

SZÁZ ÉVE SZÜLETETT WILLIAM B. SHOCKLEY, A TRANZISZTOR EGYIK ATYJA

Gyulai József

az MTA rendes tagja,
a Műszaki Tudományok Osztályának elnöke
gyulai@mfa.kfki.hu

Bevezető

William Bradley Shockley egy Londonban dolgozó amerikai család gyermekeként született 1910. február 13-án. Diplomáját a Caltech-en, doktori fokozatát az MIT-n szerezte. Gondolom, a T. Olvasó is tudja, hogy az amerikai csúcstémák fejlődésai hol keresgélnek, így nem meglepő, hogy első munkahelye a mára sajnós tudománytörténeti legendává vált Bell Telephone Laboratories lett, ahol szép karrierjének közepén, 1955-ben, a Tranzisztor Osztály igazgatói székéről mondott le, hogy megalapítsa a Shockley Semiconductor Laboratory of Beckman Instruments, Inc. vállalkozást. Szakmai elismeréseinek koronája a fizikai Nobel-díj 1956-ban, amelyet Bell laborbeli kongeniális munkatársaival, John Bardeennel és Walter H. Brattainnal közösen kapott.

Shockley kutatásai rendkívül eredményesek voltak a félvezetők fizikája, technológiája,

valamint a félvezető eszközök fizikája körében. Nekem és korosztályomnak meghatározó szakmai olvasmánya volt az *Electrons and Holes in Semiconductors* (1950) című könyve,



William Bradley Shockley

amely csodálatosan világos tárgyalásmóddal egyesítette a szakma elméleti alapjait az „amerikai” gyakorlati tudással, koncepcióval. E könyv megírása egymagában kielégíti az ember elvárásait egy Nobel-díjastól. Shockley részletesebb életrajza megtalálható a http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1956/shockley.html honlapon.

William Shockley 1989. augusztus 12-én távozott közülünk.

Merem vállalni a vitát, hogy Shockley, Bardeen és Brattain neve fémjelzi a 20. század második felének minden egyéb felfedezésnél nagyobb hatású eredményét, a tranzisztort. A tranzisztort, amely a rádiócső fantasztikus karriert befutó utóda lett. A tranzisztort, amely nélkül a 20. század második felének tudomá-

nyos és műszaki fejlődése nem jöhetett volna létre, amely – az informatika fő hardverévé integrálódva, bonyolódva – az ezredforduló tudományát is meghatározta. Ma már aligha igényel bizonyítást, hogy az élettudományok fejlődésének szemünk előtt alakuló szépséges íve, vagy a társadalom- és üzleti tudományok fejlődése sem válhatnék nélküle valósággá.

A tranzisztor lett a „mindentudás építőeleme”

Eme, meggyőződésemből íródott tiráda ellenére sem állítom, hogy a tranzisztor a „legszébb” 20. századi találmány, amely olyan mértékben új lenne, mint – mondjuk – a tengely, amely a görgőt kerékké varázsoló zseniális többlet a faderekakon görgetett teherhez képest, amely utóbbi elleshető volt a természetben. Vagy a lézer, a korábban sehol sem létezett felfedezés, amely csak az einsteini zsenialitás által megsejtett jelenségre, az ún. stimulált emisszióra alapulva jött villámcsapásszerűen létre.

Nem. A tranzisztorra ugyanis még az sem igaz, hogy *deus ex machina* robbant be a műszaki életbe. A tranzisztor őse ugyanis egy korszakalkotó előd, a vezérelhető rádiócső volt. Ez indította el a 20. század első felében az *elektronikának* nevezett tudomány fejlődését, és vezetett el már akkoriban a gondolat-hoz, hogy vajon meg lehetne-e mindazt, amit ez a zseniális vákuumeszköz produkálni képes – erősítőként, hullámgenerátorként stb. – szilárd testekben is valósítani. Mert az atomok által kifizített, ún. *atomközi tér* is valami olyan, mint a vákuum, amelyben az elektronok száguldozni képesek, s ezzel információt is szállíthatnak.

¹ Lilienfeld Lembergben született 1882-ben, iskoláit már Németországban végezte, 1926-ban emigrált az USA-ba, és ott is halt meg 1963-ban.

