің арасында болатын электрлік әсерлерді қолданады. Өткізгіш қабаты бар зонд пен жақсы өткізетін затқа отырғызылған жұқа қабатты материал ретінде келген үлгіні қарастырайық. Кантилевер 1-суретте көрсетілгендей үлгі бетінің зарядталған аймақтарының электростатикалық күштерімен ауытқиды.



Сурет 1 - Зонд пен үлгінің электрлік әсерлесуін өлшеудің схемасы.

Зонд пен үлгінің арасына U_0 тұрақты кернеу мен $U_{\sim} = U_1 \cdot \sin(\omega t)$ айнымалы кернеу берілсін. Егер үлгі отырғызылатын заттағы жұқа қабат жартылай өткізгіш немесе диэлектрик болып келсе, онда оның үстінде беттік заряд болуы мүмкін, сондықтан үлгінің бетінде $\varphi(x, y)$ потенциалдың үлестірілуі болады. Зонд пен үлгінің бетінің арасындағы кернеуді келесідей түрде келтіруге болады:

$$U = U_0 + U_1 \sin(\omega t) - \varphi(x, y).$$

Зонд-үлгі жүйесі электрлік сымдылыққа ие болады, сондықтан осындай жүйінің энергиясын келесідей түрде келтірілуі мүмкін:

$$E = \frac{CU^2}{2}.$$

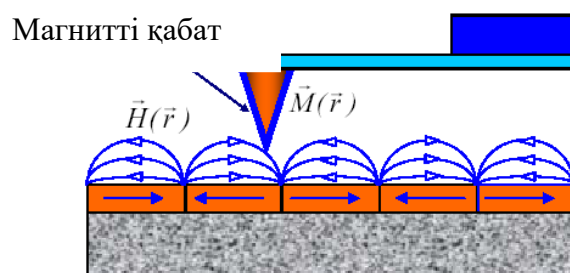
EFM кескіні үлгінің электрлік қасиеттері туралы ақпаратты береді, соның нәтижесінде беттік потенциалды және үлгі бетіндегі зарядтың таралуын қамтиды. Заряд шамасына пропорционал болатын кантилевердің ауытқу шамасы стандартты консольді-тербелмелі жүйе көмегімен өлшенеді. Сондықтан да, EFM үлгі бетіндегі зарядтардың таралуын зерттеуді. Мысалы, EFM электр қуатын қосу және өшіру кезінде электр тізбегінің электростатикалық өрісін көрсетуге қабілетті. Бұл әдіс «кернеуді зондтау» деп аталады және микрон диапазонында микропроцессорлық платаларды тексеру барысында ең маңызды құрал болып табылады.

EFM үшін үлгінің беттік қасиеттері электрлік қасиеттер мен өзара әрекеттесу күші – зонд пен кернеу берілген үлгі арасындағы электростатикалық күш болып табылады. Электростатикалық күштен бөлек зонд пен үлгі арасында Ван Дер Вальс күші де әсер етеді. Бұл күштердің шамасы зонд пен үлгінің ара-қашықтығына тәуелді болады, сондықтан да бұл зерттеу әдісі арқылы үлгінің беттік топографиясын анықтауға болады. Сәйкесінше қабылданатын сигнал екі сымды болып табылады және оған Ван-дер-Вальс күштері мен электростатикалық әсерлерден туындайтын беттік топография деректері (топографиялық

сигнал) және беттің электрлік қасиеттерін көрсететін (EFM сигналы немесе контраст деп аталады) деректер кіреді.

Магнитті-күштік микроскопия.

Магниттік күштік микроскопия (MFM) электрлік күштік микроскопияның бір түрі болып табылады және үлгілердің магниттік қасиеттерін зерттеу үшін қолданылады. Әдісті жүзеге асыру үшін зонд ферромагнитті қасиеті бар материалдан жасалады, немесе зондқа ферромагнитті материалдың қабаты жағылады. МКМ зерттеу жүргізу үшін екі жүрісті әдіс қолданылады. Бірінші жүрісте рельефтің АҚМ кескіні алынады, екінші жүрісте датчик үлгінің рельефін қайталайтын траектория бойымен зерттелетін үлгі бетінен Z_0 қашықтықта қозғалады. Z_0 қашықтығы Ван-дер Ваальс күшінің, яғни молекулааралық және атомаралық әсерлесу күші магниттік әсерлесу күшінен аз болатындай етіп таңдалу керек. Әрбір нүктедегі зонд сенсоры мен беттің арасындағы қашықтық тұрақты, сондықтан сканерлеу кезінде кантилевер иілу өзгерістері үлгі жағынан зондқа әсер ететін магниттік күштердің біркелкі еместігімен байланысты болады. Бұл өлшеу жүйелерінің көпшілігі атомдық ажыратымдылықпен (атомное разрешение) сипатталады, сканерлеудің ең төменгі қадамы 0,01 ден 0,001 нм-ге дейін, ал кадрдың максималды өлшемі 100x100мкм-ден аспайды. Зонд құрылғыларының басып көпшілігі атомдық рұқсатқа дейін жоғары ажыратымдылықтағы микроскопия мәселелерін шешу үшін шығарылады және үлгілердің топографиясын зерттеудің ең тиімді әдісі болып табылады.

