

HA MOST KEZDENÉM...

IF I WOULD RESTART NOW

Gyulai József

*MTA Energiakutató Központ, Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet (MFA),
valamint BME Villamosmérnöki és Informatikai Kar, Elektronikus Eszközök Tanszék
Elérhetőség: 1525 Budapest, POBox 49, Magyarország; gyulai@mfa.kfki.hu*

Abstract

No more vital goal of today's science can be defined but to figure out, if at all, how can 7-10 billion people live on Earth without vitally destruct or interfere interdependent net of living creatures. Recycling economy seems a key. To achieve this goal enormous computing power is needed. A review is given, also from personal experience, on development of semiconductor integrated technology, Moore's Law and its transformation into information technology (IT) and its outlook for near, maybe foreseeable future. Finally, some personal tactical advices to young students and researchers is given at a start of a career in science.

Keywords: *recycling economy, information technology and its fertilizing power in other fields of engineering, advices to future scientists.*

Összefoglalás

Aligha lehetne fontosabb célt adni a mai tudománynak, mint annak vizsgálatát, hogy élhet-e és, ha igen, hogyan 7-10 milliárd ember a Földön anélkül, hogy az élőlények összefüggő láncolatát végzetesen megzavarja. A reciklázó gazdálkodás jelentheti a kulcsot. A félvezető integrált áramkörök fejlődésén keresztül mutat a szerző etikus lehetőségeket, a nanotudományt is beleértve, a cél elérésére. Végül, néhány személyes tanácsot adna a tudományos életformába most induló fiataloknak.

Kulcsszavak: *reciklizált gazdaság, a félvezetőktől az információs technológiáig, a Moore törvény; tanácsok induló fiataloknak.*

1. Bevezetés

A Római klub indította el azt a tudatos gondolkodást, amely a Föld lakhatóságának fenntartását tudományos alapokra helyezte. Ez mindmáig olyan kérdés, amely – mint a bűvópatak – hol jól látható, hol háttérbe szorul olyan problémák miatt, amelyek sokszor csak látens módon, de ezzel az alapkérdéssel függenek össze. Élhet-e és, ha igen, hogyan 7-10 milliárd ember úgy, hogy nem teszi tönkre az élőlények egymást éltető láncolatát. A tudomány csak humánus megoldásokat ajánlhat, csak azokat vizsgálhatja.

Induljunk ki abból, hogy mit is értünk mai természettudományon? Az alaptudományokról szokták mondani, hogy azok „kíváncsiság-vezéreltek”. Az alapkutatóktól nem lehet elvárni, hogy felmérjék az eredményeik gyakorlati hasznát. Ha mégis, akkor azt a saját elfogult értékrendszerükben teszik. Amikor Archimédesz lelkesedésében, amúgy a kádból kiugró ruhátlanságában kirohant az agorára, aligha gondolt arra, hogy a hajóépítés alaptörvényét fedezte fel. Az alapkutatók ui. a kísérleteik során kénytelenek a vizsgált jelenséget megszakítani az értelmezést gátló körülményektől, lemezteleníteni azokat, hogy az akkori,

pl. matematikai apparátussal leírassák, értelmezessék a jelenséget. A velük ritkán azonos személyek, a kongeniális kutatómérnökök kellene ahhoz, hogy felismerjék egy-egy tudományos eredmény fontosságát és a közben fejlődött értelmezési, pl. matematikai módszerekkel megpróbálják „viszszabonyolítani” a törvény által lefedett jelenséget. Megkísérli visszailleszteni leírásba a korábban kényszerből elhanyagolt másodrendű hatásokat és ezzel megteremteni annak a lehetőségét, hogy a törvény alapján eszközök, termékek, járművek, hidak, stb. készülhessenek, amelyek kellően megbízhatóak is ahhoz, hogy akár az életünket is rájuk bizzuk. Ez a jó százalékos munkamegosztás a kutató és a kutatómérnök között alapozta meg a modern ipari társadalmat.

