

Szép új nanovilág

Gyulai József
akadémikus

Professor emeritus, MTA Természettudományi Kutatóközpont,
Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet

Honlap: www.mfa.kfki.hu/~gyulai

Letölthető anyagok: www.mfa.kfki.hu/~gyulai/_/

”Brave New NanoWorld”

- Aldous Huxley művéhez kapcsolódó szójátékot köszönöm a szervezőknek:
- Indítást ad nekem arra, hogy
 - a tudományos Credo-mmal, ill. a
 - „Ceterum censeo”-mmal kezdjem...

A 21. század tudományának alapkérdése

- A mai tudománynak egyetlen küldetése van és két súlypontja lehet – ezek valahol megfelelnek a faj- és önfenntartás ösztönének is:
 1. megkeresni annak a módozatait, hogy élhet-e, ill. ha igen, hogyan 7-10G ember a Földön – úgy is, hogy a többi élőlény is lényegében fennmaradjon?...
 2. emellett az egyén élettartam-növelése domináns érdeklődést vonz – innen a biotudományok súlya, érdekessége,
 3. amelynek az eredményei hatással vannak az első súlypontra is.
- Lesz-e megoldás és képes lesz-e a társadalom azt az életforma receptet *idejében* magáévá tenni, nem tudom!
- Én az „elviselhetővé” tételt a humanióráktól, ill. kiknek-kiknek a vallástól remélem ...

Operating Manual for Spaceship Earth

- **Buckminster Fuller** (1969)



2013. november 15.

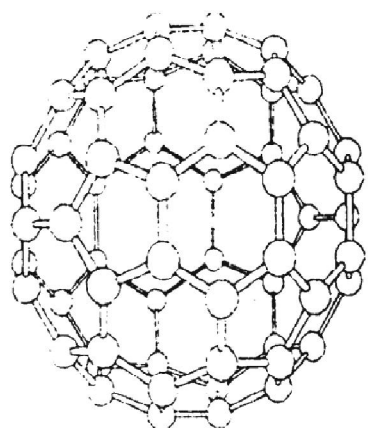
Szkeptikus Konferencia



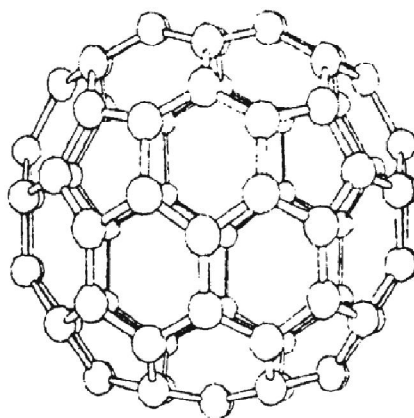
Operating Manual for Spaceship Earth

- **Buckminster Fuller** (1969)

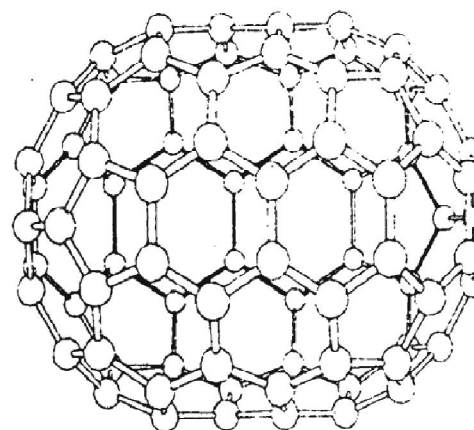
- "One outstandingly important fact regarding Spaceship Earth, and that is that no instruction book came with it..."



(a) C_{60}



(b) C_{70}



(c) C_{80}

- ..., hogy nem kaptunk hozzá Használati utasítást...

Elég-e ez?

- A 'Spaceship Earth' mély értelmű: a kékesszürke Föld termikus egyensúlyban lebeg az Űrben. Ekkor az érkező és az űrbe visszasugárzott hőmennyiség azonos (+ a radioaktivitásból származik néhány %-nyi geotermikus hő)
- Elmondható, hogy a **Föld „napmotor”** – „Solar engine”
- a **Római Klub** analízise a hetvenes évekből: ha az érkező napenergia **5 tízezredét** (!) többletként felszabadítjuk – bármilyen tiszta módon – a földi átlaghőmérséklet kb. egy fokkal megemelkedik!
- Ezt szokta a napenergia lobbi úgy mondani, hogy pár óra alatt megérkezik a Földre az emberiség teljes éves energiaszükségletét kitevő napenergia.
- Az emberiség fejlett fele kb. ennyit szabadít fel a saját szállásterületén
- Legkevésbé tolja el az egyensúlyt, ha **a napenergiát „valós idejű” (real time)** módon használjuk