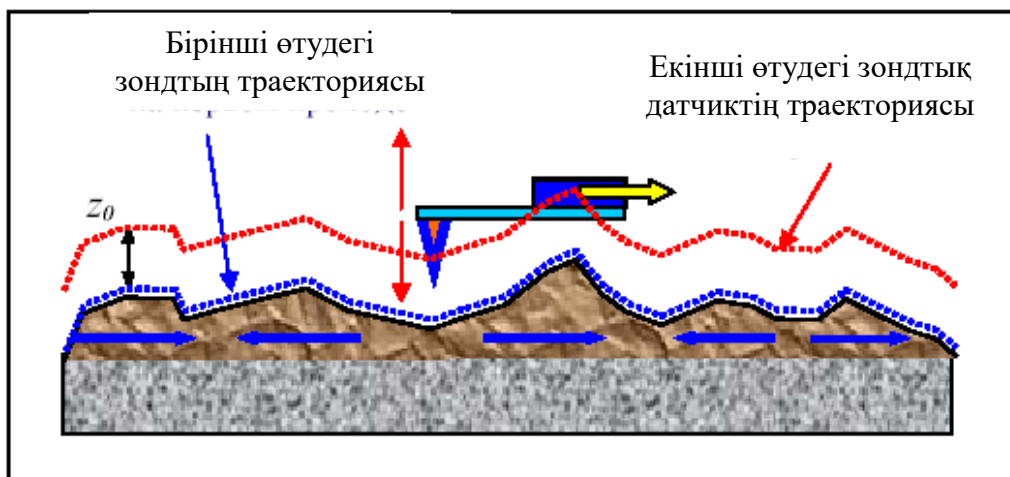


Сурет 2 - Үлгінің магнитті өрісіндегі МКМ зонд.

МКМ-ның квазистатикалық әдістемелері.

Әлсіз дамыған бет бедеріне ие болатын үлгі бетінің МКМ бейнесін келесідей жолмен алады. Сканирлеу процесі кезінде зондтық датчик үлгіге қатысты $h=const$ биіктікте қозғалады. Бұл жағдайда оптикалық жүйемен тіркелетін кантилевердің майысуының шамасы, зондтың үлгімен магниттік әсерлесу күші ретінде алынатын, $F(x,y)$ МКМ бейне ретінде жазылады.

Бет бедері қатты дамыған магнитті үлгілерді МКМ зерттеу үшін екі ретті өту әдістемесі қолданылады. Сканерлеудің әрбір жолында келесідей процедуралар жасалады. Бірінші өтуде контактілі немесе жартылай контактілі режимінде бет бедерінің АҚМ бейнесі түсіріледі. Одан кейін зондтық датчик беттен z_0 ара қашықтыққа алыстатылады да, қайтара сканерлеу жүргізіледі (89 – сурет). z_0 ара қашықтық ван-дер-ваальс күші магниттік әсерлесу күшінен аз болатындай етіп таңдалады.



Сурет 3 - МКМ кейнесін алудың екі ретті өту әдістемесі.

Екінші өтуде датчиктік бетке қатысты үлгінің бет бедерін қайталайтын траектория бойымен қозғалады. Бұл жағдайда зондтық датчик пен беттің арасындағы локальдық ара қышықтық әрбір нүктеде тұрақты болғандықтан сканирлеу процесі кезінде контилевердің майысуының өзгерістері зондқа үлгінің тарапынан әсер ететін магниттік күштердің біртекті еместігімен байланысты. Сонымен, қорытқы МКМ кадры зондтың үлгімен магниттік әсерлесу күшінің үлестірілуін сипаттайтын $F(x,y)$ екі өлшемді функциясы ретінде болады.

Жақынөрісті оптикалық микроскопия.