A gondolat első szabadalma már 1924-ben megszületett: egy orosz kutató, *Oleg Lossov* jelentett be ugyanis szabadalmat Németországban „Kristalle als Verstärker” címen. Az első, kifejezetten tranzisztor-analóg USA-szabadalom 1925-26-ból, Julius Edgar Lilienfeldtől származik. Ő még rézszulfid vékonyrétegekkel működő eszközt képzelt. A szilícium mint alapanyag még a horizonton kívül volt: évtizedekre volt még az a tudás, amely megfelelő tisztaságban tudta volna előállítani ezt a mára „győztes” anyagot. Lilienfeld azonban már a rádióvevő kapcsolási rajzát is tartalmazó bejelentést tett, amelyet 1928-ig két további szabadalma követett.² (*I. ábra*)

Herbert F. Mataré 1944-ben szabadalmaztatta a tús tranzisztort Németországban, amely eredmény azonban eltűnt a világviharodásban. Kollégája, *Heinrich Welker* 1945-ben a legyőzött Németországban bejelentett egy szabadalmat a tervezérelt tranzisztorra, kidolgozva annak egyenleteit is. Ők ketten, mentve, ami menthető, 1954-ben – tehát már a Bell-szabadalom után – közösen kértek rá szabadalmi védettséget – 1948-as franciaországi elsőbbségi igénnyel³ – gondolva, hogy a győztes országbeli elsőség jobban áthatol a világ tudatán.

A tranzisztor-gondolat tehát a „levegőben lógott”. Sőt, annak mindkét változata is a meg nem valósított szabadalmak tárgya volt. Ennek megértéséhez kell vázolnom a félvezetők idevágó lényegét. Az áramot a félvezetőkben a külső elektronhéjról leszakadó elektro-

² J. E. Lilienfeld, US Patent #. 1,745,175; 1,877,140; 1,900,018.

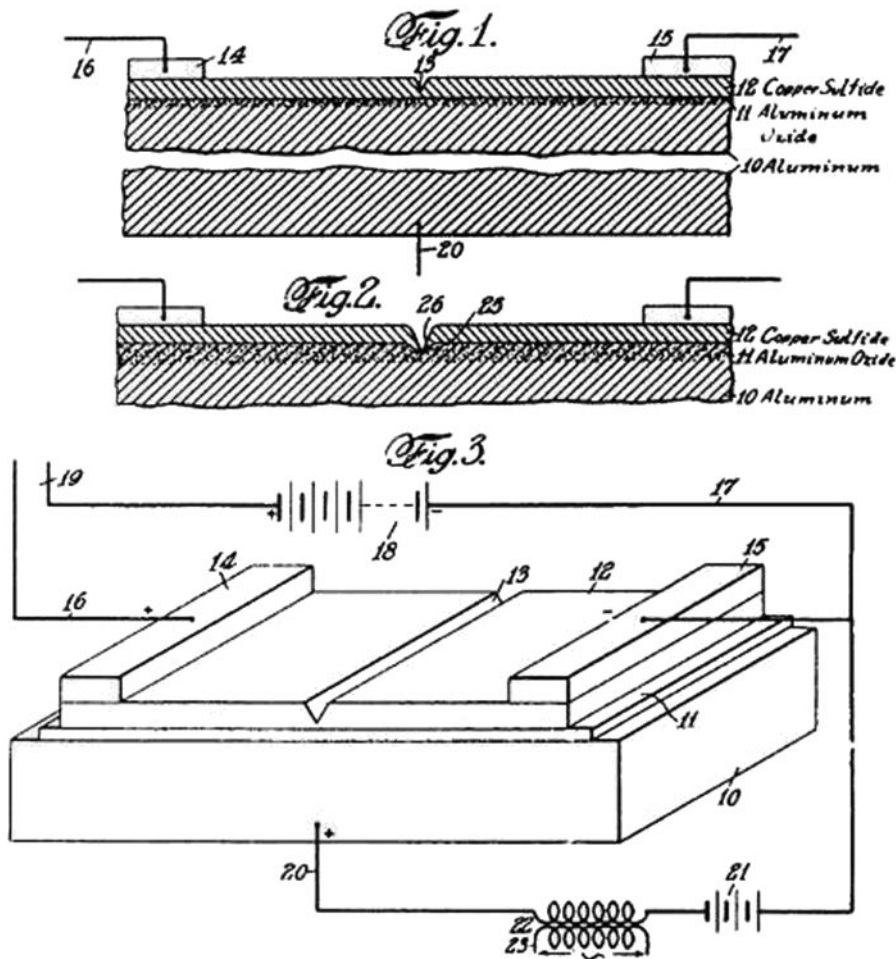
³ H. Welker, Deutsches Patentamt, No. 980 084. – H. F. Mataréval együtt H. Welker 1954-ben, de 1948-as franciaországi elsőbbségi igénnyel, az USA-ban is bejelentette a tús tranzisztort, illetve az azzal konstruálható erősítőt, US Patent No. #2,673,948.

