

Megalehetőségek a nanovilágban

Bartha Beáta és Lőrincz Kincső-Zsófia

Felkészítő tanár: Szász Ágota-Judit
Mentor: Tamáska István

TUDEK 2010

Tartalomjegyzék

I	Nanotechnológia.....	2
I.1	A nanotechnológia fogalma	2
I.2	Megvalósítások	3
II	Fotonikus kristályok	4
II.1	Fotonikus kristályok elmélete	4
II.2	Előfordulásuk a természetben	5
II.3	Gyakorlati munkánk.....	5
II.3.1	Opál előállítása.....	5
II.3.1.1	Optikai mikroszkópos mérések	6
II.3.1.2	Elektron mikroszkópos mérések.....	6
II.3.1.3	Atomerő mikroszkópos mérések	6
II.3.1.4	Spektroszkópos vizsgálat.....	6
II.3.2	Inverz opál előállítása.....	7
II.4	Önszerveződő nanostruktúrák.....	7
II.4.1	Rugó-tömb típusú modellek	7
II.4.2	Száradás során kialakuló törésmintázatok.....	8
III	Megalehetőségek	8
IV	Felhasznált irodalom.....	9
V	Melléklet.....	10

I Nanotechnológia

A nanotechnológia napjaink egyik legnépszerűbb tudományága, amely a fizika terén már jelentős változásokat hozott. A törpe méretek világa nemcsak a tudósok figyelmét ragadta meg; az egyre bővülő kutatások és eredmények arra készítették bennünket, hogy mi is megismerkedjünk ennek fogalmával.

Lázasan hozzáláttunk az információszerzéshez, azonban hamarosan rá kellett jönnünk, hogy a nanotechnológia fogalma sokkal bonyolultabb és összetettebb, mint mi gondoltuk. Ez a valóban új tudományág az élet szinte minden területén alkalmazható és minden tudományból tartalmaz valamit, teljes kiismerése ezért szinte lehetetlen. Ennek következtében, egy általános kép kialakítása után törekedtünk csupán egyetlen területére fókuszálni a figyelmünket, ami nem más, mint a fotonikus kristályok tanulmányozása.

Dolgozatunk tehát röviden bemutatja a nanotechnológiát általánosabb keretek között, illetve a fotonikus kristályok elméletét, gyakorlati munkánkkal bővítve.

I.1 A nanotechnológia fogalma

A tudományok körében oly divatos nanotechnológia, annak ellenére, hogy csak néhány évtizedes múlttal rendelkezik, máris nagy port kavart a tudományok körében. A miniatürizáció területének fontosságát többek között az magyarázza, hogy az emberiség létszáma és az abból eredő energiagondok elkerülhetetlenné teszik valamennyi termelési-fogyasztási folyamat újragondolását.

Ahhoz, azonban, hogy pontosan megértsük a nanotechnológia jelentőségét, fontos megismerkedni a nano + technológia szóösszetétel eredetével, és megvizsgálni ezen tudomány újításainak szerepét a társadalomban.

A nanosz görög eredetű szó, törpét jelent. A Nemzetközi Mértékegység Rendszerben (SI) a nano- előtag azt jelenti, hogy az utána következő mértékegység az alapegység egymilliárdod része. Így a nanométer egy olyan parányi hosszúságot jelent, amiből egymilliárd tesz ki egy métert. Ha mindennapi tapasztalataink világába szeretnénk érzékelni ezt az arányt, akkor azzal vethetjük össze ahogyan az 1 cm aránylik a 10000 km-hez (1.ábra). A technológia, egy ismerős fogalom, a Magyar Értelmező Kéziszótár szerint: „a gyártási folyamat elmélete és gyakorlata”.

A nanotechnológia azonban nem csupán a parányi dolgok gyártásának tudománya, hanem egy gyökeresen más technológia, amelynek vezérelvei alapjaiban térnek el az úgymond klasszikus technológiáétól. A klasszikus technológiák az első őskori szerszám előállításától napjaink integrált áramköréig a „kifaragás” elvet alkalmazták, tehát egy nagyobb darab nyersanyagból a „felesleg” eltávolításával állították elő a kívánt javakat. A nanotechnológia különlegessége azon alapszik, hogy atomonként próbálja összerakni a dolgokat – gyakorlatilag veszteségek nélkül –, tehát termékei nem alakíthatóak ki kifaragás útján. Ebben az értelemben a nanotechnológia magában foglalja a 100 nanométernél kisebb skálán szervezett anyag létrehozását, precíz kezelését és tervszerű elrendezését, mérését és modellezését, más szóval, azokat a folyamatokat amelyek lehetővé teszik, hogy a molekulákat egyenként oda helyezzük, ahova és amikor akarjuk, azért, hogy segítségükkel megvalósítsuk az előre eltervezett működést[1].

Az ilyen kicsi méretek világában azonban az anyagok viselkedése megváltozik, tehát furcsa, újszerű tulajdonságokra tesznek szert, amelyeket csak ritkán láthatunk előre már meglévő ismereteink alapján. Ilyen például az, hogy a nanokristályoknak kisebb lesz az

olvadáspontjuk, az elemi cella-állandó értéke csökken a kevés felületi atom miatt, megszűnhet a ferromágneses és ferroelektromos tulajdonság, illetve katalitikus hatás alakulhat ki (pl. az arany nanokristályként katalitikusan aktív lesz)[2]. A szokatlan tulajdonságok megnyilvánulásának tulajdonképpen két fizikai oka van. Köztudott, hogy a testek felületén elhelyezkedő atomok másként rendeződnek el, mint a tömbi társaik, azonban a nanoméretű anyagok esetében a felületi/tömbi atomok számának aránya megfordul ahhoz képest, ami a makroszkópikus világban megszokott. Ugyanakkor a 10 nm körüli méretek összemérhetők az elektronok szabadút hosszával, ezért figyelembe kell venni a kvantumos hatásokat, tehát az elektronszerkezet módosulhat [3].