1.1. A technológiák típusai

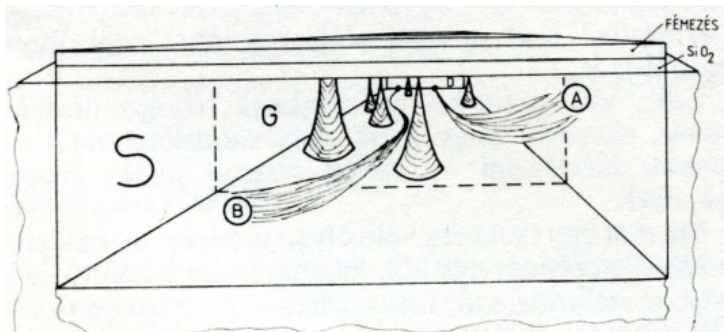
A technológiáknak alapvetően két típusa van: a „top-down” lebontó és a „bottom-up” építkező technológia. A legősibb az első: a pattintott kőszerszám ebbe a csoportba tartozik. Ki kell emelni, hogy ehhez is alapos gyakorlati tudás kellett: Hogyan kell ráütni az obszidiánra, hogy kagylósan törjék, éle legyen a hajítókőnek. De mindmáig nélkülözhetetlenek az ilyen típusú technológiák – pl. az esztergálás. Ezek azonban energetikailag nem kedvezőek. Például az esztergálásnál billiószám szakítjuk fel az

egyenként elektronvolt nagyságú kötési energiákat, amelyet a munkadarab káros, de legalábbis felesleges melegezése jelez. Sokkalta kedvezőbb lehetnek az építkező technológiák, amelyeknél akár atomosan építhetjük fel a kívánt szerkezetet. Ennek klasszikussá vált megfogalmazását R. P. Feynman adta az American Physical Society ülésén tartott előadásában: „There’s plenty of room at the bottom.” [1]. Ma az „atomi réteg” leválasztás (ALD), vagy a „molekulasugaras epitaxia” jelenti ennek egyik legpontosabb megvalósítását, de a biológiai markerek elhelyezése talán még újabb változat. A mai nanotudomány, nanotechnológia preparatív eljárásai is az építkező technikákon alapszanak.

Az anyagtudomány modern eredményeit, kihívásait az **1. táblázat**ban foglaljuk össze – anyagcsaládonként és ipari célok szerint (a vastagítás a legfontosabb új területekre utal).

2. A félvezetők és az integrált áramkörök – a „Moore törvény”

A tranzisztort tartjuk a 20. század legnagyobb hatású találmányának, amely az elektroncső félvezető-analagonja: az atomok által kifeszített (vákuum?) térben zajlanak le a vezetési folyamatok, mint egy, a hetvenes években készített rajzunkban (**1. ábra**):



1. ábra Tranzistorban zajló vezetési folyamatok

1. táblázat. Ipari trendek az anyagok világában

	Infotechnol.	Energetika	Közlekedés	Gépipar, építőipar	Kémia, agro-, bio- ipar	Gyógyászat
Féltvezetők	Si, SiGe, A, B ₅ , szén nanocső, grafén, más 2D anyagok, MoS ₂	Kék LED Teljesítményelektronika, SiC	LED	Napelemek a világítás forradalma	Organikus féltvezetők	Aktív implantok Mikrofluidika, adagolók, lab-on-chip
Szerkezeti kerámiák	áltátszó kerámiák	Turbinák, csapágyak	Motorok ("1-2 l-es")	motorok, szerszám, kemény bevonatok, gépek		Protézisek
Funkcionális kerámiák	Szenzorok, Szupravezetők	Tűz, ag cella, magas hőm. szenzorok, akku, szupravezetők?		Szenzor, nanomegmunkálás	Szenzorok, beavatkozók.	Idegstimulátorok
Optikai, fotonikai anyagok	Hullámvezető, "photonic barndgap", metanyagok	Kisfogyasztású elektronika, LED, lézer (GaN), kisülési lámpa a világítás forradalma		Monitorok	Távírányítás	Mesterséges érzékszervek
Polimerek	low, high k, CD, memóriák szigetelők	napelemek, szigetelők	járműipari igények szerint	hőálló és terhelhető polimerek (300-500 km órhordóképeség), "smart" aktív anyagok		Peptidok, lipidek, "nanomedicina", önszerveződő és biokompatibilis, "smart" anyagok, "biomimetika"
Fémkutatás	Tiszta fémek, Cu, Au, W, Ta, stb.), szupravezetés	Könnnyű fémötvözetek, kompozitok, "smart" aktív anyagok, acélok, fémhobok	a világítás forradalma: OLED, PLED	Membránok, önszerveződés, kopdimerek, nanokompozitok	Korrózióálló ötvözetek	Kompozitok, Protézis elemek, "smart" aktív anyagok
Nanoszerk. anyagok	Mágneses, piezo nano szerkezt, kv. komputer energy harvest, grafén	Turbinák	fullerényszerűek, CN, BN, gyémánt	Genom		Protézisek, biokompatibilis fullerényszerűek, gyémánt Bioszenzorok
Többfunkciós Mikromeg- munkálás, MEMS + nano	Adaptív optika	Önoptimáló anyagok	Intelligens távolság tartók, rékek, ütközők, biztonság	Intelligens szeresz, Intelligens házak	Intelligens gépek, GPS-vezérlésű	Intelligens implantok, "smart" aktív anyagok bekapcsolásával, mesterséges érzékszervek
	Intelligens „homok”, „mote” érzékelők telekommunikációval	a szenzorok és beavatkozók (sensors and actuators) forradalma	Metaanyagok (negatív permealitás?);			

