



HÍRADÁSTECHNIKA

A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET
FOLYÓIRATA

XL. évfolyam

BUDAPEST

1989

1

HÍRADÁSTECHNIKA

A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET FOLYÓIRATA

XL. évfolyam, 1989. 1. szám

BHG ORION TERTA

MŰSZAKI KÖZLEMÉNYEK

XXXV. évfolyam, 1989. 1. szám

MEV REMIX TKI

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

VII. évfolyam, 1989. 1. szám

Felelős szerkesztő:
DR. TÓFALVI GYULA

Szerkeszti a szerkesztőbizottság

A szerkesztőbizottság elnöke:
HORVÁTH IMRE

Szerkesztők:
ANGYAL LÁSZLÓ
MÉREY IMRÉNÉ
SZÖLLŐSI GYÖRGYNÉ

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

HTE
Rovatvezető: Mérey Imréné
Dr. Flesch István
Gál Ferenc
Dr. Prónay Gábor

BHG
Rovatvezető: Angyal László
Tudományos szerkesztő: dr. Frajka Béla,
Bernhardt Richard, dr. Eisler Péter,
Fazekas László, dr. Gosztony Géza,
dr. Kerpán István, Klug Miklós,
Laczkó Endre, Sztaiacs Ákos

MEV
Rovatvezető: Kászonyi László
Tudományos szerkesztő: dr. Kormány Teréz,
Balogh Albert, Csornai László,
Czermann Mihály, Hidas György,
Huszka Zoltán, dr. Ligeti Róbertné,
dr. Mátrai Géza, dr. Motál György,
Schödl Ervin

ORION
Rovatvezető: dr. Somogyi András
Tudományos szerkesztő: dr. Frigyes István,
Denk Attila, Froemel Károly,
Nóvik Lajos, Szász Gerő

REMIX
Rovatvezető: Rippel Géza
Tudományos szerkesztő: dr. Kormány Teréz,
Balanyi Szilveszter, Bodnár László,
Kovács Gyula, Mészáros Sándor,
Molnár László

TKI
Rovatvezető: dr. Baranyi András
Tudományos szerkesztő: dr. Lajtha György,
dr. Henk Tamás, dr. Kása István,
Megyesi Osaba, dr. Sárkány Tamás,
dr. Simonyi Ernő

TERTA
Rovatvezető: Szalay Tibor
Tudományos szerkesztő: dr. Gordos Géza,
Keller János, Márk Zoltán,
Porpáczy Elemér, Schnürmacher Tamás,
Török László, Veress Péter

Szerkesztőségi ügyekben és kéziratok-
kal kapcsolatban felvilágosítást ad: Szöl-
lősi Györgyné.
Telefon: 495—098

ROVATOK

Egyesületi élet
Rendszertechnika
Kapcsolástechnika
Vezetékes technika
Fénytvádközlés
Vezeték nélküli technika
Adástechnika
Vételtechnika
Mikroelektronika
Alkatrésztechnika
Hálózatelmélet
Elektromágneses problémák

ROVATGAZDÁK ROVATTÁRSÁK

HTE	(H)	BEAG	HTV
TKI	(□)	BME	KONTAKTA
BHG	(#)	BRG	KŐPORC
TERTA	(↔)	EMO	KFKI
ORION	(*)	El. Szöv.	M. Posta
MEV	(↑)	FMV	ML
REMIX	(Δ)	GAMMA	MM
		HTSZ	MFKI
		HAGY	TUNGSRAM

TARTALOM

DR. TÓFALVI GYULA: Úgy gondolom	1
ARATÓ ISTVÁN: Szervezés, számítástechnika a telefongyárban	2
DR. GOTTWALD PÉTER: Mikrohullámú félvezető eszközök optikai vezérlésének alapjai. II.	6
1988. évi tartalom	16
DR. MIZSEI JÁNOS — DR. ZÓLOMI IMRE: Szigetelő rétegek félvezetőkön	19
ISTN 88. 6. ITC szeminárium (Kámán László)	22
Beszámoló az ISCAS '88 konferenciáról (dr. Baranyi András)	23
SALAH NOUREDDIN — DR. KORMÁNY TERÉZ: Precipitációs folyamatok és termikus donorképződés a szilícium alapú integrált áramkörgyártási technológiában	29
Tartalmi összefoglalások	31

Úgy gondolom...



Úgy gondolom, hogy egy hosszabb hallgatás elenére sem kell magyarázkodnom, mi lehetett az oka. A hosszabb csend nem tétlen békét, és főleg nem a mondanivalók hlányát jelentette, hanem éppen a fordítottját.

Ennek igazolására elegendő, ha 1988 feszültségeiből, csak az egyetlenegy idézem fel, hogy a társadalmi- gazdasági környezet és közöttünk évtizedek óta zajló dialógus és vita 1988-ban odáig jutott, hogy országos, felső szintű testületben fórumot adtak olyan feltevésnek is, hogy egyáltalán van-e szükség magyar elektronikai iparra?

Hadd emlékeztessenek azokra a dialógusokra és vitákra, amikor ezek az erők még csak addig mérészkedtek, hogy a magyar elektronikai háttérpar létjogosultságát kérdőjelezték.

Tovább lépek!