Természetesen, a kémiai és biológiai hatások is változnak, tehát a nanotechnológia nem sorolható be egyetlen szaktudomány területére, ugyanis itt a fizika, kémia és biológia határai egyre inkább összeolvadni látszanak. Az új utak keresésében szinte minden természettudomány összefogására szükség van a számítástudománytól kezdve a fizikán, kémián át az élettudományokig és a védelmi kutatásokig, azaz az egyik leginkább multidiszciplináris tudományterület jött létre.

I.2 Megvalósítások

A törpe méretek világa nem új felfedezés, valójában több ezer éves történelemmel rendelkezik. I.e. 400-ban Democritus már tudta, hogy az atomok a látható világ építőkövei. A 20. századig ez a megállapítás elegendő volt a tudósok számára, azonban, amikor Einstein 1905-ben megállapította, hogy egy cukor molekula 1 nm, felébredt a kutatók érdeklődése a mikrovilág iránt. Így 1974-ben Norio Taniguchi bevezette a nanotechnológia fogalmát és 1981-ben a Binnig & Rohrer már megépíti az első STM berendezést, avagy közismertebb nevén az alagútmikroszkópot (2. ábra). A leghajmeresztőbb megvalósítások azonban Richard Feynman-nak köszönhetőek, aki díjat ajánlott az első 1/64" méretű működő motor megépítőjének, valamint annak, aki képes egy enciklopédia tartalmát egy gombostű fejére felírni. 1960-ban William McLellan elkészítette a motort, és 1985-ben Thomas Newman e-beam litográfiával leírta Dickens egyik regényének első oldalát 6,25 mm² területre, mindössze 50 nm széles betűkkel. Azóta Japánban létrejött egy emberi vörösvértest méretű bika (10 mikrométer hosszú, 7 mikrométer széles), valamint a világ legkisebb gőzgépe, 5 mikronos dugattyúkkal, és egy mikro-zár is [2]. 1947-ben John Bardeen és Walter Brattain a Bell Laboratóriumban elkészítették az első germánium tranzisztort, amely működött december 23-án ugyanazon évben, és amiért 1956-ban Nobel-díjat kaptak (3. ábra).

Ugyancsak nagy felfedezésnek számít a szén nanocső, amely egy egészen új fejezetet nyitott meg a nanotechnológiában. A szén nanoszerkezetek családjának első tagját, az 1 nm átmérőjű fullerént (C60) 1985-ben mutatták ki Sir Harry Kroto és munkatársai, majd 1996-ban Nobel-díjat kaptak érte. A család következő tagját, a szén nanocsövet 1991-ben fedezte fel Sumio Iijima kisnyomású He légkörben létrehozott egyenáramú elektromos ívben előállított fullerén "koromban". Ezek a felismerések további kutatások egész sorozatát indították el, amelyek rövid idő alatt világszerte sok ezer kutató figyelmét magukra vonták. A legnagyobb érdeklődés a szén nanocsövekhez kapcsolódik, melyeknek ígéretes elektromos és mechanikai tulajdonságai számos területen alkalmazhatók. A különleges nanoszerkezet szilárdsága százszorosa a megfelelő méretű acélszálnak, míg tömege csupán hatoda az acél tömegének. Az egyfalú szén nanocső tulajdonképpen egy tökéletes hengerré tekert egyetlen atom vastag grafitréteg, melynek átmérője egy nanométer, míg hossza több mikron is lehet. A többfalú szén nanocső körkörösén egymásba helyezett egyfalú szén nanocsövekből áll, melyek között a távolság megegyezik a grafitrétegek közötti távolsággal (0,34 nm)[1]. A szén nanocsövek szerves részét képező grafén felfedezése Andre Geim és Konstantin Novoselov

oroszkutatóknak tulajdonítható, akik munkájuk publikálása után hat évvel, 2010-ben elnyerték a fizikai Nobel-díjat (4. ábra).

Mindezek mellett számos teljesen új innováció robbant be a technika világába, például a Luxterra cég által kifejlesztett chip, amely az adatátvitelhez az elektronok helyett optikai vezetőt, valamint fotonokat használ, ezáltal a hagyományos félvezetőknel körülbelül tízszer gyorsabb sebességgel működik. Egy másik rendkívüli fejlesztés a funkcionálisított (=különböző molekulák csatolása a szén nanocsövek felületéhez, melyek lehetővé teszik a szén nanocső más anyaghoz való kötődését) szén nanocsövek előállítását, melyek segítségével olyan vezető műanyagot lehet létrehozni, amely szigeteli az elektromágneses hullámokat. Ez nemcsak a kémkedést képes megakadályozni, hanem hadászati célra is fel lehet használni [4].

A kutatók számos megdöbbentő újítást terveztek a közeljövőben is; ezek közé tartozik a „tetoválható” mobiltelefon és számítógép, melyek a bőrben kialakított áramkörökkel működnek és energiaforrásként biokémiai elemeket használnának. Tulajdonképpen az úgynevezett Okos Por program jövőbeli fejlesztései, amely parányi, érzékelni és egymással kommunikálni képes, fedélzeti számítógéppel felszerelt, napenergiával „táplálkozó” „szemcsék” létrehozását tűzte ki célul; ezek gyakorlatilag kimutathatatlanul „tudósítanak” tetszőleges helyekről. Nem kevésbé meglepő az űrlift gondolata sem, ami bár egyelőre még megvalósíthatatlannak tűnik, de a NASA már két kísérletet hajtott végre hagyományos kábelen kibocsátott sulykokkal, és tervezi a különleges szén nanocső kábel, valamint nanogépek kifejlesztését [1], [5].