Globális keret: tudomány és túlélés

- Kritikus műszaki tudományok:
 - **energetika,**
 - **anyagtudomány** és
 - **számítástudomány, -technika** (logisztika)
 - **infrastruktúra:** víz, közlekedés, meteo, stb.
- A 20. századi tudomány lényegében elmosta a fizika és a kémia határát – erre visszatérek.
- Új ipari forradalom kell, ami nem "csak" anyag- és energia-takarékos, hanem "**reciklizáló**"

A reciklizálás pozitív hatású az ökológiai lábnyom nagyságára is: csak az anyagok egymásba alakításának energia-igényével terhelik a Földet.

Mit tart fontosnak Európa ma?

A Horizont2020 prioritások

- Személyre szóló egészséggondozás
 - Fenntartható élelmiszer-biztonság
- „Kék” növekedés, az óceánok lehetőségeinek kutatása
 - Intelligens városok, közösségek
- Versenyképes alacsony-szén energetika
 - Energia hatékonyság
 - Mobilitás a növekedésért
- Szemét: az újrafelhasználás forrása, nyersanyagok visszanyerése
 - A víz „innováció”: az értékének hangsúlya Európa számára
 - Kríziskezelés: új eszközök, ötletek, irányítás
 - Katasztrófa-kezelés: védett és biztonságos társadalom
 - A klímaváltozás hatását is beleértve
 - Digitális biztonság

NMP Program jellemzői 2013

- A hat **kulcstechnológia** (key enabling technologies, KET) közvetlen támogatása
 - nanotechnology,
 - micro- and nanoelectronics including
 - semiconductors,
 - advanced materials,
 - biotechnology and
 - photonics
- 3 kulcstechnológiát (mikro- és nanoelektronika, fotonika és biotechnológia) közvetetten is támogatják

Mottó #2

- Az EU pályázati témái egyre inkább multidiszciplinárisak – egészen a biológiáig - **mi Nano and Materials Program (NMP-) Committee a Horizon2020 előkészítőjeként átalakult NMP+B-re, ahol B „Biotechnology”**
- Arról még szólók, hogy a 21. század "biológiája" – hitem szerint – jobban fog hasonlítani a 20. század fizikájára, kémiájára, informatikájára, mint az akkori-mai biológiára
- Nem csak az eszközeinknek kell bevonulniuk az élettudományokba, ami már tény, hanem a gondolkodásmódunknak is!

A nanotudomány – szerintem

- Ismert, hogy a növényi élet valósítja meg legjobban, az állati kevésbé
- Kolloidikusok: „mi mindig is nano-t csináltunk...”
- Majdnem igaz: a reaktorban ui. csak a nanomolekulákat eredményező reakció futása volt fontos – a geometriai helye, amely kulcs a **termékmolekula egyenkénti megtalálhatóságához**, azaz a termék-molekula „címezhetősége” **nem, a** nanovilágban ez fontos...
- Kémiai-orvosi: önszerveződés, a **kémiai kötőerők és a termikus (Brown) mozgás mérkőzése**, ennek határai adják a végső teljesítményt, a megbízhatóságot.
- Fizikai-mérnöki: hozzájön még pl. az atomi, ionos, elektronos megmunkálás, az önszerveződés tökéletessége (címezhetőség), de a perspektíva a kvantumfizikába való metamorfózis, entanglement
- A nano kombinálható még a mikrotechnológiával, amely pl. a célba juttatás eszköze lehet.

A nanotudomány típusai – szerintem

- A nanoszerkezeteket megvalósító tömbi anyagok, specifikus tulajdonságokkal
 - Kémiai (polimérek, festékek-bevonatok)
 - Gyógyszerészeti,
 - agrokémiai
 - Metallurgia, kompozitok
- Címezhető nanoszerkezetek
 - Nanoelektronika, fotonika
 - Nanomedicina
 - biomotorok

A „nanotudomány” vs. „nanotechnológia”

- Szeretem úgy megkülönböztetni, hogy a laborszinten működő eredmények a **nanotudomány**
- Ha kielégíti a „**megbízhatóság**” kritériumait is, lehet **„nanotechnológia”**
- Ez minden tudományos eredmény alkalmazására is kritérium (lenne) – amit csak korlátozottan tartanak be, mert
 - az igény erre készlet...
 - De kezdetekkor nem is ismert minden ellenjavallat...
 - Az alap kutatás ui. lemezteleníti a jelenségeket, hogy megmagyarázhassa, a mérnöki alkalmazásokhoz viszont vissza kell bonyolítani a jelenséget, azaz beleépíteni az elhanyagolt paramétereket, hogy teherbíró legyen a híd, biztonságos legyen a repülőgép, atomreaktor...

