

AZ INTEL MADÁRTÁVLATBÓL

– Andy Grove / Gróf András halála kapcsán

Gyulai József
MTA MFA és BME

Soha nem tudhatjuk meg, hogy a világ által igazolt sikerességet érezhette-e *Andy Grove* a végső pillanataiban, de örülnénk, ha így lett volna. Noha aligha hihető, hogy egy olyan aktív mérnök, mint ő, a „befejezettséget” érezhette volna – biztosan voltak tervei, megkezdett lezáratlan munkái, de látnia kellett, hogy egy félszázados cég máig az innováció élén halad. Az őt tisztelők azonban feltétlenül a sikeres és befejezetten-lezárt életművet látják.

A világsajtó vezető helyeit megtöltő nekrológok is ezt sugallják. E cikk írója reméli, hogy a *Fizikai Szemle* olvasói találkoztak ezekkel az írásokkal és megismerték a mikroelektronika, számítástechnika talán legismertebb márkája, az Intel Corporation egyik fő alapítója, hosszan vezérigazgatója nevét, főbb tetteit. Tudják, hogy Gróf András-ként 1936-ban Budapesten született és a forradalom napjaiban választott új hazát – *Leslie Vadasszal*, a cég kereskedelmi vezérével, aki tavaly járt itthon és tartott előadást...

Hadd legyen ez az írás másminylen. Legyen ez egy madártávlatból készült, de személyes kép az Intelről, főleg első éveiről. Kép, amely mélyen tiszteli a csapat minden tagjának kiválóságát és különösképpen a most eltávozott, hosszú időn át vezér *Andy Grove* emlékét.

A madártávlat azt jelenti, hogy – hadd folytassam első személyben – különlegesen szerencsés csillagzatom először 1969-ben juttatott a Caltech Villamosmérnöki Karára postdocnak, egy különleges professzor, *J. W. Mayer* mellé, és ezzel a nem sokkal korábban megalakult Intel közelébe. Közelébe? Igen, mert az Intel által elhagyott „fészek”, a Fairchild Corporation fejlesztő laborja volt az, amely ellátott bennünket élvonalbeli anyagtudományos feladatokkal egy korábbi Caltech-PhD, *Val Rodriguez* közvetítésé-

vel. Akkor még nem lehetett tudni, hogy az Intel kiválása az anyacég e területről való teljes kiszorulását hozza magával.

Az első „intelesek” közül *Bruce Deal* és *Andy Grove* nevével találkoztam először, amikor megismertem a szilícium felületén atomosan rendezett SiO₂ réteg növekedésének általuk megalkotott elméletét, amelynek kidolgozásában *Grove*, mint kitűnő vegyészmérnök mutatkozott be. Ezt a tudást könyvbe, tanulmányokba foglalták – és a téma akkor még rejtett tudásanyagával, és a technológiai higiéne korábban ismeretlen szintjének megvalósításával elsőként tudtak ipari minőségben és reprodukálhatóan úgynevezett „komplementer tranzisztorpárokat”, azaz a Boole-algebra egy elemét megvalósító invertereket gyártani a MOS (Metal-Oxide-Semiconductor) eljárással gyártott chipeken...

A technológiai higiéne révén sikerült ugyanis megakadályozniuk, hogy a csökemencék samottjából a szennyezések, például az alkáli atomok bejussanak a kvarccsövek belsejében tudatosan oxidálódó szilíciumszeletek-

re és a folyamat kézben tartásával elérjék, hogy csak a tranzisztorműködéshez kritikusan pontos töltésmennyiség juthasson a Si-SiO₂ határretegbe. Emellett azt is el tudták érni, hogy a keletkező határretegben akár egyetlen rácsállandónyi lépcsők (!) is csak elvétve – ezer, később tízezer atomonként egy-egy – keletkezhessenek hibaként.