A szén nanocsövek mellett egy ugyancsak széles területet lefedő ágazat a fotonikus kristályok tanulmányozása, amelyek „új korszakot nyithatnak a fénytávközlés, és szélesebb értelemben a fotonika területén.” (Hírközlési és informatikai tudományos egyesület)

II Fotonikus kristályok

II.1 Fotonikus kristályok elmélete

A fotonikus kristályok olyan periodikus térbeli szerkezetek, amelyeknek 1, 2 vagy 3 dimenzióban ismétlődő elemi cellamérete a mikrométeres (10^{-6} m) tartományba esik (5. ábra). Az ilyen kristályszerű szerkezetekben a fényhullám ahhoz hasonlóan viselkedik, mint az elektronhullámok az atomi periódusú kristályokban, ahol a cellaméret 10^{-10} m (Å) tartományba esik. Az első ilyent Eli Yablonovitch, a Kalifornia Egyetem professzora készítette el 1990-ben (6. ábra).

A kvantumfizika a szilárd testek elektromos viselkedését az úgynevezett sávmelérettel értelmezi: eszerint az elektronok lehetséges energiaértékei az atomi periódusú kristályokban sávokba rendeződnek. A tiltott sáv létrejötte az elektron hullám-természete alapján azzal magyarázható, hogy a periodikus kristályszerkezetet alkotó atomokon szóródó elektronhullámok bizonyos energiaértékeknél kioltják egymást. Mivel a fotonok szintén leírhatók részecskehullámként, elvileg számukra is készíthető olyan periodikus kristályszerkezet, amelyben a szórt fotonhullámok úgy interferálnak egymással, hogy bizonyos fotonenergiák tiltott sávba kerülnek. Fehér fénnel megvilágítva színesek, amely szín nem fényelnyelésen alapszik és nem is színyanyagok okozzák, hanem úgynevezett „fizikai szín”. Ennek az a feltétele, hogy a rácsállandó (d) a fény hullámhosszával (λ) összemérhető nagyságrendű legyen. A Bragg-törvény értelmében $2 \cdot d \cdot \sin \theta = n \cdot \lambda$, azaz ha $400 \text{ nm} < \lambda < 700 \text{ nm}$, akkor $200 \text{ nm} < d < 350 \text{ nm}$ (7. ábra).

A fotonkristályok bizonyos fajta felhasználási lehetőségei a félvezetőkkel való hasonlatosság alapján érthetők meg. A félvezetők tulajdonságai nagymértékben befolyásolhatók szennyező atomok bevitelével. Ezek szerepe az, hogy a tiltott sávban betölthető energiaszinteket hoznak létre, így ezeken a „lépcsőkön” keresztül az elektronok a vegyértéksávból könnyebben juthatnak el a vezetési sávba. A fotonkristályokban hasonló szerepet tölthetnek be a különféle rácshibák, diszlokációk. A tökéletes fotonkristály a tiltott sávjába eső frekvenciájú fotonokat nem engedi át. De ha például az egyébként tökéletes fotonkristályba egy vonalhibát visznek be (8. ábra), akkor az már úgy működik, mint egy hullámvezető. A vonalhiba mentén az egyébként tiltott frekvenciájú fotonok is terjedhetnek [6].

II.2 Előfordulásuk a természetben

A kutatók csak az 1800-as évek vége fele kezdték alaposabban tanulmányozni, a fotonikus kristály megnevezést hivatalosan először 1987-ben alkalmazták, viszont a természet ezeket a komplex struktúrákat évmilliók óta ismeri.

Ilyen kristályok előfordulnak az élővilágban is (9. ábra) tengeri állatok, rovarok szervezetében, erre talán a leglátványosabb példa az egyes lepkefajok megjelenése. Gyönyörű színük csak részben tulajdonítható a bennük található pigmenteknek (ezek a felelősek a barna, fekete, sárga és piros színért), az igazi csillogást különös szárnystruktúrájuknak köszönhetik (kék, ibolya, zöld). A szárnyat borító pikkelyek felső felülete nagyon komplex, háromdimenziós szerkezet, hosszanti gerincek és kereszt-bordák mikrocellákat, ablakokat képeznek (10. ábra). A pikkelyek színe attól függ, hogy mi található a mikrocellák belsejében.

Egy másik előfordulás a geológiai szempontból nagyon érdekes, opálnak nevezett ritka féldrágakő, ami hidrotermális folyamatok során kivált, alaktalan $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ formájában van jelen (11. ábra). Leggyakrabban Ausztráliában és az amerikai Nevada-ban fordul elő, főbb lelőhelyei közé tartozik Szlovákia, Magyarország, Indonézia, Etiópia, de a NASA kutatói 2008-ban közzölték, hogy már a Marson is találtak [7].

II.3 Gyakorlati munkánk

II.3.1 Opál előállítás

A természetből inspirálódva mára már mesterséges úton is hozzájuthatunk ezekhez a gyönyörű kövekhez, az ülepítés vagy függőleges lerakódás módszerét használva. Gyakorlati munkánk során mi is megpróbálkoztunk az előállítással, az utóbbit alkalmazva. A tevékenység a Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet egyik laboratóriumában zajlott.

Első lépésként előkészítettük a minta “talajaként” szolgáló üveglapokat. Miután egy éjszakán keresztül krómkénsavban álltak, lemostuk őket ultratiszta vízzel, hogy minden lehetséges szennyeződést eltávolíthassunk. Az alapanyagot vízben szuszpendáltatott polisztrén gömbök képezték, melyekből több méret is rendelkezésünkre állt. Különböző mintákat készítettünk, 190, 220 és 240 nanométer átmérőjűeket használtunk fel.

A vizes szuszpenziókat hőálló edényekben készítettük el, majd mindegyikükbe belehelyeztünk két-két üveglapot úgy, hogy ezek alsó szélei az edény alján középen

találkozzanak, a felső széleik pedig az ellentétes falakon támaszkodjanak. Az edényeket egy nagy teljesítményű kemencébe helyeztük, amit 2°C/perc alatt 300°C-ra fölfűtöttük, majd 300°C-on 3 órát hagytuk működni. Ezt követően ugyancsak 2°C/perc alatt 550°C-ra emeltük a hőmérsékletet, így a kemence még 8 órán keresztül üzemelt. A fűtést kikapcsolva, hagytuk a mintákat kihűlni. A víz párolgásának következtében a gömböcskék lerakódtak az üveglapok felületére. A folyamat segítségével sikerült néhány száz bogyorétegnyi, azaz pár száz mikrométeres vastagságú, háromdimenziós fotonikus kristálynak számító opált előállítani (12. ábra).

