

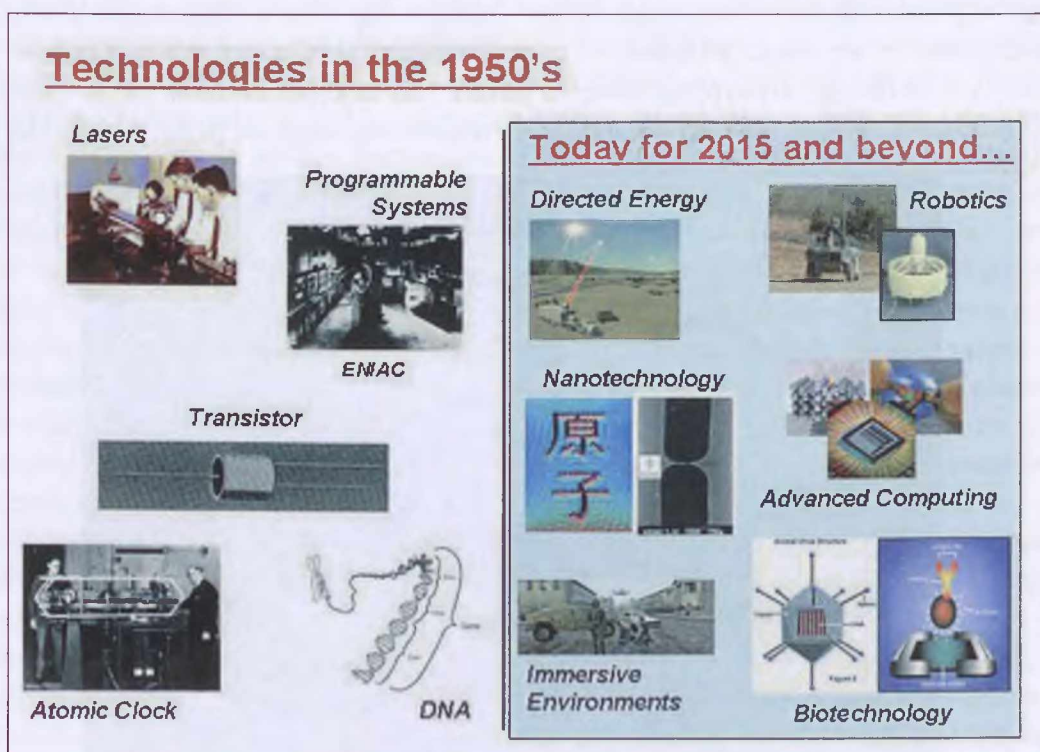
KROÓ NORBERT

Nanotechnológia és orvostudomány

Örülök, hogy itt lehetek, köszönöm a lehetőséget. Bevallom őszintén, hogy amikor megkaptam előadásom javasolt címét és összeszedtem a rendelkezésemre álló anyagból az elképzelhető minimumot, akkor egy 35-40 perces előadás állt össze. Megpróbáltam kihagyni a legkevésbé fontos ábrákat, de még mindig annyi maradt, hogy kétséges a kapott 10 perces idő betartása. Mindenesetre megpróbálom rövidíteni. Ezért valószínűleg nagyon töredezett lesz az előadás, amiért már előre is elnézést kérek.

Azzal kezdeném, hogy azok az eredmények, amelyekről beszélni fogok, lényegében az utolsó évtizedben születtek, sőt, néhány olyan eredményt is megemlítek, amely napjainkban is csak a születés fázisában van.

Általában is igaz, hogy az emberiség történetében talán még soha sem történt annyi változás, mint napjainkban. Az 1. ábrán azt mutatom be, hogy melyek voltak a leglényegesebb technológiák a múlt század ötvenes éveiben (az ábra bal oldalán) és melyek a ma és a közeljövő kulcstechnológiái (az ábra jobb oldalán). A nanotechnológiát, mint várhatóan kiemelkedő fontosságú tényezőt, bekereteztem. Napjainkban három olyan nagy technológiai forradalom zajlik, amelyek mindegyikének jelentősége túlnő talán még a 19. század ipari és mezőgazdasági forradalmának jelentőség-



gén is. Ezek az információ-, a bio- és a nanotechnológia forradalmi. Ráadásul ezek még össze is kapcsolódhatnak. Erre példa a bioinformatika.