Itt az **S** (source) a töltéshordozók, pl. elektronok forrását, a **G** (gate) a vezérlő elektróda alatti teret jelöli. A vezérlés a „**Fémezés**”-re adott feszültség végzi, amelynél egy vékony **SiO₂** szigetelőréteg gondoskodik a vezérlő térerősség csatolásáról. Az elektronok a szemben, a mélyben lévő **D** (drain) részbe repülnek. A „cseppkövek” léte és száma szabja meg a működés feszültségtartományát (ezeknek a „stalaktit-szerű” rácshibáknak egyedi ionok belövésével („ionimplantáció”) való reprodukálható létrehozásának „ipari technológiává” alakításában volt személyes szerepünk [2]).

Már a hatvanas évek közepén észlelte G. Moore, később az Intel kereskedelmi igazgatója, hogy az előállítási technológia exponenciális tempóban fejlődik, ami az egyetlen kis szilíciumdarabon létrehozott tranzisztorok számát, ezzel együtt az ott elvégezhető logikai műveletek számát jelenti. Ez akkor évente kétszereződött, de még ma is másfélszereződik. Ez „törvény” valójában gazdasági törvény semmint műszaki: a piac igényét közvetíti az elektronikai iparnak, amit az – előreláthatólag 2025-ig – teljesíteni tud csúcstechnológiai teljesítménnyel.

Amit még ebben a témában elmondunk, az az, hogy a mikro-, illetve ma már a nanoelektronika teljességgel behálózta a teljes civilizált életet: a gépipartól a biotechnológiáig, a pénzügyi szektorig és a szociológiáig, az emberi társadalom modellezéséig.

Az alkalmazások egy fontos és kevésbé ismert eleméről szólnak pár szót. Egy mai integrált áramkörben – természetesen – jelen van a tápegység, a memória és a logikai műveleteket végző, milliónyi tranzisztorból álló processzor, mint „klasszikus” elem. Ma, amikor a hordozhatóság, mobilitás alapvető igényné vált, a rendszert integrálni kellett a távközlést, távkapcsolatot biztosító hírközlő elemmel, de ami teljesen újszerű, a szabályozás feladatainak ellátása alapvetően igényli az „érzékelők” és a fel-

dolgozott jelekkel vezérelt „beavatkozók” integrálását is! Az „érzékelés” teljesen általános: bármilyen fizikai, kémiai, sőt, biológiai folyamat futását, azaz reakciótermékeit figyeli, de „érzékelőről” valójában akkor beszélünk, ha a folyamat figyelése, a reakciótermékek gyűjtése csak „észrevehetetlenül” (non-destructive módon) módosítja a folyamat futását.