Ezt követte a minták alapos vizsgálata, mely során különböző segédeszközöket használtunk: optikai mikroszkópot, elektron mikroszkópot, atomerő mikroszkópot és spektroszkópot.

II.3.1.1 Optikai mikroszkópos mérések

Vizsgálódásunk során a minták reflexiós és transzmissziós képét egyaránt megnéztük 2,5-től 50-szeres nagyításokig kiterjesztve. Ezalatt fotókat is készítettünk, melyeket később gömbátmérő és nagyítás szerint csoportosítottunk, ezek két leglátványosabb példánya a 13. és 14. ábra.

II.3.1.2 Elektron mikroszkópos mérések

Mivel az optikai mikroszkópok esetében a fény hullámhossza a nagyítás lehetőségét jelentősen korlátozza, ezért következő lépésben a mintánkat pásztázó elektron mikroszkóppal (SEM) vizsgáltuk, így sikerült még 10^4 -szeres nagyításban is tiszta képet kapni (15-16. ábra). Ezen jól kivehetők az opált alkotó gömbök, melyek a lecsapódás során szabályos struktúrákba szerveződtek.

II.3.1.3 Atomerő mikroszkópos mérések

Az atomerő mikroszkópban egy nagyon vékony (a csúcsán egyetlen molekulányi) tű pásztázza végig a tőle csupán néhány angströmnyi (egy angström egyenlő 10^{-10} méter) távolságban lévő mintát, és a műszer a tű, illetve a vizsgált atomok között fellépő lokális kölcsönhatást (vonzerőt) méri. Mivel az ébredő kölcsönhatások a tű és az atomok közötti távolságra (azaz áttételesen a molekulaszervezetre) is utalnak, az eljárás alkalmas a molekulák lefényképezésére is. Ilyen műszerrel nekünk is volt alkalmunk vizsgálódni, az MFA jóvoltából. A minta háromdimenziós modelljén kivehetők az opált alkotó gömbök (rúcskös felület), a nagyobb dudorok pedig a kristályszerkezet hibái (17. ábra). Emellett egy keresztmetszeti képet is készítettünk (18. ábra), melyen megmértük 5 egymás melletti gömb külső pontjai közti távolságot.

II.3.1.4 Spektroszkópos vizsgálat

Az opál optikai tulajdonságait nagyban befolyásolja az alapul szolgáló gömbök mérete, a különböző minták más-más módon verik vissza, illetve engedik át a fényt, ezért megvizsgáltunk őket spektroszkóppal is. A 19. ábra grafikonján látható, hogy a reflexiós maximumok és transzmissziós minimumok a rácsállandó duplájával megegyező hullámhosszknál alakultak ki. Ez a megfigyelés is utal az alkalmazott gömbök méretére.

II.3.2 Inverz opál előállítása

Miután a hagyományos opál mintáink vizsgálata lezajlott, megkíséreltük az inverz opál előállítását is, amely tulajdonképpen szilíciumvázba ágyazott légbuborékkristály (20. ábra). Az egyik kristályrétegre TEOS, etanol, víz és sósav keverékét csepegtettük (6ml tetraetil ortoszilikát + 4ml etanol + 3ml desztillált víz + 1ml HCl), majd újból hőkezelésnek vetettük alá. A TEOS vízzel reagálva a HCl és etanol katalizátorok jelenlétében Si-O-Si kötések alakított ki, ami polimerszerű hálózatot eredményezett. Ez hőkezeléssel szilíciumoxid (SiO₂) alakítható.

Az így kapott minta, valószínűleg a kemence hőfokának téves beállítása miatt sajnos nem felel meg elvárásainknak, ezért csak optikai mikroszkóp alatt vizsgáltuk (21. ábra).

A kristály előállítása során egy nagyon érdekes folyamatra lettünk figyelmesek. A vizes szuszpenzióból kicsapódott gömbök az üveg felületén nem véletlenszerűen, hanem szabályos struktúrákat kialakítva rendeződtek. A jelenség megfigyelése további elméleti kutatásra késztetett minket, mely az önszerveződő nanostruktúrák megértésében állt.

II.4 Önszerveződő nanostruktúrák

A nanostruktúrák előállításának egyik módja az alulról történő építkezés, amely történhet olyan stabil építőelemekből, mint a molekulák, vagy akár a nanogömbök. Ezek előállításának egyik akadálya, hogy az itt szerepet kapó adhéziós és kohéziós erők miatt a nanovilág nagyon furcsán viselkedik. Ezt úgy kell értenünk, hogy ha bármilyen eszközzel megpróbáljuk összerakni a nanoszerkezeteket, az építőelemek inkább az eszközünkhöz ragadnak, mintsem oda kerülnének, ahova szeretnénk. Ezért olyan nanostruktúrákat kell tervezni, melyek közvetlen emberi beavatkozás nélkül, önszerveződő módon alakulnak ki. Éppen ebből a megfontolásból kiindulva néztünk utána az önszerveződő nanostruktúrák kialakulásával kapcsolatos elméleti kutatásoknak és ezek számítógépes modellezésének [8].

Az önszerveződő rendszerek esetén is alkalmas rugó-tömb típusú modellt elsőnek Burrige és Knopoff 1976-ban tette közzé [9]. Azóta a modellt felhasználják a földrengések modellezésétől, a ferromágneses anyagok mágnesezési folyamatának, a száradó granuláris anyagok töredezéseinek (sár, agyag, festékréteg, só sivatag), valamint a nanogömbrendszerek mintázatképződéseinek a leírására.