A „nanotudomány” vs. „nanotechnológia”

- „Megbízhatóság” a **mikroelektronikában**: hány lépésre juthat egyetlen tévedés – ez jó, ha 10^{10} :1, olcsó termékekre több hiba...
- A **kémiai és a gyógyszeriparé** jól kidolgozott, a termékekben a tolerálható szennyezések max. koncentrációját rögzíti
- A **biológiai** „megbízhatóság” óriási redundanciával és önjavítással dolgozik, de ha jobb lenne, mint a mikroelektronikai, nem kéne komputer a pilóta mellé.
- De mi lesz akkor, ha a méretek „összeérnek” a nanovilágban?
- A "nanogyár"-ban vajon minimálhatjuk-e a **zaj (káosz)** hatását, pláne, szobahőmérsékleten?

A nanotechnológia – gondjaim

- Az emberiség termeléssel és logisztikai elosztással dolgozik – milyen lesz a nanogyár?
- **Minőségellenőrzés**
 - Ma: az ún. Total Quality Management, TQM, a cél,
 - A **biorendszerek "minőségellenőrzése"** az **evolúció**:
 1. a ön-reprodukció,
 2. a véletlen mutációk (ez a "majdnem selejt"),
 3. a 'minőség' a természetes kiválogatódás révén
- A nanotechnológiai analóg nincs kitalálva
 - Lehet-e a minőségellenőrzés valamiféle **'gyorsított evolúció'**?
- A mai, pl. gyógyszergyártási minőségellenőrzése nem lehet elég pl. a kvantumkomputer "gyártásához":
 - nem maradhatnak inaktív, nem szenzibilizált molekulák,
 - térben szervezetten kell létrejönniük (megtalálható – címezhető)



Paradigmaváltás a nanotudományban

Mai műszaki ipar

- Terv, kísérlet
- Gyártás
- TQM
 - tolerancia,
 - elfogad, kidob
- Mikroelektronika biztonsága
- Kontrollált redundancia

Nanovilágban

- Pásztázó szondák, ill. önszerveződés
- **TQM**, de hogyan?
- Jó az élővilág modellje?
- **'Gyorsított evolúció'**?
 - a mutáció a mai "majdnem" selejt?
 - kiválasztódás felgyorsítva?
- A gyógyszer-jellegű TQM rendben
- Kontrollálatlan (?) redundancia

Megbízhatóság

(Swiss Fed. Labs for Matls Testing and Res.)

- A nem-skálázó fizikai folyamatok
 - tömeg és hődiffúzió, elektromos vezetőképesség, reakciókinetika, korróziós folyamatok, stb.
- Fáradás, súrlódás, javítási mechanizmusok mások az atomi és molekuláris léptékben.
- Redundancia, a kvantumállapotok korrelációja is kvantumstatisztika- és hulláminterferencia-függő
- Modellezés, kutatásigényes
- Hibatűrő megoldások igénye

Gondolkodásmód változás elé – a **kémiában**

- Példa: kémiai katalízis
- a katalizátor atom, a telítetlen d-, f-héjával – szerintem – olyan atomi méretű „labor” a maga gyorsan változó elektromos-mágneses terével, amelybe a bekerülő (oda vonzott?) atomok/molekulák elektronkötései fellazulnak, (más) vegyületbe lépnek
- palládium-, platina-atom, stb. atomi méretű laboratórium