Ez a kevésbé ismert terület a „mikroelektromechanikai rendszerek” (MEMS, Microelectromechanical System) belépése, amelyek az integrált áramkörök előállításánál használt fizikai, kémiai előállítási technikákat nem az elektromos viselkedés beállítására, hanem például mechanikai tulajdonságok érzékelésére használják. Ennek első, tömegesen használt eleme lett a gyorsulás/lassulás érzékelő, egy vékony nyelv, amelynek lehajlását figyeli az érzékelő. Ez lett a gépkocsik légzsákjának „lelke”. A MEMS technológiák fő előnye, hogy egyetlen, 20-30 cm átmérőjű szilíciumszeleten egyszerre készül akár tízezer, egymással tizedszázalékra azonos tulajdonságú elem. Ez lett a „nyerő” és ezzel vált éppen a légzsák biztonságos eszközzé. Ezek a megbízhatósági tulajdonságok eredményezték, hogy ma már sok területet meghódított a MEMS, amely „csak” a mikrométeres világot meghódító technika (amelybe a mi régióinkból is be lehet kapcsolódni) – szemben a nanoelektronikával, amely nanométeres tranzisztorok milliárdjainak reprodukív előállítását követeli. Egy sikeres példa: a „lab-on-chip” sok-sok változata, aminél egyetlen, pár mm²-es lemezken egy teljes, például biokémiai reakciót és a megfelelő reagenseket, majd a gyógyszeradagolást is meg lehet valósítani. Ha kell, a testbe is beültethető, azaz „biokompatibilis” módon.

2.1. A hamuba' sült pogácsa...

A cikk szerzője sok-sok szerencsével megsegített nemzetközi karrierje tanulságait is szeretné megosztani a tisztelt Olvasóval. Ahhoz a közmegegyezéshez szívesen csatlakozik, hogy a sikeres karrierhez három

dolog vihet: tehetség, szorgalom, szerencse. Ebből bármelyik kettő együttese elég lehet – egy azért kevés. De meggyőződése, hogy – ahogy a művészetekben, sportban – vannak megtanulható, megtanulandó „mesterségbeli” elemek, amelyek emelik a siker esélyét. Ezek figyelembe vétele révén javítani lehet a tehetségen, segíteni lehet a szorgalom hatásait és segítenek „észrevenni” a szerencse leghalványabb kacsintásait is.

Fontos észbe vésni, hogy a tudományos együttműködés bizalmi kérdés, nem lehet keresőprogramokkal helyettesíteni.

- Tehetségpótlás:
 - Vizsgálj meg minden eredményt, magyarázatot a fonákjáról is, akadhatsz nem-konvencionális gyöngyszemre, de nehéz sorod lesz;
 - Ebédelj együtt a versenytársaiddal – adj, hogy kapj információt,
 - Figyelj a véletlenekre.
- Szorgalompótlás:
 - Beszéljess, figyelj a konferenciákon – szinte pótolja az irodalmazást, aki a témáját a szakirodalomból próbálja méríteni, az eleve sok-sok hónapot késik;
 - Légy vonzó a szorgalmas, modernebb tudású diákjaid számára;
 - Te írd meg a szakmád monográfiáját (jó társszerzőkkel?);
 - Legyen egy saját adatbázisod a gyakran elfelejtett szavak, fogalmak visszakeresésére.

- Szerencsepótlás
 - Tanuld meg a neveket, a partnereid házastársaiét, gyermekeiét különösen – legyen ezekről évek múlva is előhúzható jegyzeted;
 - Építsd a kapcsolatokat – főleg azok emberi, erkölcsi oldalát;
 - Nehogy anyagiasnak tűnj!
 - Légy figyelmes, udvarias, de semmiképpen se édeskés, hajbókoló.

3. Összefoglalás

A cikk rövid kivonata a tervezett előadásnak és így igyekezett néhány kevésbé ismert területen bemutatni, hogy az IT eljárások mennyire átszövik a teljes műszaki világot. Végül néhány tanácsot ad azon fiataloknak, akik erre a munkás, de az emberiség életére vitálisan kiható szakmára éreznek hivatást és vállalják az életre szóló kihívást. Az előadás további példákkal szolgál.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] R.T. Feynman: *American Physical Society lecture*, Caltech, Pasadena, 1959. dec. 29.
- [2] Pl. J. Gyulai: *Damage Annealing in Silicon and Electrical Activity, in Ion Implantation*. Science and Technology, Ed. J.F. Ziegler, Academic Press, New York, 1984, pp. 139-184.