II.4.1 Rugó-tömb típusú modellek

Az alapmodell alkotóelemei a különböző alakú tömbök és az ezeket összekötő rugók. Ha egy testet egy rugó segítségével húzunk, akkor a rugó egy ideig nyúlik, majd amikor a rugóban fellépő rugalmas erő nagyobb lesz a test és a felület közti tapadási súrlódási erő maximális értékénél, a test megcsúszik, és egyenes vonalban elkezd mozogni.

Bonyolódik a helyzet, ha több testet helyezünk el egymás mellé, és ezeket rugóval kötjük össze, valamint a testeket más rugók segítségével egy, a testek fölött levő laphoz rögzítünk. Ebben az esetben, ha a testek fölötti lapot egyenletes sebességgel húzni kezdjük, akkor egy ideig a testek nyugalomban maradnak és csak az őket a lappal összekötő rugók nyúlnak meg. Ha hirtelen az egyik test megcsúszik, akkor ez egy lavina-szerű jelenséget idéz elő a rendszerben, ugyanis magával rántja a közvetlen szomszédjait, azok az ő szomszédjaikat és így tovább. Az itt leírt folyamat tipikus példa egy kritikusan önszerveződő folyamatra.

II.4.2 Száradás során kialakuló törésmintázatok

Tanulmányozzuk egy poliszitirén nanogömbökből készített szuszpenziók száradása során kialakuló mintázatképződés modellezését [10]. Ez a modell kétdimenziós, amelyben a tömböket egy sűrűlódásos felületen elmozdulható nanogömbök jelképezik, valamint a víz hajszálcsövésségének hatását a közöttük levő rugók jelentik (22 a. ábra). Az önszerveződő folyamatot szabályozó erők (22 b. ábra): a rugók hosszával arányos kapilláris erő (F_k), egy Lennard-Jones típusú kölcsönhatási-erő (F_j), valamint a sűrűlódási erő (F_f). Amennyiben a lemezre ható eredő erő meghaladja a sűrűlódási erőt, a lemez egy túlszillapított mozgással csúszni kezd. Ha a mozgás során a rugókban fellépő feszültségek meghaladják a törésküszöb értékét, akkor ezeket eltávolítjuk a rendszerből. Ez magyarázza a törésvonal-struktúrák kialakulását, melyek kisebb méretű tömör területeket határolnak el.

F. Járai-Szabó és Z. Neda által készített számítógépes szimulációban a feszültségnövelés-relaxáció lépéspárost egymás után többször ismétlik. Itt a száradáskor bekövetkező feszültségemelést a rugóállandók lépésenkénti növelése jelenti, így a tömbök egy rögzített rugóállandó érték mellett egyensúlyi konfigurációban rendeződnek. Az így kialakuló mintázatok a 23. ábra szemléleti, összevetésében a kísérletileg kapott mintázatokkal [11]. A felső sorban kísérleti, míg az alsó sorban számítógép-szimulációs eredmények láthatók.

Az itt bemutatott jellegzetes példák arra engednek következtetni, hogy a modellcsalád alkalmas a jelenségek leírására. Ezt a modellt használva egy elsődleges képet kaphatunk a nano-dinamikai folyamatokról, és ugyanakkor lehetőség van arra is, hogy a kísérleti úton változtatható paraméterek hatását elemezzük ezeken a gyakorlatban rendkívül fontos szerkezeteken.

III Megalehetőségek

Dolgozatunk alapját képező gyakorlati munkánkat, mely az opál előállítását és tanulmányozását foglalta magába, nemcsak a gyönyörű látványért találtuk vonzónak, hanem azért is, mert a fotonikus kristályok egy újabb technológiai forradalom küszöbére taszították a tudományt. Noha kísérleti szempontból csak pár évtizedes múlttal rendelkeznek, máris számos technológia területén hódítanak.

Egyike a legnépszerűbb felhasználási lehetőségüknek az, amely a „lomha” elektronokat a sokkal „fürgébb” fotonokkal igyekezett felváltani és számukra hasonló környezetet biztosítani, mint amilyen egy félvezető az elektronok számára. A fotonikus kristályokban a fotonok terjedését tiltott energiasávok létrehozásával befolyásolni lehet – akárcsak a félvezetők elektronjainak mozgását –, mivel ezekben nem tartózkodhatnak fényrészecskék. A félvezetőkben éppen a tiltott sáv jelenléte miatt lehetett tranzisztorokat, diódákat, fényemittáló diódákat és lézereket létrehozni, ezért felmerült a kérdés, hogy nem-e lehetne ezek optikai megfelelőjét kifejleszteni? Ilyet mind két, mind három dimenzióban sikerült felépíteni, sőt már a fénnel hajtott mikrogépek alkalmazása is gyakorlati lehetőség [12].

A számítástechnikában való érvényesülés mellett már a távközlésbe is berobbant, hiszen felmerült a lehetőség, hogy az optikai szálak egy nagyobb hatásfokot ígérő, bővebb alkalmazási területet lefedő anyaggal helyettesítsék. Ennek következtében kétféle szerkezetű

mikrostruktúrált szálak állítottak elő, amelyek eltérő működési mechanizmussal rendelkeznek. Az első típusba azok a szálak tartoznak, melyeknek belsejében a lyukak alkotta szabályos rács közepén hiányzik egy lyuk, és ennek helyét üveg tölti ki. Ennek a törésmutatója jóval nagyobb, mint az őt övező fotonikus kristály köpenyé, ezért magába zárva a fényt, tömör mag hullámvezetőként viselkedik és vezetett módot hoz létre. A második típusú szálak belsejében egy kis törésmutatójú szerkezeti hiba található, egy levegővel telt cső, ami szintén kiváló fényvezető a levegő-üveg határokon fellépő erős koherens optikai visszaszórásnak köszönhetően. Ez nemcsak azért előnyös, mert a levegős magban átvihető teljesítmény közel százszor nagyobb, mint a tömör üvegben, hanem azért is, mert fényvezetésnek itt már nincs köze a teljes belső visszaverődéshez és nincs az ilyen szálnak kritikus befogadási szöge sem. Az optikai szál bevezetése hatalmas előnyt jelentene a távközlés terén, hiszen segítségével akár kontinensek közötti távolságok is áthidalhatóak lennének, pontos és gyors teljesítménytovábbításának köszönhetően pedig minimálisra csökkenne a hibavalószínűség.