nok közvetítik, de az egyszerű elektronvezetés – amelyet n-típusú vezetésként ismerünk – mellett létezhetik a félvezetőknél nevezett anyagokban egy olyan vezetési mechanizmus is, amelynél az egyes atomokon képződő elektronhiány-helyeket kihasználva, a külső

elektronok atomról atomra „ugrálva” vándorolnak. Ez a vezetés úgy is interpretálható, mintha a hiányhelyek virtuális pozitív töltésként mozognának az ellenkező irányban – ezt nevezik p-típusú vezetésnek. Nos, a rádiócsővel analóg tranzisztor-elképzelést „unipo-

March 7, 1933. J. E. LILIENFELD 1,900,018

DEVICE FOR CONTROLLING ELECTRIC CURRENT
Filed March 28, 1928 3 Sheets-Sheet 1

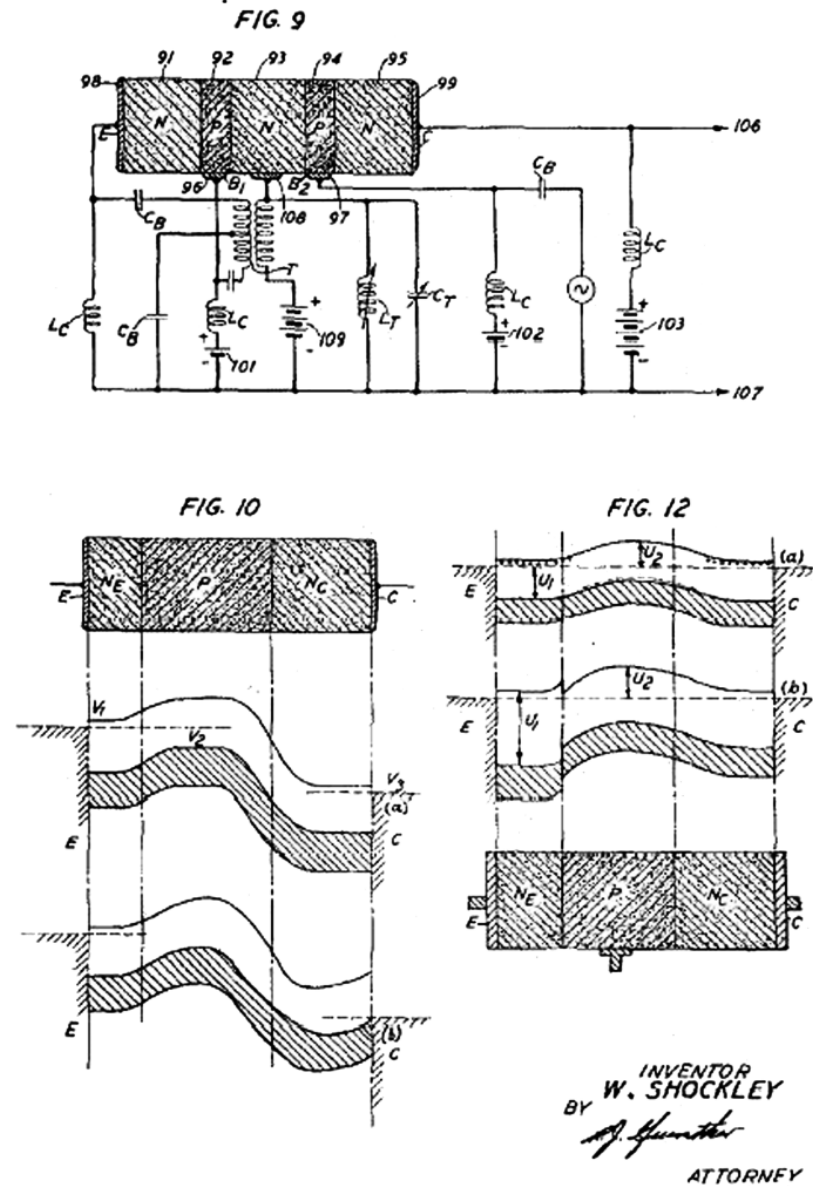


1. ábra • J. E. Lilienfeld szabadalma: Device for controlling electric current, US Patent No. #1,900,018, amely akkor rézszulfid félvezetővel működött

Sept. 25, 1951 W. SHOCKLEY 2,569,347

CIRCUIT ELEMENT UTILIZING SEMICONDUCTIVE MATERIAL

Filed June 26, 1948 3 Sheets-Sheet 2



2. ábra • W. Shockley szabadalma az ötvözött tranzisztorra, a potenciáeloszlás teljesen kidolgozott modelljével

lárísnak” mondjuk, mert ott csak az egyik típusú vezetés játszik szerepet. A másik típusú eszközben, az ún. bipoláris tranzisztorban viszont mind az n-típusú, mind a p-típusú vezetés egyidejűleg, egymás mellett jut szerephez.