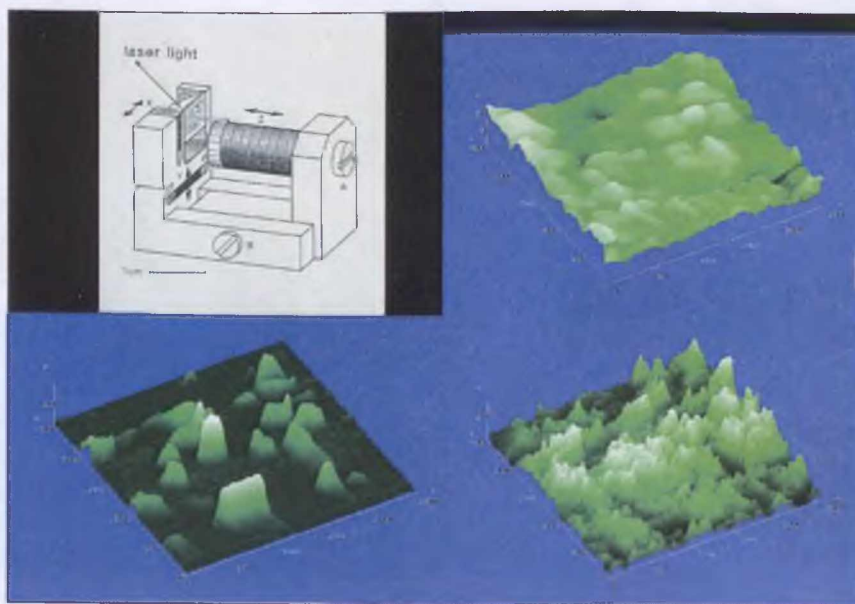
Térjünk át most a nanotechnológiára, amely a 100 nanométer alatti méretek tartományában új anyagoknak vagy eszközöknek az előállítását öleli fel és számos olyan ígérettel jelentkezik, amelyeknek kisebb-nagyobb valószínűséggel már a közeljövőben is hasznélvezői lehetünk. Például a *biomedicinális* alkalmazások területe is ezen ígérek egyike. A következőkben az ígérek közül néhányat kívánok foglalkozni.

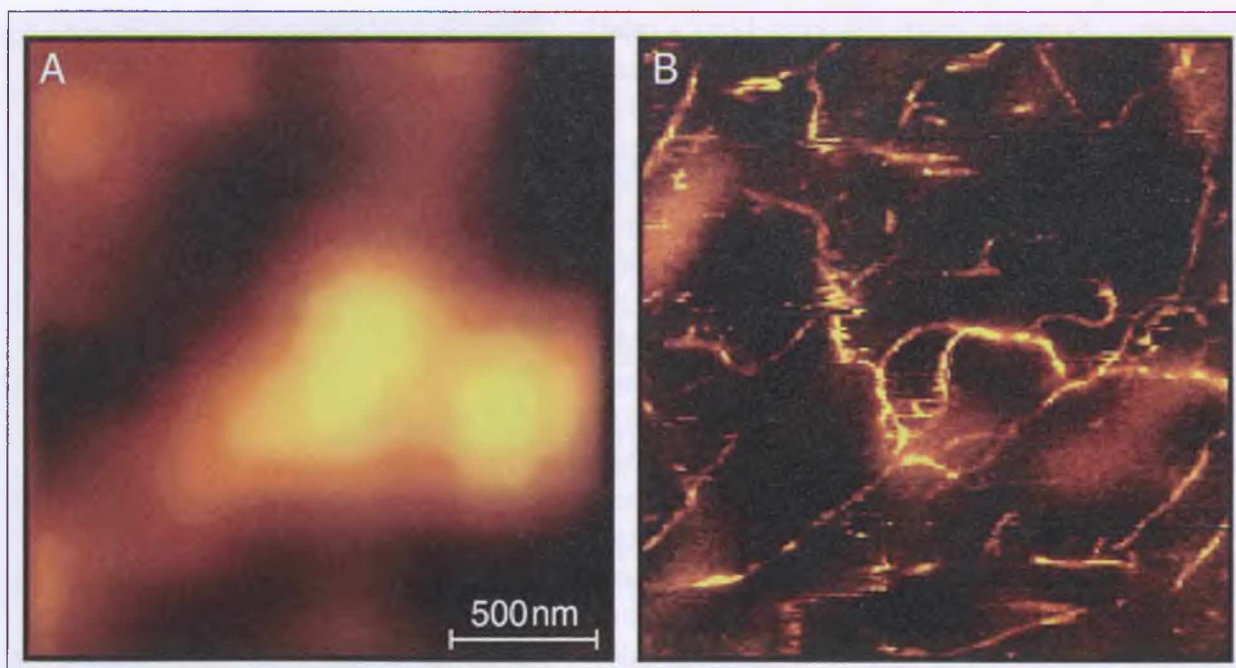
Bármilyen technológiáról is van szó, szükséges, hogy amit csinálunk, azt lássuk is valamilyen formában. Nem feltétlenül vizuálisan, tehetjük ezt valamilyen közvetett módon is. A legegyszerűbb eset persze, amikor szemünk felbontása elegendő a megfigyelésre. Az ennél bonyolultabb esetekben (vagyis a szabad szemmel nem követhető eseményeknél) az optikai mikroszkópok különböző válfajainak alkalmazása segíthet. A nanotechnológiában természetesen nem alkalmasak ezek az eszközök, már csak azért sem, mert van az optikának egy olyan szabálya (ezt úgy hívják, hogy a felbontóképesség diffrakciós határa), amely szerint: ha két pont közelebb van egymáshoz, mint annak a hullámhossznak durván a fele, amellyel meg szeretnénk figyelni ezt a két pontot például egy optikai mikroszkóppal, akkor ezt a két pontot ez a mikroszkóp egy pontnak látja. Tehát a nanotechnológiai alkalmazásokban, melyekben a fény hullámhosszánál sokkal kisebb szerkezetekkel lehet dolgunk, nyilvánvalóan valami új dolognak kell születnie.