Mérnöki gondolkodás a **biológiában**

- kevesebb antropomorfizmus

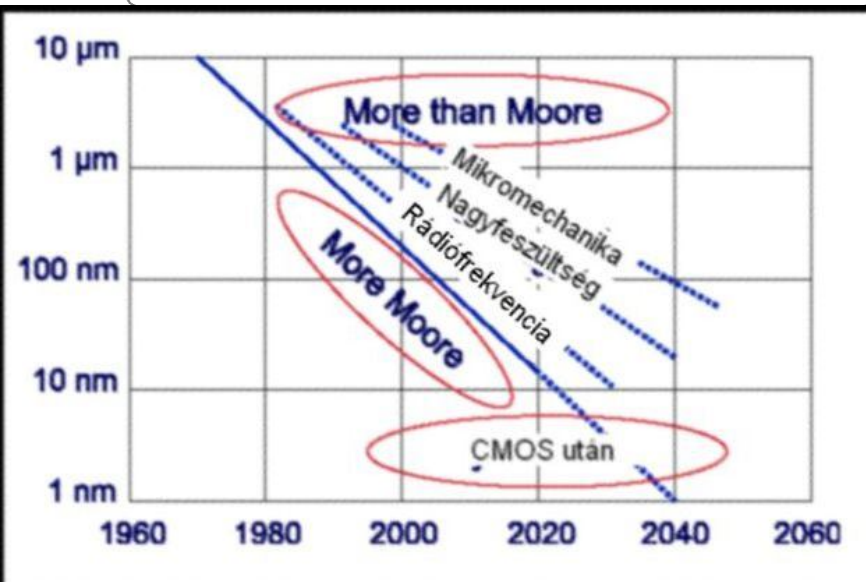
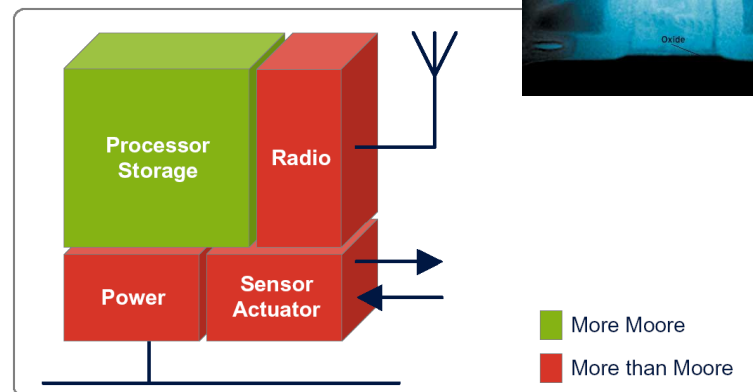
- Pl. a **stressz protein**
- Megtalálja a sérült fehérjét, hogyan?
- „megméri” a nm-es torzulásokat, hogyan?
- Átadja a saját testének egy részét – milyen energetika vezérli?
- Tudjuk, csak atomi erők szerepelhetnek



- Én mindezek fizikai, atomi megértését tekintem a biológia új életének

Folytassuk az elektronikával: a Moore "törvény"

- A mai csúcs az Intelnél – kisebb, mint egy vírus!
- Az arányos kicsinyítés működik 2020-ig...
- A szilíciumon ül egy átok: Nem lehet belőle lézert készíteni
- De igyexik a szakma...
- <http://public.itrs.net/>

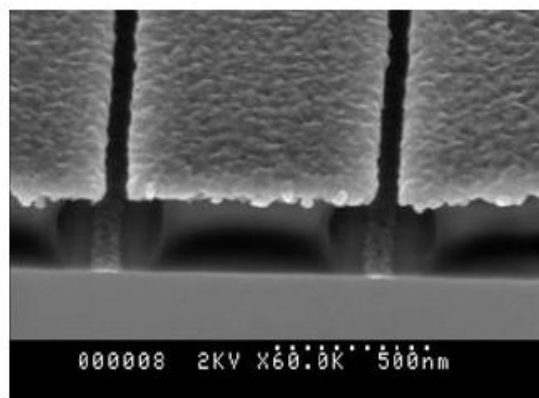
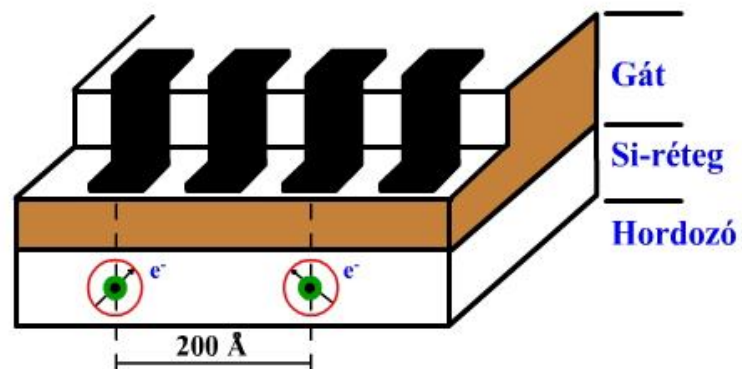


A nanoelektronika gondjai

- Scale down korlátai, új elemek:
- Nem elektronvezetés, más bináris rendszerek: spin, ~tronika
- A chipen optikai információtovábbítás a fémezés helyett – elkerülhetetlen
- Optika: plazmonika?
- Analóg vs digitális rendszerek
- Szerintem a mai gyárakban is megvalósítható változat lehet csak nyerő – különben elkezdődik egy akár ocsmány verseny...