A Bell Telephone Laboratoriesban minden bizonnyal az előzményektől függetlenül kezdtek ezzel a világosan stratégiai témával foglalkozni – bár, ki tudja: ha másról nem is, de A. Glasernek már 1932-ben megadott, 130102 sz. osztrák szabadalmáról – amely a bipoláris tranzisztor gondolatát egy vezérlő-elektroda által elválasztott, két szembefordított kristálydiódával vezeti be és így működik erősítőként – igazán tudhattak volna...

A Nobel-díjassá vált Bell-trió, John Bardeen, Walter H. Brattain és William Shockley története is szokatlan. Nem csak abban, hogy két egymás utáni bejelentést tettek 1948-ban. Először Bardeen és Brattain a vezérelt, lényegében tús eszköze, majd Shockley, a főnökük, az ötvözött (bipoláris) npn-tranzisztorra (2. ábra). Tudjuk, hogy ez utóbbi indította el a hódítást, hogy mára átadja a főszerepet az unipoláris változatnak.

A Bell nagy triója, az akkori, fiatal kutatói ítéletében azzal is elérte a Nobel-díj normáit, hogy rájött, hogy első kísérletük az unipoláris tranzisztor megvalósítására, amelynél egy külső oldalán fémezett csillámlemezre adott feszültséggel óhajtották vezérelni a germániumlapkán átfolyó áramot, kudarcot vallott. Rájöttek ugyanis, hogy a levegőből pára-komponensek (hidroxil gyökök, ionok) adszorbeálódnak a félvezető felületére, és a geometriai közelségük miatt, mint dipólusok, képesek leárnyékolni a jóval távolabbról ható vezérlő elektromos teret. „Vigaszul” megvalósították a bipoláris, azaz a rétegt tranzisztor – ami az első évtizedek sikereihez vezetett. (3.



3. ábra • Shockley, Bardeen, Brattain első, ötvözött tranzisztorja a Bell Telephone Laboratoriesban (1947 táján)

ábra) Ennél, az ún. bipoláris tranzisztornál két, n-típusúvá ötvözött (elektronfelesleget adó, azaz a periódusos rendszer V. oszlopába tartozó elem atomjainak bejuttatásával) germániumréteg közé p-típusúvá változtatott réteget (elektronhiányt adó, III. oszlopbeli elem atomjaival) ötvöztek. Ez utóbbi réteg játssza – a rádiócső-analógiában – a „vezérlő rács” szerepét.

A bipoláris tranzisztor nemcsak megindította az elektroncsövek – előbb lassú, majd gyorsuló – kiszorulását, de emellett ébren tartotta az érdeklődést a külső térrel vezérelt unipoláris eszköz megvalósítására is (ma ezt fém-oxid-félvezető szendvicsként, térvezérelt MOS-tranzisztorként ismerjük⁴). Ennek fő előnyét kezdettől fogva abban látták, hogy a vezérlő elektródát egy jó elektromos szigetelő választja el attól a félvezetőtől, amelyben a vezérelt áram folyik. Ennek az lenne az előnye,

⁴ MOS – Metal-Oxide-Semiconductor. A *térvezérlési* szó a *Field Effect* fordítása; innen a MOS FET betűszó.

hogy a vezérlés miatt nem lép fel elektromos veszteség. Mivel a germánium saját oxidjai nem elég jók szigetelőként, a másik alkalmas, IV. oszlopbeli elemnek, a szilíciumnak az oxidja – amelyet (amorf) kvarcként ismerünk – viszont kiváló szigetelő, megindult a kutatás mind a hibamentes kristálynövesztés, mind a jó termikus oxid növesztése érdekében – ebbe Shockley már a cégéhez szerződöttetett, majd onnan a Fairchildhoz távozott kiválóságokkal vett közvetetten részt. A szilíciumból készült első MOS-tranzisztor Dawon Kahng és John Atalla készítette el, ugyancsak a Bell laborban. Az ipari sikerre váláshoz azonban még néhány lépést meg kellett tenni.

