МИКРО- ВА НАНОТУЗИЛМАЛАРНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШНИНГ ОПТИК МЕТОДЛАРИ

Ў.ИБРАГИМОВА, Ф.Л.ОМОНБОЕВ, Л.О.ОЛИМОВ, И.Н.КАРИМОВ

Мақолада конфокал микроскоп ёрдамида микро- ва нанотузилмаларни локал ўрганиш методи моҳияти ва уни қўллаш жараёни баён қилинади.

Калит сўзлар: *конфокал микроскоп, микро- ва нанотузилмалар, оптик микроскоп, лазерлар, атом, молекула, донор, акцептор.*

В статье изложена сущность метода локального анализа микро- и наноструктур с помощью конфокальной микроскопии и процесс его применения.

Ключевые слова: *конфокальная микроскопия, микро- и нано- структура, оптический микроскоп, лазеры, атом, молекула, донор, акцептор.*

The paper discusses the method and the nature of nano diagnostics and local analysis of micro-and nano-structures using confocal microscopy.

Keywords: *confocal microscopy, micro- and nano- structure, optical microscope, lasers, atom, molecule, donor, acceptor.*

Микро- ва наноўлчамли материаллар, уларни олиш технологиялари, улар асосида яратилаётган турли электрон қурилмалар XXI аср фан-техникасининг муҳим ютуқларидан ҳисобланади. Бундай ўлчамдаги материаллар микро- ва наноэлектроника, фотоэнергетика, сенсорика, медицина ва бошқа соҳаларнинг шиддат билан ривожланишига олиб келмоқда. Микро- ёки наноўлчамли тузилмалар олиш мураккаб, ўта аниқликда ишлайдиган қурилма ва методлар ёрдамида амалга оширилади. Бундай тузилмалар ҳақида фикр юритганда, инсоннинг кўриш чегарасидан тортиб турли мураккаб тузилмали микроскопларнинг сезгирлик қобилиятларигача эътиборга олиш лозим. Жумладан, инсоннинг кўриш чегараси 10^{-4} метр бўлиб, инсон кўзи билан 1 миллиметрни ёки игнанинг ип ўтказиладиган тешиги қадар катталикни кўриш мумкин. Лупанинг сезгирлик даражаси эса 10^{-5} метр, яъни миллиметрнинг ўндан бир улушини ташкил қилади. Бироқ микрометр 10^{-6} метрга, нанометр эса 10^{-9} метрга тенг. Кўринадики, оддий кўз ёки лупа ёрдамида микро- ёки нанотузилмаларни ўрганиб бўлмайди. Бундай майда заррачаларни кўриш учун махсус метод ва юқори аниқликдаги микроскоплардан фойдаланилади. Оддий оптик микроскопнинг сезгирлик даражаси 10^{-7} метр, махсус сканер қилувчи микроскопники эса 10^{-8} , 10^{-9} метрни ташкил қилади. Демак, микро- ёки нанотузилмаларни ўрганишда оптик метод ҳамда оптик микроскопларни билиш талаб этилади.

Ҳозирги кунда микро- ва нанотузилмалар тузилиши ва морфологиясини ўрганишнинг бир неча усуллари ишлаб чиқилган. Жумладан, улардан кенг қўлланиладигани оптик ва сканер қилиш методлари ҳисобланади. Бу методларнинг қўлланилиш соҳаси ҳамда методига боғлиқ ҳолда қуйидаги турларга бўлишимиз мумкин:

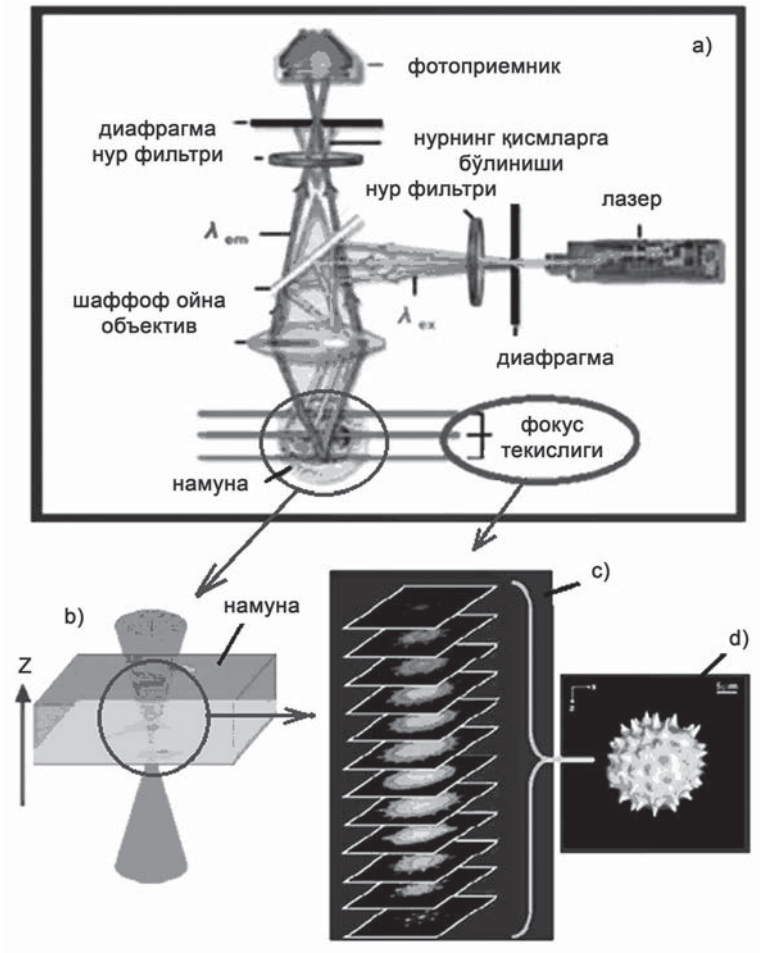
– моддалар диагностикаси ва уларни тадқиқ қилишнинг оптик методлари;