Kvantumkomputer – spintronika

(Courtesy of D. Jamieson, Melbourne)



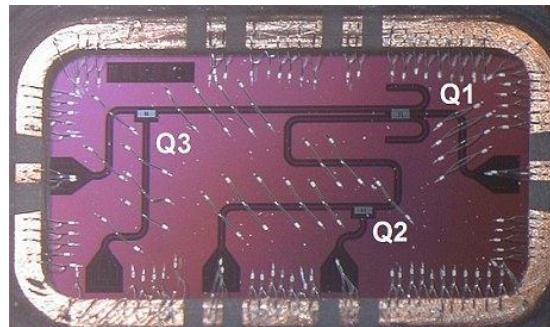
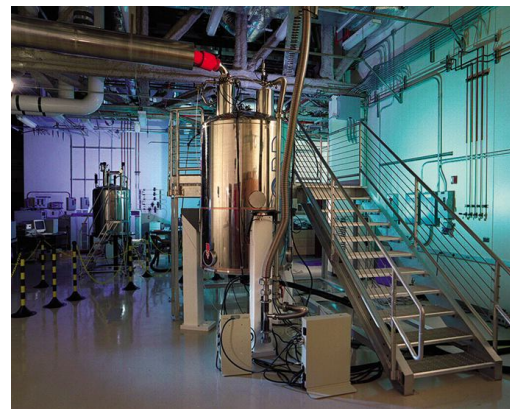
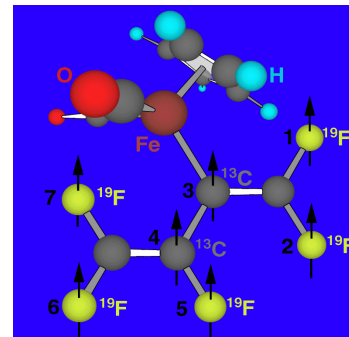
A kvantumkomputer

A „qubit”
kvantummechanikai
fogalom, amely
összekapcsolt részecskéket
jelöl.

Az öt fluor és a két szén
hét qubitje képes 15-öt
faktorizálni: $3 \cdot 5 = 15$

Rádióhullámok indítják a
gépet, NMR olvassa ki az
eredményt

2012: Szupravezető qubit
stabilizálás ($10 \mu\text{s}$), Si-
technológiával!



IBM Research

Dicarbonylcyclopenta
dienyl
(perfluorobutadien-2-
yl) iron
($\text{C}_{11}\text{H}_5\text{F}_5\text{O}_2\text{Fe}$)
(ill.
pentafluorobutadienyl
cyclopentadienyldicar
bonyl-iron complex)

Szkeptikus Konferencia



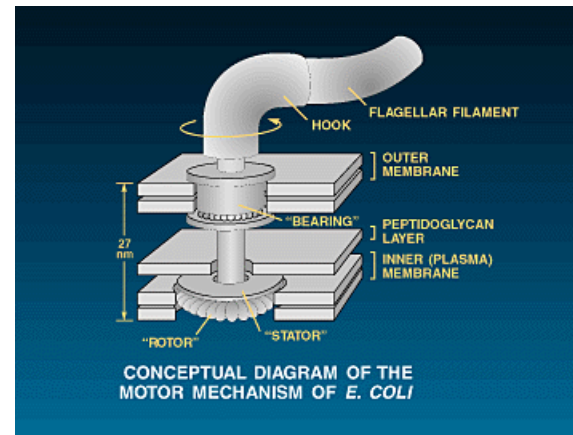
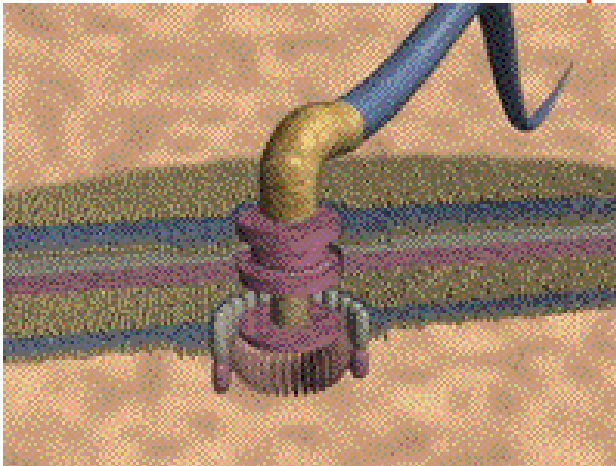
Útban a biomimetika felé

tanulni, másolni az élővilág
trükkjeit, de...

A forgómozgás és az evolúció

E.Coli baktérium csillója

100 000 ford./perc, proton-ugrás, **nanomotor**



Adenotrifoszfát, ATP, átalakítása nanomotorrá (Cornell)



El tudjuk-e
tanulni ezt a
bottom up
"gyártást"?