Először is az „istenáldotta” szilícium teljes, máig ható „győzelmére” is szükség volt. A szilíciumból ugyanis

- minden más anyagnál jobb minőségű, azaz gyakorlatilag hibamentes kristály növesztethető, ma akár 450 mm (!) átmérőben,
- a saját termikus oxidja, a kvarc, kiváló szigetelő, magán a kristályon létrehozva alkalmas a MOS elektródájának „távtartására”;
- ráadásul ugyanez az oxid alkalmas arra is, hogy megakadályozza a nemkívánatos anyagok atomjainak bejutását a kristályba (úgy mondjuk: *maszkoló réteggént* is alkalmas), sőt, mivel a folyosav (HF) a szilíciumoxidnak ún. „specifikus”⁵ marószere,
- a leendő tranzisztor felületén, az ún. fotolitográfias eljárással (ami a rézkarc-technikával rokon) kialakított oxidábrák „abla-

⁵ A specifikus szó itt azt jelenti, hogy a SiO₂-t tökéletesen eltávolítja, de a Si-ot elérve a marási folyamat teljesen leáll.

⁶ Egy átok azonban sújtja a szilíciumot: szerkezetének sajátosságai miatt nem lehet belőle hagyományos módszerrel világító diódát (LED), pláne nem lézert készíteni. Ezért nevezik indirekt félvezetőnek.

kaiban” viszont igenis bejuttathatók a kívánatos atomok, amelyek a vezetési állapotot kialakítják.⁶

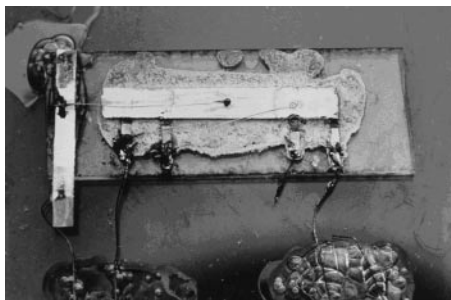
Néhány szó, hogy mivé nőtt a varázslat: az integrált áramkör

Gyakran a szakma Hamupipókéjének titulálom a tranzisztor, mert maga a tranzisztor mára egyszerű építőelemmé „degradálódott”. Kézenfekvő volt ugyanis, hogy a kisméretű tranzisztorok egymás mellett is elhelyezhetők az alapkristályon – és megfelelő vezetékkel összekapcsolhatók, például inverterre, eszközöké, amelyek már képesek például a Boole-algebra szerinti digitális számolásra, információfeldolgozásra! Az egyetlen kristálylapkán létrehozott, megfelelően kapcsolt tranzisztorokat és egyéb elektromos elemet (például kapacitást) tartalmazó eszközt nevezzük mindmáig integrált áramkörnek. Az ötlet *Jack S. Kilby* (1959) és *Robert N. Noyce* (1961),⁷ elméjében fogant meg. Noha Noyce ötlete lett az ipari gyakorlat, csak Jack Kilby érte meg, hogy Nobel-díjjal ismerjék el ezt a felfedezést is – mert ez az elismerés csak 2000-ben következett be. A 4. és 5. ábrán mutatjuk be a kezdeteket.

Az integrált áramkör igazi ipari sikerre akkor vált, amikor *Bruce Deal* vezetésével, *Andrew Grove*⁸ és mások kongeniális munkájával, az Intel-fogalommá és céggé váló Fairchild-kutatógárda megoldotta a szilícium-dioxid növesztésének olyan fokú „technológiai higiénéjét”, amellyel sikerült elkerülniük, hogy a kemencék samottjából a katasztrófálisan káros nátriumatomok bejussanak a nö-

⁷ J. S. Kilby, US Patents #3,138,743 és #4,042,948); R. N. Noyce, US Patent #2,981,877

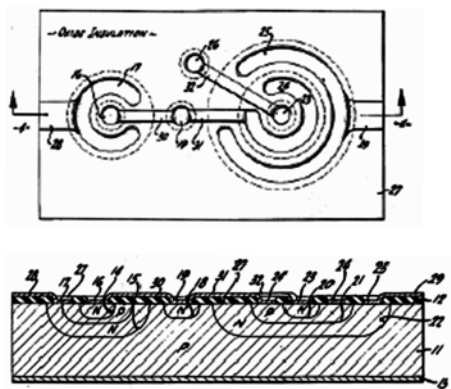
⁸ Andrew Grove, az Intel örökös elnöke – azaz Gróf András, a BME 1956-ban távozott vegyészmérnök hallgatója.