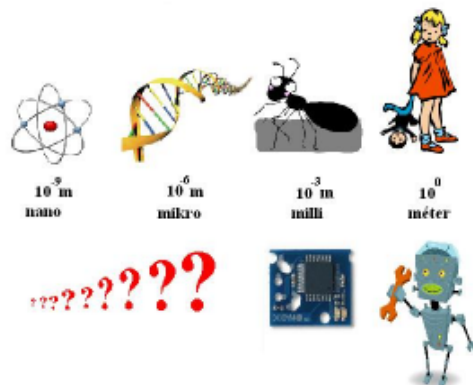
Egy ugyancsak különleges fejlesztés a rugalmas elektronikus papír feltalálása is, amely képes a teljes szín spektrum megjelenítésére. Ez akár a képernyőkre is alkalmazható, ugyanis az ezt alkotó fotonikus kristályok lehetővé teszik, hogy minden egyes képpont saját színt vegyen fel és jelenítsen meg. Bár a színes képek megjelenítése egyelőre fejlesztésekre szorul, már több cég is gyártja az újfajta képernyőt, és néhány éven belül akár piacra is kerülhet a különleges termék [14].

Ezekkel azonban nem zárul le a fotonikus kristályok felhasználási lehetőségeinek halmaza, hiszen az eddigi megvalósítások csupán egy kis hányadot képviselnek a megalehetőségek palettáján. A világ számos országában folynak a kutatások, és egyre több információ kerül birtokunkba, amelyek újabb és újabb ajtókat nyitnak meg, számtalan fejlesztést ígérve.

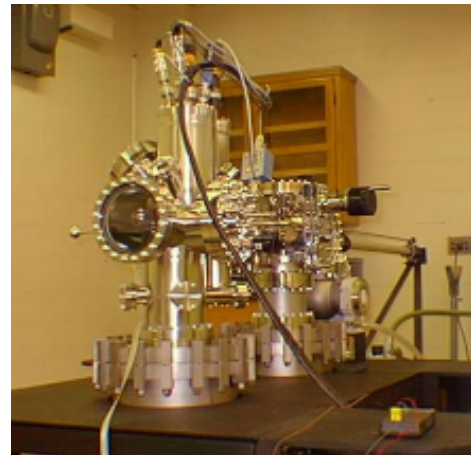
IV Felhasznált irodalom

1. <http://www.mfa.kfki.hu/int/nano/magyarul/Nanotech-BLP.html>
2. www.matsci.uni-miskolc.hu/nanotech/.../nanodiszpergalas-eloadas01.ppt
3. <http://www.mfa.kfki.hu/int/nano/magyarul/Fizikai%20Szemle%202003-11.htm>
4. <http://index.hu/tudomany/trmi070801/>
5. <http://www.mfa.kfki.hu/int/nano/magyarul/Nanotechnologia.html>
<http://www.hwsz.hu/hirek/28592/feny-a-gepben--villogo-chipek-mar-jovore-.html>
6. <http://www.berzsenyi.hu/~dibusz/comenius/present/Fotonikus%20krist%20E1lyok.ppt>
7. <http://hu.wikipedia.org/wiki/Op%C3%A1>
8. E. Horváth, F. Járai-Szabó, Z. Nédá, ETDK dolgozat (2008)
9. R. Burridge, L. Knopff, Bull. Seism. Soc Am 57, 341 (1967)
10. <http://atom.ubbcluj.ro/jferenc/nanospheres/>
11. <http://atom.ubbcluj.ro/springblock/index.php?menuId=8>
12. http://www.origo.hu/attached/20050607kroo_050606.rtf
13. Takács Sándor, Új korszak küszöbén az optikai távközlés c. dolgozat
14. http://www.sg.hu/cikkek/54847/elektronikus_papir_kristalyokbol