A nyolcvanas években az új eszközök alapformái meg is születtek. Ezek egyike az ún. atomerő-mikroszkóp, amelynek lelke egy finom rugóra épített tű, melyet egy felület felett mozgatunk. A felület és a tű közötti erő változása miatt a rugó deformálódik, amit a felületéről visszaverődő lézervény szögének változása útján detektálunk. A pontról-pontra rögzített állapot a felület topológiáját adja vissza

A másik alapeszköz az úgynevezett pásztázó alagútmikroszkóp. Ennek egy fémtű a lelke, amelyet egy fémfelület fölött mozgatunk. A tűt olyan közel tartjuk a felülethez, hogy egy ún. alagútáram folyik a tű és a felület között. Ezt az alagútáramot állandó értéken tartjuk, ami csak úgy lehetséges, ha a fémtű a felület egyenetlenségeit követve, azoktól azonos távolságra marad. Mindkét mikroszkóptípus néha az atomi felbontásig lemenve képes felületekről képet alkotni.

Én magam egy speciális pásztázó alagútmikroszkópot használok, amely egyszerre három képet készít egy fémfelületről: a topológiai képen felül, az ún. felületi plazmonok által létrehozott elektromágneses tér eloszlásáról tájékoztat, valamint felületi hőterképet is készít század fokos felbontással. A 2. ábrán egy aranyréteg felületén felvett 3 ilyen képet mutatok be. A 2a ábra a mikroszkóp mechanikus része, 2b a topológiai, 2c az elektromágneses, 2d pedig a termikus kép. A 3.





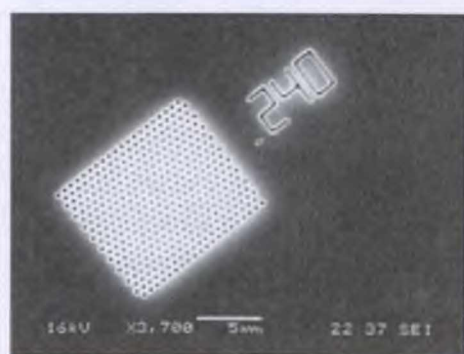
ábrán pedig egy DNS molekula képét mutatom be „klasszikus” (bal oldal), ill. atomerő mikroszkópos (jobb oldal) felvételen. A különbség valóban óriási.