4. ábra • J. S. Kilby integrált áramköre

vekedő szilícium-dioxidba. Ezzel vált ugyan is lehetővé, hogy inverterként kapcsolt MOS-tranzisztor-párokat *egyetlen* lapkán és ipari reprodukálhatóságban előállítsanak.

Ebből lett az Intel máig tartó csodája, amelyhez egy inkább üzleti, semmint fizikai ötlet adódott: *Gordon Moore*-tól ered a „törvény”, aki szintén a „Shockley Semiconductors-Fairchildból” Intelt alapító csapat tagja volt, és az utóbbi cégnek kereskedelmi igazgatója lett a hetvenes évek elején. Tőle kért az induló Intel üzleti tervet. Moore megvizsgálta az első néhány év termelését, és észrevette, hogy az Intel képes volt minden évben kétszer annyi tranzisztort kialakítani egy-egy chipen, mint az azt megelőző évben. Arra következ-



5. ábra • Az iparivá vált első változat, R. N. Noyce szabadalmi bejelentéséből

tetett, hogy ez a fejlődés még egy ideig, „akár a hetvenes évek végéig” tartható lesz. Nem gondolhatott arra, hogy a szakma generikus törvényét vette észre. Az üzleti verseny, az informatikai alkalmazások elvárásai ugyanis valóban az időben hatványfüggvény szerint gyorsuló fejlődésre készítetik a mikroelektronikát. Noha ez a fejlődés mára kissé lelassult: az évi kettes faktor mára kétvétenkénti 1,8-re mérséklődött, de évtizedes trenddé változott, és minden szakmai jel szerint még vagy tíz évig tartható is lesz.

További, még személyesebb adalék Shockley zsenialitásához...

Ez az írás még közelebb áll a szívemhez, mint azt a T. Olvasó az eddigiek alapján gondolhatná.⁹ Volt ugyanis Shockley-nak – sok-sok ötlete mellett – még egy szabadalma, amelynek alapján joggal mondhatom, hogy személye véges-végig elkísérte a szakmai életemet.

Kissé távolabbról kell kezdenem. Ösztöndíjjal a Caltech Villamosmérnöki karára érkezésemkor, 1969-ben, azzal a választással találtam magam szemben, hogy az engem befogadó professzor, James W. Mayer, az akkor embrionális állapotban lévő technikára, az ún. *ionimplantációra* „nyergelt át”, és (könnyen) rábeszélte az izgalmas új témához való csatlakozásra. Az ionimplantációt „ionbeültetésként” értheti a T. Olvasó, amikor is a kémiai-fizikai hatás eléréséhez szükséges atomokat¹⁰ ionizáljuk, majd elektromos tér-

⁹ Indulól, szegedi kutatóként 1957-ben, forrasztópákával készítettem első ötvözött tranzisztoraimat a Konverta gyártól „kunyeralt” körömmnyi germániumlapkákra. Szégyenem, hogy – akár csak takarékoságból – nem próbáltam egy lapkán két tranzisztort kialakítani...

¹⁰ A szilíciumot p-típusú vezetővé a kristályrácsba beépülő III. oszlopbeli elemek, elsősorban bóratomok, n-típusúvá pedig az V. oszlopbeli elemek, a gyakorlatban foszfor- vagy arzénatomok változtatják. A bório-

rel – részecskegyorsítóban – felgyorsítva, belőjük azokat az anyagba, esetünkben például a szilíciumba, a leendő tranzisztor megfelelő helyeire. Az eljárás akkoriban még amolyan fizikus-játéknak tűnt, és éppen az a csapat, amelybe jómagam és később a munkatársaimmal beépültünk, nem jelentéktelen szerepet vívott ki abban, hogy az eljárás ipari gyakorlatná váljék. Hogy ez nem ment egyszerűen, arra az a példám, hogy amikor 1970-ben az Intel egyik munkatársával négy szemkört beszélgettem első eredményeinkről, ő – nem kis meglepetésemre – teljesen leszóltta, zsákutcának nyilvánította az ionimplantációs eljárást. Elégtételt éreztem, amikor néhány év elteltével ugyanaz az Intel felvette az első, ebben a témában képzett Caltech-doktoranduszunkat...

Ezek előrebocsátása után térjünk vissza Shockley zsenijéhez!