– электрон ва ион нурлар дастаси ёрдамида диагностика ва локал таҳлил қилиш;

– сканер қилувчи зондли микроскоп, спектроскоп ва бошқалар.

Бу методлар юқори вакуум шароитида, махсус микроскопларда амалга оширилиб, намунанинг геометрик ҳамда атомар тузилиши ҳақида тўла маълумот олиш имконини беради. Ҳозирда, бу соҳа билан асосан илмий тадқиқот институтларигина шуғулланади. Олийгоҳларда эса бу соҳанинг ривожланишига кам эътибор берилган. Бироқ бундай қурилма ва методларнинг физик моҳиятини ўрганиш, уларни ўқув жараёнига татбиқ этиш магистр ҳамда бакалаврларни жаҳон стандарти талаблари доирасида таълим олишлари учун имкон яратади.

Конфокал микроскоп оптик микроскоплардан бири бўлиб, бошқа оддий микроскоплар билан таққослаганда, тасвирни сезиларли, юқори даражада кўзга ташланадиган ҳолатда кўрсатади. Бу микроскоп яримўтказгичлар физикаси, биология, медицина, спинтроника ва бошқа соҳаларни илмий тадқиқ этишда кенг фойдаланилади. Конфокал микроскопнинг ишлаши ўрганилаётган модда ҳажмидан қайтган нурларни таҳлил қилишга асосланган (1-расм).



1-расм. **Замонавий сканер қилувчи конфокал микроскопнинг соддалаштирилган схемаси.**

Тадқиқот олиб бориш учун ўрганилаётган намуна тутқичга ўрнатилади (1a-расм). Нурлар дастаси диафрагма ҳамда нур фильтридан ўтиб, шаффоф ойнага, сўнгра ундан объектив орқали намунага тушади. Нур намуна ҳажмида ютилади (1a-расм) ва маълум қалинликларда фокусланади. Натижада ҳар бир қатламга тегишли фокус текисликларини ҳосил қилади (1c-расм). Намуна ҳажмидан қайтган нурлар дастаси қайта объективдан, сўнгра юқорида жойлашган нур фильтрларидан ўтиб, нурлар қисмларга бўлинади. Нурларнинг қисмларга бўлинишини қуйидагича тушунтириш мумкин. Намуна ҳажмида ютилган нурлар ҳар бир қатламда атом ёки молекулалар билан тўқнашиб, нурларнинг тўлқин узунликлари ўзгаради. Нур фильтридан ўтган турли тўлқин узунликдаги нурлар ўзига хос сигналларни беради. Бу сигналлар намуна ҳажмидаги ҳар бир қатламнинг тузилишига хос бўлиб, қатламларнинг атомар ёки молекуляр ҳолатларини ифодалайди. Конфокал диафрагма диаметрини ўзгартириш орқали эса *Z* ўқи бўйлаб (1b-расм) маълум қалинликдаги қатламларга тегишли тасвирлар олинади (1c-расм). Бу фокус текислиги нурнинг қандай қалинликда намуна ҳажмида ютилиши ҳамда ундан қайтишига боғлиқ. Уларни умумлаштириб, намунанинг ўрганилаётган соҳаси ҳақида уч ўлчамли тасвир ҳосил қилинади (1d-расм).

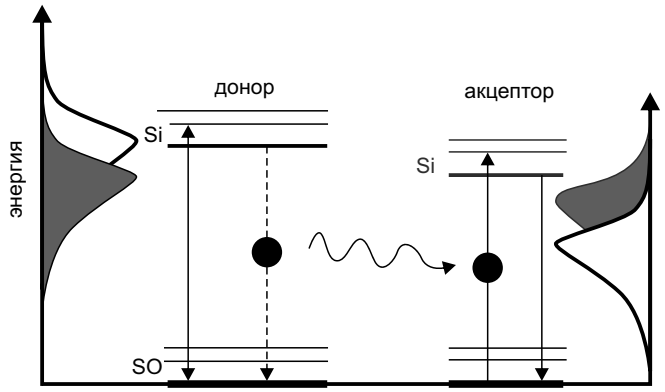
Конфокал микроскопнинг имкониятларидан яна бири энергия узатиш орқали моддадаги донор ёки акцептор сатҳларни аниқлашдир (3-расм). Бу методга асосан донор сатҳдан чиққан энергиянинг спектри ва акцепторнинг нурланиш спектри билан тебранади. Бу жараённи қуйидагича тушунтириш мумкин. Бизнинг фикримизча, нурлар таъсирида молекула ёки атом электрони бир турғун орбитадан бошқа турғун орбитага ўтганда, ёруғлик кванти нурлатади ёки ютади. Бунда чиқарилган ёки ютилган квант энергияси электроннинг орбиталар энергиялари фарқига тенг, яъни $hn=E_n - E_m$.