Hogy miként jöhetett létre az Intel, arról engem is oktattak a fairchildos barátaim. Így: minden anyacég, ez esetben a Fairchild, antagonisztikus ellentétben van az innovatív, netán kiválni szándékozó munkatársaival. Az anyacég ugyanis szűk, de mély tudású munkatársakat igényel, míg a kiváláson is gondolkodók számára vitális kérdés, hogy – mondhatjuk így is – titkolják el az újító ötletüket és egyidejűleg „kikémkedjék” a tervezett piaci termék teljes technológiáját. Mert a cégalapítástól az első termék piacra dobásáig már nincs kutatás. És mindezt tökéletes titoktartással kell elvégezni. Ez nem könnyű: voltak azokban az években olyan szakmai barátaim, akikről túl korán derült ki az efféle szándék – és egy reggel a jegyzeteikért se mehettek be – éppen a Hughes Aircrafthoz. Ha az önállóságra törők eljutottak a kellő ismeretekhez, akkor kell megkeresniük az anyacég bankjával konkurens pénzintézetet és meggyőzni őket az ötlet-



Gyulai József akadémikus az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézete (MFA) nyugalmazott igazgatója. Éveket töltött amerikai, francia, német és japán egyetemeken. Emeritus professzor az MFA-ban és a BME-n. Vezetőségi tagja volt az Európai Anyagtudományi Társaságnak, elnökhelyettese az IUPAP-nak és az Európai Fizikai Társaságnak. Elnöke, majd tiszteletbeli elnöke az Eötvös Társulatnak. Kitüntetései: Akadémiai Díj, Munka Érdemrend, Széchenyi- és Príma Díj, Eötvös Érem.

ről. Ez az, ami az Intel életre hívó csapatnak, Robert Noyce-nak, Gordon Moore-nak, Andy Grove-nak, Leslie Vadasznak, Bruce Dealnek és másoknak, példaszertő tökéletességgel sikerült.

Mi, a Mayer-csapat, később az NSF által finanszírozott Caltech (Mayer) – KFKI (Gyulai) kutatócsoport csapata nem az oxid minőségével foglalkozott, hanem belekésedett a félvezetők adalékolására alkalmasnak látszó, nem is új – Shockley már 1957-ben szabadalmaztatta! – eljárással, az úgynevezett ionimplantációval, amely akár izotóptisztaságban lő be annyi iont és oda a szükséges adalékból (főleg bórt, foszfort, arzént), amennyire szükség van. Én „intellest” először (sajnos, a nevét nem jegyeztem fel) az első Ionimplantációs konferencián, 1970-ben, Kaliforniában vitáztam az implantációs eljárás perspektívájáról. Megértettem, hogy az Intel annyira bízott a technológiai higiénét, a szeletek körüli tér gázkörnyezetét atomisztikusan tisztán tartó eljárásukban, amellyel megoldották, hogy szabályozottan tudjanak például bóratomokat bejuttatni az oxid és a szilícium határfelületébe, hogy nem érdekelte őket az új, ismeretlen eljárás, egy „fizikusi” játék, amelyhez még iparidegen részecskegyorsító masinák is kellenének a gyárban. Olyannyira így volt, hogy a kolléga azt mondta nekem, hogy az implantáció legfeljebb arra lesz jó, hogy a tranzisztorok között a szilíciumot amorfizálva, megakadályozza a tranzisztorok nemkívánatos „beszélgetését”. Már itthon voltam a KFKI-ban létrehozott csapatunkban, 1975-ben, amikor a calteches implantációs témában doktorált munkatársunkat, R. D. Pashley-t alkalmazta az Intel. Ez lehetett az a fordulópont, amikor rájöttek, hogy ionokat reprodukálhatóan lőni sokkal biztonságosabb. Szerencsénkre, nem ők jöttek rá arra a „preamorfizáció” néven ismertté és világszerte alkalmazottá vált trükkünkre, amely „technológiává” változtatta a fizikusjátékot, az ionimplantációt. Olyannyira, hogy például a mai Intel a processzortechnológiájában 23 implantációs lépést alkalmaz. A preamorfizáció képes volt kiküszöbölni azt a kristályosságából eredő gondot, hogy az ionok nem-reprodukálható mélységekbe hatolnak be a kristályatomok oszlopai által definiált „csatornába” mielőtt lefékeződnének. A preamorfizáció ezt oldja meg: előbb Si-ionokkal amorffá bombázzuk a Si felszínét, és ebbe a rétegbe lőjük be a kívánt adalékot, amely ekkor számíthatóan, Gauss-eloszlás szerint fékeződik le, majd egy alacsony hőmérsékletű hőkezeléssel tesszük „rendbe” a kristályrácsot – ezzel még a nemkívánatos adalékdifúziót is minimalizáljuk. Nos, Richard Pashley „bevált” a cégnél: ő találta fel később a flash memóriát, a pendrive lényegi elemét, és nemrégén vezérigazgató-helyettesként ment nyugdíjba.