A Coli csilló – sok tízezer TEM-kép alapján,
K. Namba (Osaka) – Vonderviszt F. (PE-V)

Nanomotor, Coli baktérium flagellum (csilló),

- Először a csapággy alakul ki,
- majd egy fúró keletkezik és átfúrja a sejtfalat
- ezt a tengely követi
- majd a csilló kezd nőni
- Az ötujjú „tető” gondoskodik arról, hogy a plazma ne szóródjék a vízbe

A Coli csilló – sok tízezer TEM-kép alapján,
K. Namba (Osaka) – Vonderviszt F. (PE-V)

„Nanogyár” – lecke a tudománynak



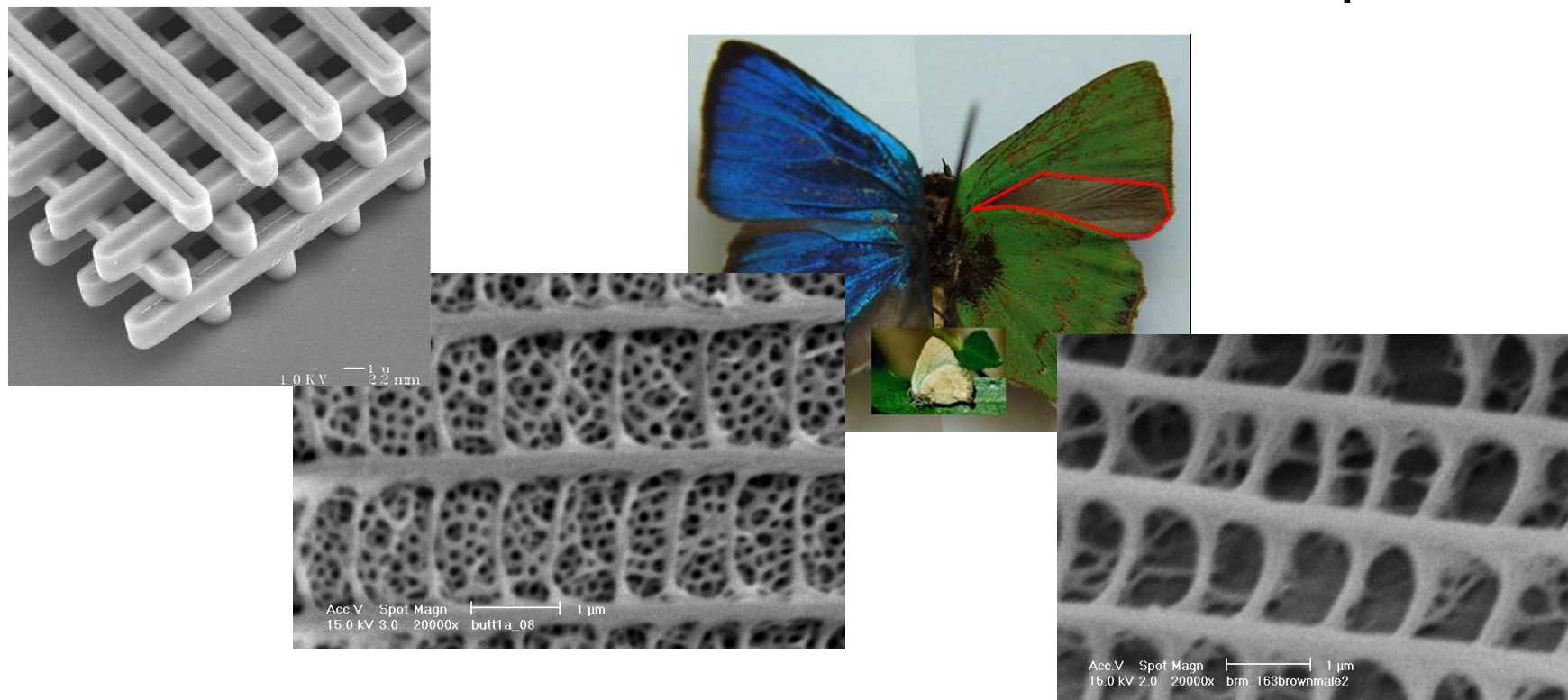
Protonic
NanoMachine
Project
ERATO, JST

Egy példa: a biomimetika és gondjai

- A nano tanulni kíván a természettől. De nem egyszerű: az evolúció speciálisan optimált!
- A pókháló vs. kevlar: egyetlen fizikai paraméterben van különbség köztük, a lassú, ill. gyors deformáció munkájában. Ettől jó az egyik légyfogásra, ill. golyóálló mellénynek a másik.
- A van der Waals erők szerepe – gekko .
- A fotonikus kristályok a természeti „színekben”?