Бошқача айтганда, нурлар таъсирида донор сатҳ билан акцептор сатҳлар ўртасида ўзаро энергия алмашинуви вужудга келади. Бу орбиталар энергиялари фарқи ёки шу энергияга тенг бўлган донор сатҳ билан акцептор сатҳлар ўртасидаги *r* масофага боғлиқ:

$$E \sim 1/ (1 + (r/R)6) \qquad (1)$$

R – доимий (~ 3 нм).

Бу жараёнда энергия донор сатҳдан акцептор сатҳга узатилади. Натижада энергетик сатҳлар ўртасида тебраниш вужудга келади. Бунда нурланиш интенсивлиги молекулалар ўртасидаги масофага боғлиқ бўлади. Акцепторнинг нурланиш спектри кўриш соҳасига тўғри келиб, конфокал микроскопда қайд этилади. Олинган сигналлар ёрдамида донор ва акцептор сатҳлар аниқланади.



2-расм. **Донор ва акцепторларнинг энергетик сатҳлари схемаси.**

Конфокал микроскоп оддий микроскоплар сингари маълум бир аниқликка эга:

$$d=l/p(NA) \qquad (1)$$

Бу ерда, l – нурланишнинг тўлқин узунлиги, *(NA)=hsina* – объективнинг апература сони, *h* – намуна билан объектив ўртасидаги синдириш кўрсаткичи, a - объектив қабул қилган бурчак ярми.

Рухсат этилган сезгирлик даражаси ~ 250 нм (NA=1,45, n=1,51) ни ташкил қилади. Ҳозирги кунда микроскопларнинг рухсат этилган чегараси ~ 3–10 нм га тенг [4].

Микроскопларда манба сифатида лазер нурларининг қўлланилиши конфокал микроскопнинг ишлаш самарадорлигини янада оширди. Лазерларнинг бошқа ёруғлик манбаларига нисбатан афзаллиги уларнинг монохроматиклиги ва диаметри жуда кичик параллел нурлар дастасидан иборатлигидир. Лазер нурларининг бу хусусияти оптик системали микроскопларнинг ишлаш самарадорлигини ҳамда нурлар дастасиниг фокусланишини оширади, тасвир хиралигини камайтиради. Лазер нурлари ёрдамида ўрганилаётган намуна сирти тўла ёритилмайди, балки керакли соҳанинг ўзи ёритилади. Конфокал диафрагма диаметрини ўзгартириш орқали ҳар бир қатламга тегишли маълумотлар олиш мумкин.

Ўрганилаётган объект ва мақсадга мос ҳолда конфокал микроскопларда турли хилдаги лазерлардан фойдаланилади. Қуйидаги жадвалда конфокал микроскоплар учун мўлжалланган лазерларнинг турлари келтирилган.

1-жадвал

Конфокал микроскоплар учун мўлжалланган лазерларнинг турлари

Лазер турлари	Нурланиш тўлқин узунлиги, нм	Максимал қуввати, МВт
Ар – УВ	351, 364	80
Яримўтказгичли	405	50
He – Cd	442	30
Ar – Kr	488, 568, 647	125
Ar	458, 477, 488, 496, 514	200

He – Ne	543	1,5
Kr	568	40
He – Ne	594	4
He – Ne	633	15
Ти – Сапфире, импульсли	720 – 1000	1 (ўртача қувват)

Хулоса қилиб айтганда, бу методлар нафақат модданинг тузилиши ёки морфологиясини ўрганишда, балки турли модда ёки тузилмалар яратишда ҳам кенг қўлланилади. Бу, биринчидан, микро- ёки наноэлектрониканинг ривожланишида муҳим аҳамият касб этади, иккинчидан, бундай методларни ўрганиш тадқиқотчи, магистрант, бакалаврлар илмий салоҳиятининг юксалишида муҳим аҳамиятга эга.

Адабиётлар:

1. http://www.dia-m.ru/page.php?pageid=47

2. http://www.atm-practica.ru/konfokalnayamikroskopiya//printsiprabotiiu-stroystvokonfokalnogomikroskopa.html.

3. Штейн Г.И. Руководство по конфокальной микроскопии. РАН ИС, Санкт-Петербург. 2007.

4. Stefan W. Hell (2007). «Far-Field Optical Nanoscopy». SCIENCE 316: 1153-1158. DOI:http://www.mpibpc.mpg.de/groups/hell/

Андижон давлат университети,
2014 йил 30 январда қабул қилинган
(Тақризчи: проф. С.Зайнобиддинов)