Áttérve az egészen kis méretekre, egyetlenegy témát választottam ki, amelyről beszélni szeretnék. A téma a 4. ábrán látható, viszonylag kisméretű, gyönyörű kehelyhez kötődik, amely Londonban, a *British Museum*ban van kiállítva. A Krisztus előtti IV. században görögök csinálták üvegből, az üveg színe zöld, felületén dombormű látszik, tipikusan görög formákkal. Ha a kehely belsejében egy lámpát felkapcsolunk, akkor a színe zöldről pirosra vált. Ennek oka pedig az, hogy ebbe az üvegbe nagyon kis mennyiségű aranyport olvasztottak, az ún. nanogömböcskéket, és ezeknek a nanogömböcskének fény hatására piros fényük lesz. A kehely a Krisztus előtti IV. században készült, én pedig most arról szeretnék beszélni, hogy mi a színváltozás magyarázata. Annak ellenére, hogy már a görögök is ismerték ezt a jelenséget, én mégis új típusú fénynek szeretem nevezni. Ez az új típusú fény fémfelületekhez, vagy kisméretű fémrészecskékhez van kötve, hullámszerűen terjed a felületen és a felületre tekintve nem lehet látni. Pontosabban csak akkor lehet látni, ha az ember „megzavarja” a felületen terjedő elektromágneses hullámot például úgy, hogy egy szóró szemcsét helyez ebbe a térbe, amit az optikai zsargonban közeli térnek nevezünk. Ennek a térnek sok érdekes tulajdonsága van, ezek közül említek az alábbiakban néhányat. Mint már említettem, ez a fény fémfelületekhez van kötve és nem egészen úgy viselkedik, mint a szabad térben terjedő fény. Hullámhossza és fénykvantumainak energiája között más az összefüggés, továbbá a diffrakciós limit, ami a látható fényben korlátozza a felbontóképességet, ez erre az ún. *plazmonfényre* nem érvényes. Tehát *ezt a fényt fel lehet használni nanotechnológiai vizsgálatokra, ezt lehet felületen vezetni, sőt tiltott sáv hozható létre, amely gátolja egy jól meghatározott hullámhossztartományban a plazmonfény terjedését a felületen, ami lehetővé teszi plazmonikus tranzisztor létrehozását is.* De ezen új típusú fény manipulálásának olyan további lehetőségei is megvalósíthatók, amelyek *plazmonikus chip* építését teszik lehetővé a diffrakciós limit korlátozó hatását átlépve, igen kis méretekben.

A továbbiakban arról szeretnék beszélni, hogy ezen új típusú fény igen nagy elektromos teret produkálhat a fémek felületén, ráadásul ez a tér lokalizálódhat a felület kis göröngyein, ami további lokális térerősség-növekedést jelent.

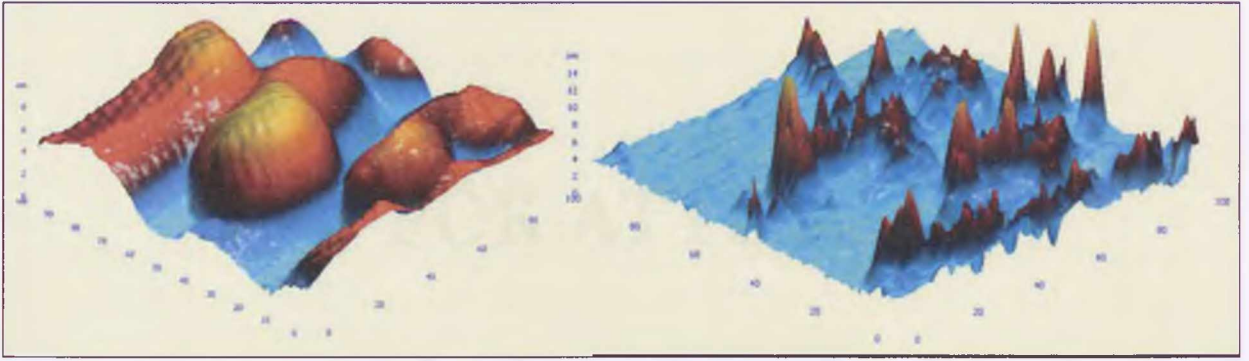
Egy további érdekes dolog: a klasszikus optikából tudjuk, hogy ha egy nyílás kisebb, mint a fény hullámhossza, akkor ez a fény nem tud a nyíláson áthatolni. Az 5. ábrán egy olyan aranylemez mutatok, amelyen ~100 nanométeres lyukak vannak, ez ötöde-hetede a látható fény hullám-