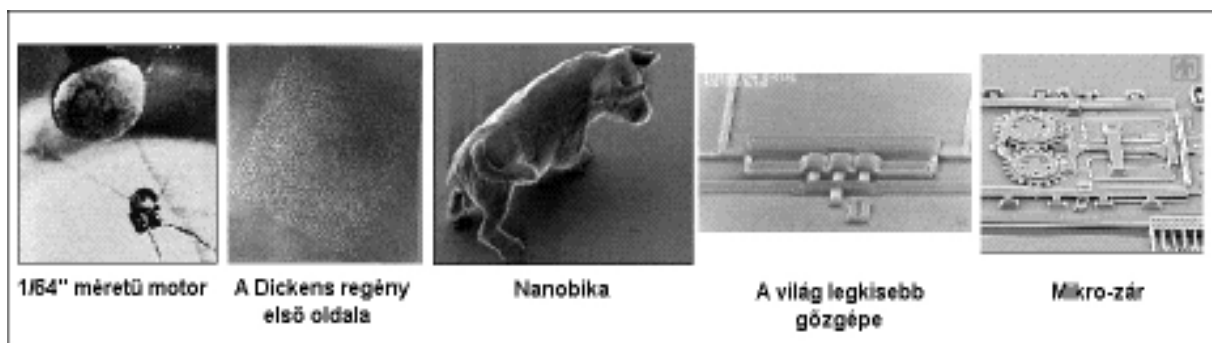
V Melléklet



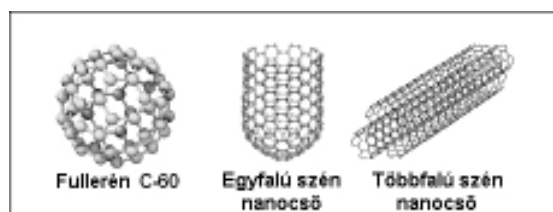
1. Ábra



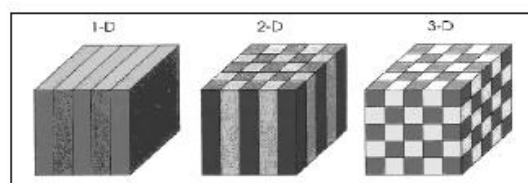
2. Ábra



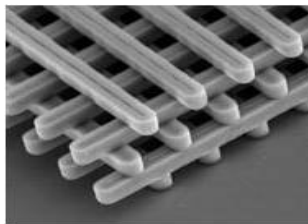
3. Ábra



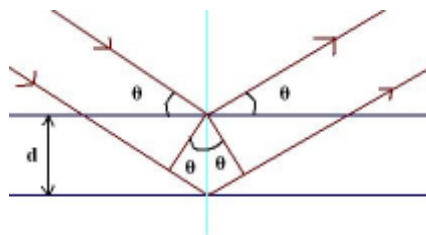
4. Ábra



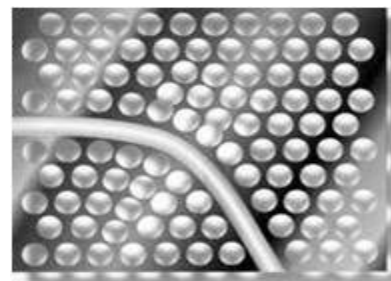
5. Ábra



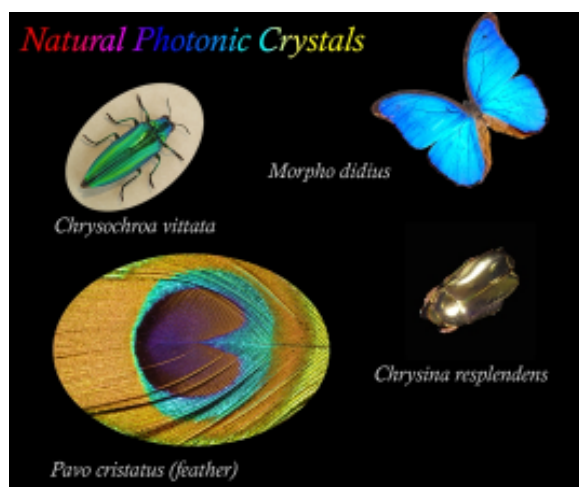
6. Ábra



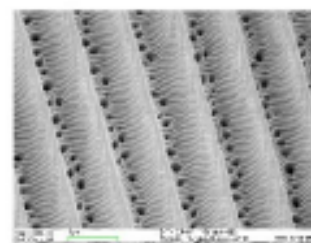
7. Ábra



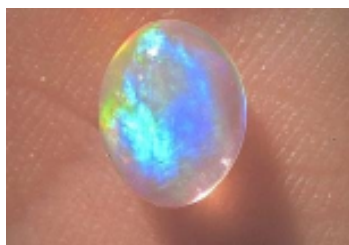
8. Ábra



9. Ábra



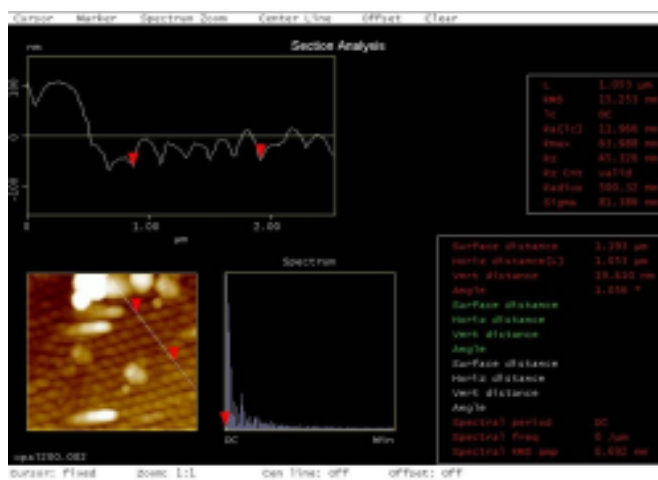
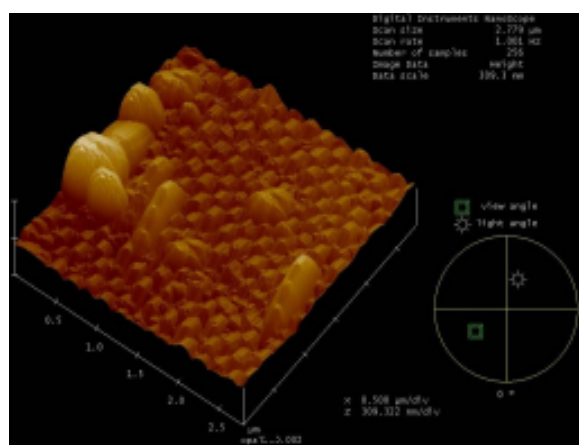
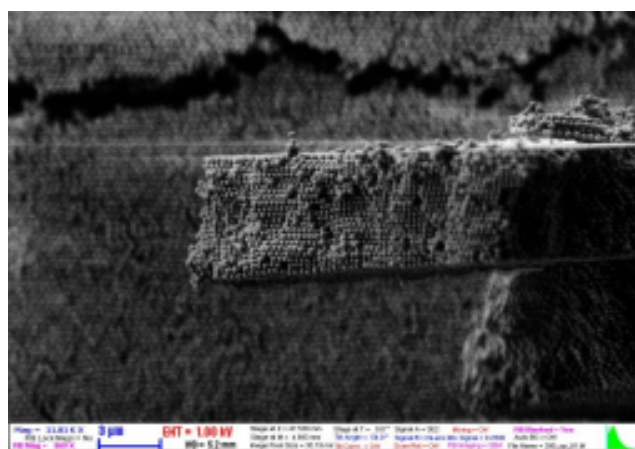
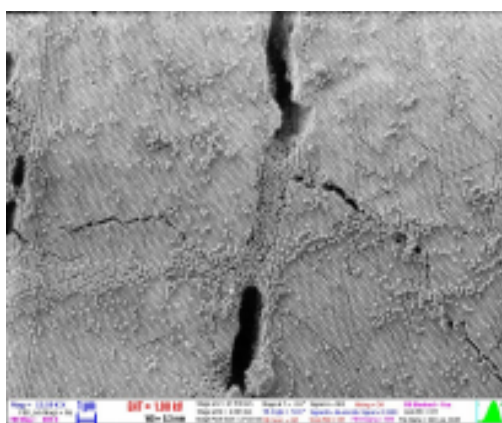
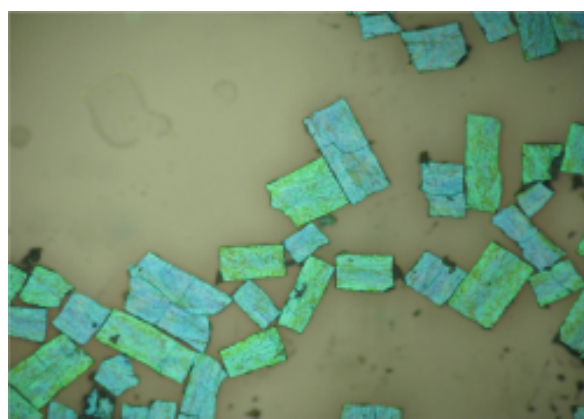
10. Ábra