Volt még pont, ahol az Intellel párhuzamosan okozott a Mayer-Gyulai-csapat paradigmaváltást – ezúttal a szilíciumkristály-iparban, 1975-ben. Kezdetekkor ugyanis a gyárak alapvetően (111) kristályorientációban növesztették a félvezetőgyárak számára az alapanyagot. Az Intel eredménye volt akkortájt, hogy a Si-SiO₂ határreteg atomos rendeződése sokkalta jobb



Az Intel alapításának 10. évfordulóján Andy Grove, a társalapító Robert Noyce és Gordon Moore. Grove az egyik korai mikroprocesszor rajzán ül. Az Intel első mikroprocesszora az 1971-ben kiadott, 4 bites 4004-es volt. Ez volt a második teljes, egy lapkára épített CPU (ezt megelőzte a Texas Instruments TMS 1000-es mikrovezérlője), azonban a 4004-es volt az első kereskedelmi forgalomba került mikroprocesszor. Itt már a 10 mikrométeres szilíciumkapus PMOS technológiát alkalmazták, és 29 000 számítást volt képes elvégezni egy másodperc alatt. A 4004-es áramkörre 2300 tranzisztorból épül fel, és a következő évben az első 8 bites mikroprocesszor követte, a 3300 tranzisztoros 8008-as (és a 4040, az átdolgozott 4004-es). Az Intel negyedik mikroprocesszora, a 8080 indította el a mikroszámítógépek forradalmát. (https://hu.wikipedia.org/wiki/Intel_4004)

lehet egy (100) felületen. Ehhez csatlakozott a Mayer-Gyulai-csapat eredménye, miszerint az ionimplantáció okozta rácskárosodás is tökéletesebben gyógyul az (100) felületű szilíciumon. Ez az eredményünk is hozzájárult ahhoz, hogy az ionimplantáció szempontjai, az oxidnövesztéshez hasonló súllyal szóljanak bele a fejlesztésekbe, ez esetben a kristálygyártásba. Büszkeség töltött el minket is, amikor évek múlva láttuk, hogy a teljes szilíciumipar dominánsan átállt az ilyen orientációjú alapanyag növesztésére.

Az ELFT nevében, a rendszerváltás táján hívtam Andy Grove-ot hazalátogatásra, amit finoman, de visszautasított. Megértettem, mert nem bízhatott kellően a következmény nélküli vendégbarátságban.

Sokat köszönhet a világ neki és a többieknek, az Intelnek, de a Bell laboratóriumnak, az IBM-nek, meg a megerősödő japán és távol-keleti gyáraknak – épp tavaly „ünnepeztük” az ötvenéves Moore-törvényt, amely – valójában gazdasági törvényként – közvetíti a piac elvárásait az ipar felé...

Andy Grove, nyugodj békében! Művedben tovább élsz...