hosszának, és mégis látszik (5b kép), hogy a másik oldalon is megjelenik a fény. Ennek magyarázata, hogy az aranylemez felületén ezt az új típusú fényt lehet létrehozni, ez pedig átléphet a lyukakon, mivel *erre nem érvényes a diffrakciós limit korlátja*, a másik oldalon pedig a *plazmonfény visszaalakulhat „normális” fénné és ezt már lehet látni*. Mint már említettem, igen nagy tér jöhet létre a felületen. Ezt mutatom be egy mikroszkópfelvételmen (6. ábra), ahol a baloldali képen egy ideális aranytükörnek a felülete látszik, mérete 100x100 nanométer, tehát jóval kisebb, mint a fény hullámhossza. A jobboldali képen pedig az az *elektromos tér* látszik, amely a *szemcsék határán igen nagyra duzzad*, néha ezerszeresére is nőhet azon lézerefény teréhez képest, amellyel ezeket a *felületi plazmonikus fényhullámokat létrehoztuk*. Ha ebbe a nagy elektromágneses térbe *molekulákat helyezünk és Raman-szórásra kényszerítünk*, akkor elérhető az, hogy ennek a Raman-szórásnak a *hatáskeresztmetszete a szabad molekula szórási hatáskeresztmetszetének akár 1014-szeresére növekszik*. Ez azt jelenti, hogy egy kis ügyeskedéssel akár néhány molekulának a Raman-szórását ki lehet mutatni.



És a Raman-szórás talán a legegyszerűbb optikai módszer, amellyel molekulákat azonosítani lehet, mert minden molekula jellegzetes színben sugároz. Ezt a módszert alkalmazva, *rendkívül érzékeny kémiai és biológiai szenzorokat lehet létrehozni, amelyek igen kis mennyiségű anyagok kimutatására alkalmasak*. Gondoljanak például arra, hogy ezzel a módszerrel például a *rákos szöveteket nagyon korai állapotban ki lehet mutatni*, hiszen ilyen szövetekben egyes molekulák optikai tulajdonságai is megváltoznak. Bizonyos esetekben akár lehetne mutatni a kezdődő rákos elváltozásokat. De az orvosi diagnosztika más területein is jól használható ez az új típusú fény. Vegyük például a fluoreszcencia mikro-

szkópia esetét. A *fluoreszcencia erőssége is nagy mértékben, akár százszorosára is növelhető ebben az új típusú fényben*, ami ugyancsak *érzékenyebb diagnosztikai módszerek kifejlesztését teszi lehetővé*. Ezek a diagnosztikai módszerek már számos laboratóriumban rendelkezésre állnak. Utoljára egy példa a terápiás alkalmazásokról. Már említettem, hogy kisméretű, például arany részecskéken óriási elektromágneses térerősségeket lehet létrehozni. Valamikor a 90-es évek közepén erről tartottam egy előadást a houstoni Rice Egyetemen, amelyen beszéltem egyebek között ezeknek a nagy tereknek a lehetőségeiről is. Az előadáson részt vett egy fizikus-vegyész házaspár is, akik kedvet kaptak a témához és úgy gondolták, hogy ezt a jelenséget az orvosi gyakorlatban fogják alkalmazni. Mit tettek? Kifejlesztettek egy olyan módszert, amellyel kontrollálható módon azonos méretű gömböcskéket, pontosabban nanogömböcskéket lehet létrehozni. Sőt még spóroltak is, mert *kvarcgömböcskékre párolgattak nagyon vékony aranyréteget*. Ezen a vékony aranyré-



tegen külső fényvel létre lehet hozni az említett óriási tereket a plazmonikus fény segítségével. Mint ahogy az a 7. ábrán látható, ezeket a gömböcskéket intravénás injekcióval a (mell)rákos szövetekbe juttatták, külső fényforrással megvilágították és a létrehozott óriási terek elpusztították a rákos sejteket. A gömböcskék méretétől függ, hogy milyen színű fényre érzékenyek. Ha ez az infravörös tartományba esik, a testszöveteken jól áthaladó fényt használhatunk. Ez a technológia (terápia) Amerikában már emberi kipróbálás alatt áll.

A rendelkezésemre álló időből ennyire futotta. De talán ez is szemlélteti azokat a lehetőségeket, amelyeket a plazmonikus fény teremt az informatikában, orvoslásban, de általában a nanotechnológiában is, amely a 21. század egyik forradalmának forrása lehet.

Köszönöm, hogy meghallgattak.