Mellékelem egy 1954-ből származó Shockley-szabadalom¹¹ ábráját (6. ábra). Ha az ember nem olvassa el a szabadalom szövegét, aligha jön rá, hogy miről is van szó a szabadalmi leírásban. Az ábrán ugyanis egy, annak idején még mindannyiunk által használt, üvegből készült vákuumrendszer látszik. Az ember első gondolata, hogy fluoreszkáló kisülési csövet vagy esetleg speciális röntgencsövet lát. Ha azonban elolvassuk a szabadalom címét, joggal elcsodálkozunk: *Forming Semiconductor Devices by Ion Bombardment* – mondja a bejelentés címe. Az ötvenes évek elején-közepén megfogalmazott igénypontokon még inkább ledöbben az ember: már ekkor

nokat BF₃ gáz kisüléséből, a foszfort a mérgező foszfintól, az arzént arzintól nyerjük – komoly munkavédelmi kérdés.

¹¹ W. Shockley, *Forming semiconductor devices by ion bombardment*, US Patent #2,787,264, April 2, 1957

megszületett a fentebbi, ionimplantációnak nevezett atomi pontosságú, kémiai-fizikai eljárás alapszabadalma! Shockley világosan arra adott be szabadalmat, hogy a repülő, bombázó ionok behatoljanak a félvezetőbe, a sebességük, energiájuk által meghatározott mélységbe jussanak, és ott lokálisan létrehozzák a p- vagy n-típusú vezetést. Még arról is írt, hogy a fékeződő ionok okozta rácshibákat hőkezeléssel meg lehet gyógyítani, azaz el lehet tüntetni. A szabadalom tehát megálmodta, hogy az általuk felfedezett tranzisztort ne diffúziós eljárással, ötvözéssel, hanem ionbombázással hozzák létre.

Igaz, léteztek már azokban az években is ionbombázásra alkalmas gyorsítók – hazánkban *Simonyi Károly* is ilyen berendezés létrehozásán munkálkodott éppen akkoriban, de az élesedő katonapolitikai helyzetben elsősorban az volt a nagyhatalmak erősen titkolt célja, hogy ezekkel a tömegszeparátornak is alkalmas berendezésekkel az uránnak az atombomba, illetve eufemizálva: atomreaktor céljára alkalmas izotópját, a 235-öst kiválogassák, szelektálják. Ebben a helyzetben érezte meg William B. Shockley zsenije, hogy az eljárás alkalmas lehet a tranzisztorgyártás céljaira is. Hogy ez mennyire így lett, arra legjobb példa, hogy az Intel mai processzorainak gyártásában *huszonháromszor* (!) alkalmazza az ionimplantációs adalékolási¹² eljárást.

Az igazán meglepő fordulat azonban most következik

Az emberiség óriási szerencséje, hogy Shockley „elsiette” a bejelentést. Mire ugyanis a világ a

¹² A köznyelv gyakran szennyezésről, szennyező atomokról beszél. A pontos szakmai nyelv a szándékosan bejuttatott idegen atomokat *adaléknak* nevezi, a *szennyezés* kifejezést fenntartva a nem szándékos idegen atomok megjelölésére.

70-es évek közepétől már megkerülhetetlenül igényelte az integrált áramköröket, amelyeket – miniatürizálódó méreteik következtében – már nem is lehetett volna a kezdeti diffúziós, ötvözési eljárásokkal előállítani, az ionimplantáció alapszabádalma „kifutott”, és a téma közkinccsé, mondhatni, a fejlesztési verseny szabad prédájává vált.

Az erre való felkészüléssel találtam magam szembe a Caltech-re érkezvén 1969-ben, majd

hazatérve – a KFKI kiváló csapataival, továbbá az akkori Tungstam több kiváló mérnökével összefogva, valamint kiváló fiatalokkal megerősödve – megkaptuk a lehetőséget mindennek a hazai megvalósítására. A megvalósítás azzal vált nemzetközileg is elismert tudássá és ipari sikerré, hogy 1973-ban a National Science Foundation csereprogramot kezdeményezett a Mayer-Gyulai-csoport között, amelynek révén évtizedekre ál-

landó kapcsolatunk alakult ki az élvonallal. Ez a kapcsolat – a hozzánk érkező, nagyszerű kutatóktól, a nagy karriert futó ipari szakemberekkel való közös munkától kezdve, a mi folyamatos és aktív jelenlétünkig sok fontos centrumban – több, máig alkalmazott eredményt hozott. A 7. ábrán bemutatom azt a KFKI-konstrukciójú ionimplantert, amely az akkori ismeretek szintjén állt, és akár kiváló exportcikk is lehetett volna.