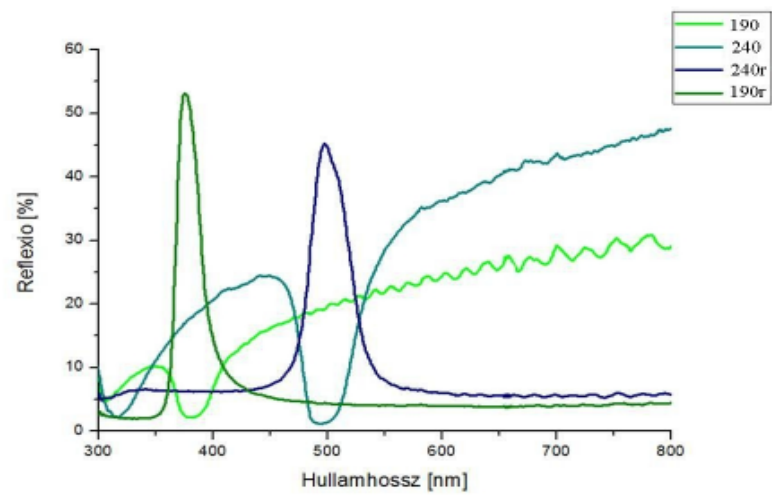


11. Ábra

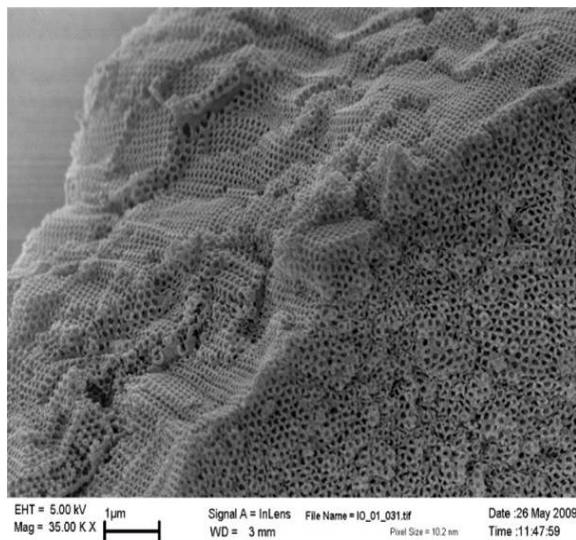


12. Ábra

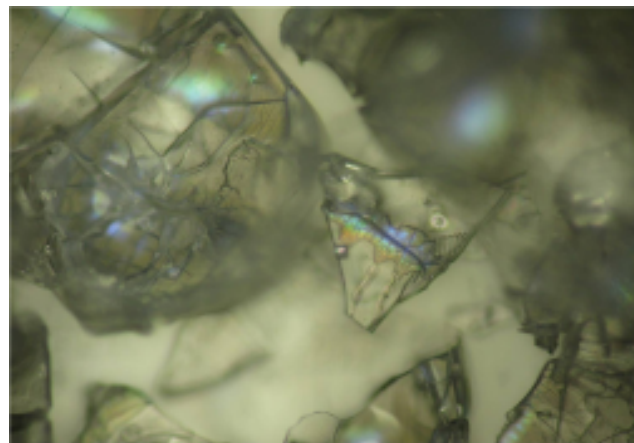




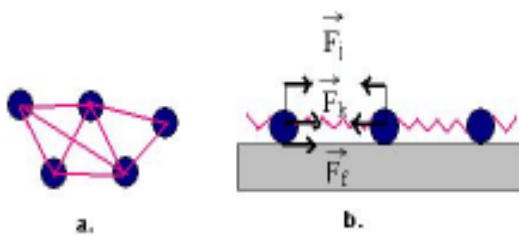
19. Ábra



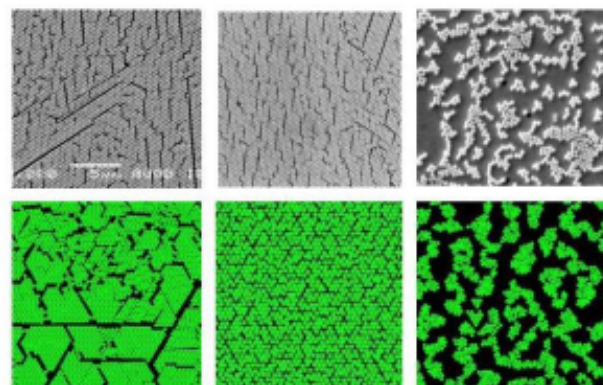
20. Ábra



21. Ábra



22. Ábra



23. Ábra