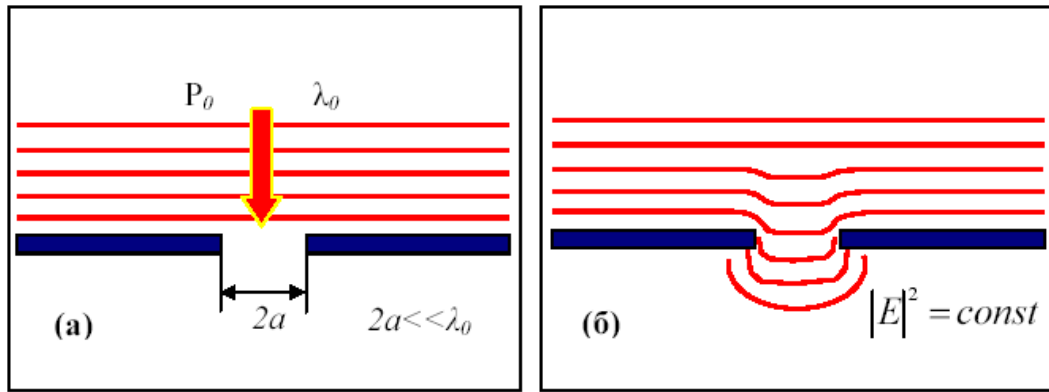
Жақын өрістік оптикалық микроскоп – бұл қарапайым оптикалық микроскопқа қарағанда ажырату қабілеті (разрешение) жақсы оптикалық микроскоп. Ажырату қабілетінің жоғарылауы зерттелетін объектіден жарықтың толқын ұзындығының аз қашықтықта шашырауын анықтау арқылы қол жеткізіледі.

Үлгілердің оптикалық бейнелерін алудың дәстүрлі әдістері жарықтың дифракциясымен байланысты елеулі кемшіліктерге ие болады. Оптиканың негіз болатын заңдарының бірі – дифракциялық шек болып табылады. Ол объектінің минимал өлшемін орнатады, ал ол объектінің бейнесі оптикалық жүйемен λ ұзындығы бар жарықты қолданған кезде құрастырылуы мүмкін:

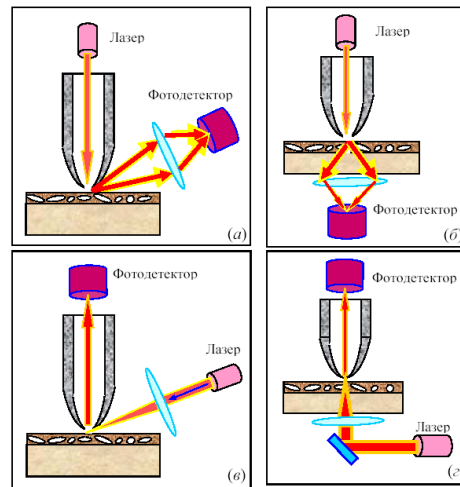
$$R \approx \frac{\lambda}{2n},$$

мұндағы n – ортаның сыну көрсеткіші. Толқындардың ұзындықтарының оптикалық диапазоны үшін шекті өлшем жуықтап 200÷300 нм құрайды. Жақынөрісті оптикалық микроскопияда объектінің бейнесін құруда басқа принциптер қолданылады, олардың көмегімен жарықтың дифракциясымен байланысты қиындықтарды ескеруге және 10 нм және одан да жақсы деңгейде кеңістіктік мүмкіндіктерге қол жеткізуге мүмкіндік береді.

Жақынөрісті оптикалық микроскоп (ЖОМ) Дмитрий Польшен (IBM фирмасының лабораториясы, Цюрих қаласы, Швейцария) 1982 жылы туннельдік микроскоптың жасалған мерзімінен көп ұзамай-ақ жасалынған болатын. Бұл қондырғының жұмысының негізінде жарықтың субтолқындық диафрагмалардан (түсетін сәулеленудің толқын ұзындығынан көп кіші диаметрге ие болатын тесіктер) өту құбылысы қолданылады.



Сурет 4 – Субтолқындық апертурасы бар экрандағы тесіктен жарықтың өтуі, (б) – Субтолқындық тесік ауданындағы оптикалық сәулеленудің тұрақты интенсивтілігінің сызығы.



Сурет 5 -Жақынөрісті оптикалық микроскоптың мүмкін болатын құрылымдары.

Дәрісті бекіту сұрақтары:

- 1) Электрлік күштік микроскоптың жұмыс істеу принципін түсіндіріңіз?
- 2) Магниттік күштік микроскоптың жұмыс істеу принципін түсіндіріңіз?
- 3) Дифракциялық шекті есептеңіз?

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. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии РАН Институт физики низкоструктур, г. Нижний Новгород, 2004. -110с.
4. Пашкеев, И.Ю. Самойлова, О.В. Растровая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ / Учебное пособие. Челябинск: ЮУрГУ, 2015. – 47 с.
5. Криштал М. М., Ясников И. С., Полунин В. И., Филатов А. М., Ульяненокв А. Г. Сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ Техносфера, Москва, 2009 г.
6. Griffiths G. The Use of Electron Microscopy in Cell Biology. MCB, 2004, 68 p.