Ha nem következik be a Mikroelektronikai Vállalat tüzesete 1986-ban, vagy legalábbis a Lloyd biztosító által megítélt nagy biztosítási összeget nem a „nagykalapba” tette volna az ország akkori vezetése, hanem abból a rendszerváltozáskor egy további, élő és élvonalbeli iparággal léphetett volna be az új világrendbe. Amiként ez meg is történt, például az NDK odera-frankfurti Félvezető Intézetével, amely korábban a mienkkel volt nagyjából azonos tudásszinten. De az az intézmény – a már szabad világban és rendszeres fejlesztés révén – megmaradt Európa félvezetőiparának ma is fontos központjaként.

A William Shockley és sok-sok – részben Nobel-díjas – társa által elindított „világrengetésnek” ilyen szeizmikus jelei keletkeztek hazánkban is... Az egyre romló hazai lehetőségek nagy találekonytságot igényeltek a hazai kutatóktól, hogy itthon is a fővonalhoz lehetőleg legközelebbi területeken találjanak olyan réseket, amelyekbe gyökereket eresztve a nemzetközi mezőnyben továbbra is szerephez juthatnak. Ilyen lett az érzékelők, szenzorok kutatása, fejlesztése – a biológiai elvű érzékelőket is beleértve, valamint a minősítő, mérő eljárások fejlesztése, valamint ezek eszközeinek gyártása – több, rendkívül sikeres, *spin-off* kis- és középvállalkozásban (a vezérhajó *spin-off* a sikeres Semilab Rt., de eredményes a

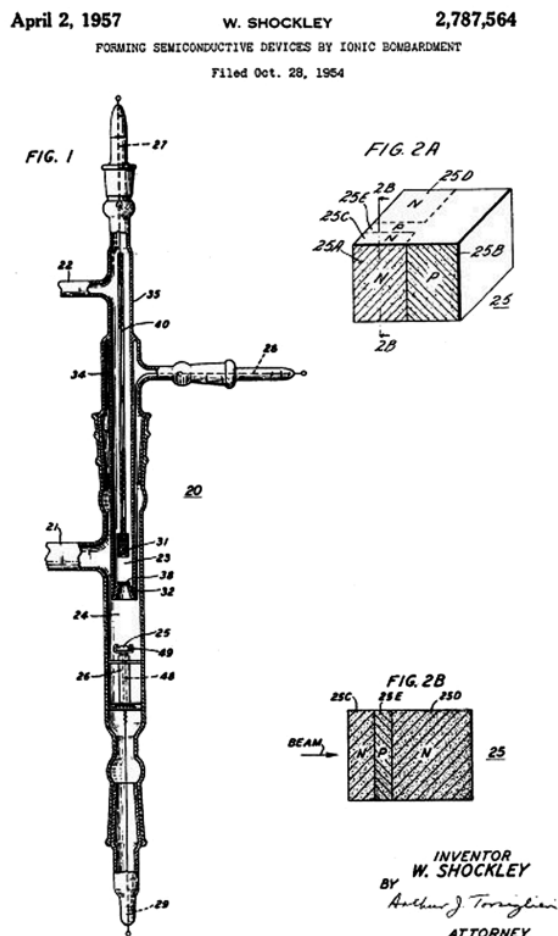


7. ábra • A KFKI-ban 1974-ben, az Ionimplantációs célprogram keretében, Pásztor Endre és munkatársai által tervezett és épített 150 kV-os ionimplanter, amelyet elsősorban MOS-eszközök, áramkörök előállítására szántunk, azaz nagyon pontosan kontrollált iondózisok belövése volt a cél

Weszta-T, a Technoorg-Linda, a Bonn Hungary, az ANTE, a Budasolar, a Tactologic stb.). Ezt a szakmakultúrát igyekszik minden erejével fenntartani az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet is, amely – az „ENIAC” EU Információ Technológiai Konzorcium tagjaként – mára a legfőbb letéteményese itthon az Integrált Mikro- és Nanorendszerek témának, a preparatív munka egyetlen hazai bázisaként. Hasonlóan nagy büszkeségre okot adó hazai eredmény a UC Berkeley és a SZTAKI-PPKE zászlaja alatt, nemzetközi finanszírozással folyó kutatás is, az ún. CNN-rendszerű integrált áramköri újdonság fejlesztése, amelynek a képfeldolgozásban, illetve a biomimetikus rendszerekben látszik biztatóan alakuló, izgalmas jövője.

Köszönet mindezért, Dr. Shockley!

Kulcsszavak: *elektronika, félvezető-fizika, integrált áramkör, ionimplantáció, tranzisztor, fizikai Nobel-díj*



6. ábra • W. B. Shockley szabadalma félvezető eszközöknek ionbombázással való előállítására, az azóta nélkülözhetetlenné vált ionimplantáció alapszabádalma – 1957-ből