Mikro-Nano – fotonikai anyagok: Infravörösre a Sandia, láthatóra – a természet ad példát



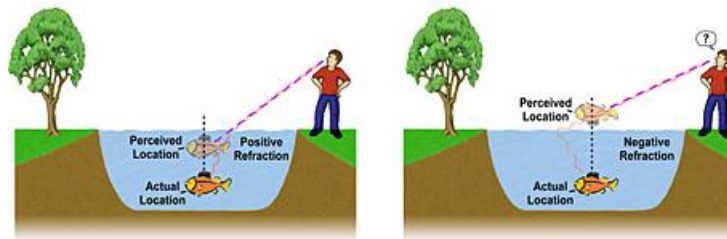
Biró L.P és Bálint Zs.: kedvezőtlen helyre született lepkéknél a színes nászruha a kihülést, pusztulást jelentette...

2013. november 15.

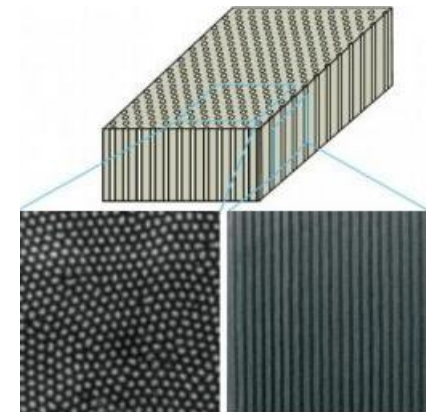
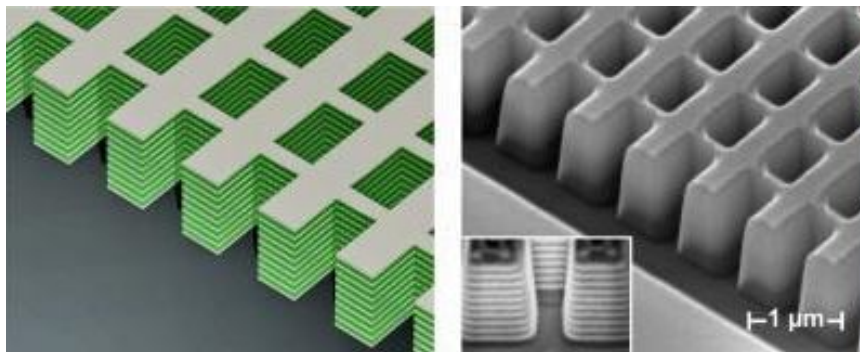
Szkeptikus Konferencia



Metaanyagok - varázsköpeny



(UC Berkeley)



Credit: Image by Jie Yao, UC Berkeley

(Credit: Image by Jason Valentine, UC Berkeley)

A nanotechnológia gondjai

- Nanobiztonság – félni kell a „nano”-tól?
- Nagyjából ott tart, mint a nukleáris energia biztonsági kérdései néhány évtizede
- A gyártáskor, terítéskor, alkalmazáskor, szemétként... Itt vannak a megoldandó kérdések.
- Legbiztonságosabb, ha zárt térben zajlik az első kettő. A harmadiknál lehet kapszulázás, stb. a szemétként – a ma ismert technikák alapvetően jóak látszanak.

Akár gyomirtást is direkt napenergiával... hmmm



A feleségem
megkért, hogy
irtsam ki a
gyomokat a
teraszunk
kövei közül,
hmm...

Köszönöm a lehetőséget...

További témákban képanyag is van...

A bioenergia dilemmája, I

- A növényi életnek, azaz a fotoszintézisnek az evolúciós célja nem a villamosenergia-termelés, hanem új élő anyag létrehozása.
- Ennek következtében a növények az *energiatermelés számára „túlprocesszálják”,* elrejtik a napenergiát cellulózba, keményítőbe, stb. – bár tárolhatóvá, szállíthatóvá teszik,
- De általában gyenge hatásfokkal – a fotoszintézisé 3-6% ...

A bioenergia dilemmája, II

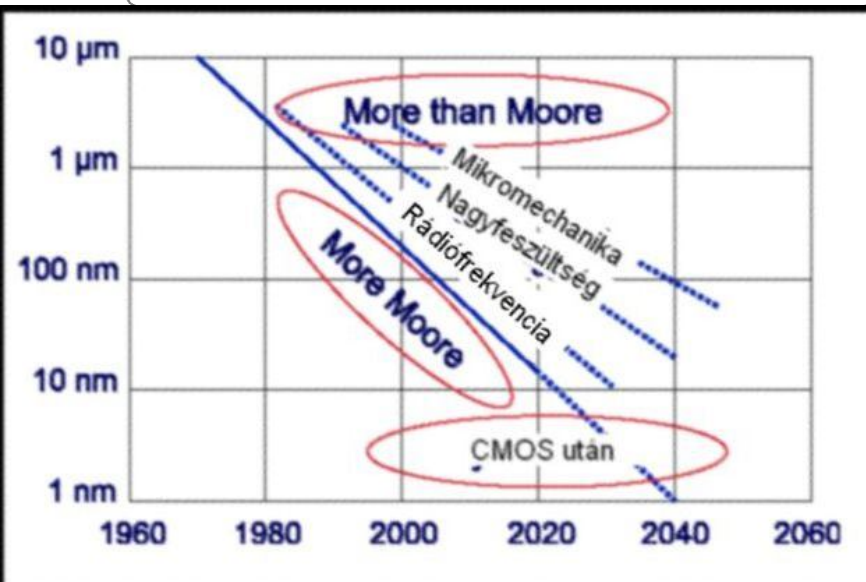
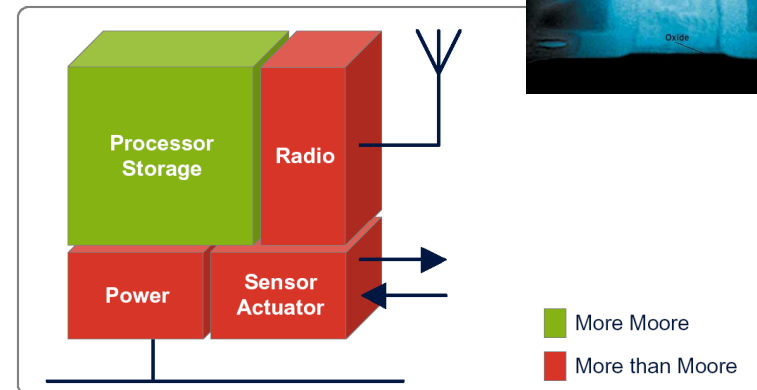
- Az energianövény úgy fogandó fel, hogy az egy alacsony hatásfokú átalakító és olyan energiatároló, amelyből az energia visszanyerése (szállítás, elégetés vagy bioüzemanyaggá változtatás) is energiaigényes, ill. veszteséges.
- A mérnöki energiamérlegben tehát a bioenergia folyamatait pl. a direkt naperőművel (hő- vagy PV) **plusz** annak a „naptalan” időkre való tárolásával kell összemérni!
- PV naperőműben ma: 1 MW/3 ha csúcsidőben – ezt kell összemérni ezen a 3 ha-on termelhető, processzalható bioenergiával... 0.13% vs 20-30%

A bioenergia dilemmája, III

- A biomassza helyi felhasználásban hasznos, de csak hulladékhasznosításnak tekinthető,
- Ehhez hozzájönnek az etikai gondok (tarvágás – pelletgyártás),
- Inkább szociális kérdés: a mezőgazdasági munka antropomorf – szemben, mondjuk, a naptükrök takarításával
- Meggondolandó tehát, hogy
 - a rossz talajok felett inkább napkőhókat hozzunk létre
 - és az éjszakai áramot vagy hőtárolókkal (só), vagy ugyanarra a turbinára dolgozó geotermikus, gravitációs, biomassza hőerőművel biztosítsuk!

Kezdjük az elektronikával: a Moore "törvény"

- A mai csúcs az Intelnél – kisebb, mint egy vírus!
- Az arányos kicsinyítés működik 2020-ig...
- A szilíciumon ül egy átok: Nem lehet belőle lézert készíteni
- De igyexik a szakma...
- <http://public.itrs.net/>



A mikroelektronika-közeli Nobel díjak

J. Bardeen, W.H. Brattain, W. Shockley, tranzisztor (1956)

L. Esaki, I. Giaever, B.D. Josephson, alagúthatás alkalmazásai (1973)

K. von Klitzing, kvantum Hall-effektus is tranzisztor (1985)

E. Ruska elektronmikroszkóp, G. Binnig, H. Rohrer alagútmikroszkóp (1986)

Z.I. Alferov, félvezető lézer, H. Kroemer, UHF tranzisztor, optika, J. S. Kilby, Integrált áramkör (2000)

W.S. Boyle és G.E. Smith, CCD szerkezet, optika, (Charles K. Kao, optikai szál)

A. Geim és K. Novoselov a grafénen, mint kétdimenziós anyagon végzett alapvető kísérletekért

Geim 2000-ben megkapta az IgNobel díjat is IgNobel – paródia - „first make people laugh, then make them think”: diamagnetic levitation



1T- 10T elegendő
az élő szervezetek
levitációjának
előidézéséhez