Ma már az egész magyar elektronikai ipar létjogosultságát merik megkérdőjelezni. Idáig fajult 1988-ra a hatvanas és hetvenes évek vitája.

A hír hallatán azonnal felvetődött, hogyan jutotunk idáig? Mi vezérli ezeket az öngyilkosságra biztató erőket? Miért nem a megoldáson, miért a feladáson fáradoznak? Miért nem a sikeres elektronikájú kis országok (NDK, Finnország, Hollandia, Taiwan, stb.) példáit tanulmányozzák, miért a feladás lehetőségét? Mivel magyarázzák, hogy erre a katasztrófális lépésre éppen az elektronizáció korában biztatják a felső vezetést?

Önmagában már a tény is bizonyítja, hogy az egyes vállalatok, külön-külön, csak defenzióra képesek ezekkel a kezdeményezésekkel szemben.

Mitől bátorodtak fel a totális feladásra biztató erők? Szerintem a feladási felbátorodása ugyanaból a forrásból táplálkozik, amelyből az ipar gyengesége: az ipar megosztottságából, parciális gya-

korlatából, az „egyedül — egyenként”-ből, az erők- és eszközök koncentrációjának hiányából, stb.

Tudom, hogy az öngyilkosságra biztató javaslatot elutasították! De senki se higgye el, hogy ezzel vége. Csak idő kérdése, mikor jön a következő támadás, még nagyobb erőkkel, amikor az ipar környezeti feltételei tovább súlyosbodnak.

Ha már említettem ezt a gondot, be kell valljam, bármennyire is gyűlölöm a feladásra, az öngyilkosságra biztató erőket, a kialakult helyzetért elsősorban a magyar elektronikai ipar szigetvilág-szemléletét és gyakorlatát okolom és tartom felelősnek.

Csak egyetlen gondot említettem 1988 feszültségei közül, de kezdetem volna az elektronikai alkatrész-háttér egyre romló helyzetével, a fény alkalmazása terén mutatott bénaságunkkal, az eddig is gyenge szocialista együttműködés további szűkülésével, a reális felzárkózással kapcsolatos hezitálással, a nemzetközi és hazai együttműködés alacsony színvonalával, stb.

Sajnos, ezek a gondok mindennapunk részesei és azok lesznek 1989-ben is. Ez azt jelenti, hogy sokat fogunk még ezekről vitatkozni és írni is.

Mi az, amit most nem halaszthatok, amiről ma kell szólnom?

Úgy gondolom, hogy tájékoztatnom kell Kedves Olvasóinkat, hogy HÍRADÁSTECHNIKA c. tudományos folyóiratunk — a hosszú idő óta tartó tartalmi és formai minőségnevelési erőfeszítés, valamint az egyre környöztele- nebb gazdasági feltételek együttes szorítása nyomán — 1989. január 1-től, 32 oldal terjedelemben fog megjelenni.

Dr. Tófalvi Gyula
főszerkesztő

Szervezés, számítástechnika a telefongyárban

Arató István
Telefongyár

ÖSSZEFOGLALÁS

Egy vállalatnál a termelésirányítás szervezési és számítógépes megoldása az egyik legbonyolultabb és legnehezebb feladat. A megvalósítás időigényessége, magas költsége, valamint az igen kevés számú ismert rendszer szükségessé teszi a saját koncepció kialakítását mind az alapok, mind a bevezetési módszertan területén. A cikk egy közel tíz éves projekt tapasztalatai alapján, egy működő rendszer alapelveit tekinti át.

Bevezető

A Telefongyár az iparvállalatok közül az első között volt, aki felismerte (1974), hogy a változó gazdasági környezethez való dinamikus alkalmazkodás nem képzelhető el korszerű számítógéppel támogatott irányítási rendszer nélkül.

Az 1970-es évek elején elkezdett egy igen nagy-szabású és jelentős beruházást igénylő technológiai rekonstrukciót. Nyilvánvaló volt, hogy ehhez egy korszerű szervezetet és megbízható gyors információszolgáltatást kellett biztosítani.

A szervezeti- irányítási (termelés) koncepciót az IBM COPICS alapján dolgozta ki a Vállalat (1974 — 78), majd 1980-ban megkezdte az OKKFT célprogram keretén belül IPM, OMFB és KSH támogatással annak számítógépes gyakorlati megvalósítását.

A projekt első fázisának és ezen belül a célprogram lezárásakor (1985) realizálódtak (ESZR-II bázison alapuló eszközrendszer megbízható működtetése korszerű szoftverek — DOS VS/AF, DL/I, CICS, ETSS, — felhasználásával, valamint a Műszaki Adatbázis DL/I-es létrehozása és működtetése). A projekt második fázisának kezdetén (1986) az addigi eredmények, illetve azokból levonható tanulságok alapján a Vállalat vezetése elfogadta az előterjesztett koncepció módosítást (termelésirányítási rendszer helyett integrált információs rendszer, közvetlen interaktív feldolgozás helyett felhasználó orientált osztott on-line és/vagy batch rendszer kidolgozása) és a végrehajtási ütemtervet.

1. Az információs rendszer elvi alapjai

Sok vállalatnál az átfogó vállalati Információs rendszer megvalósítását a következő okok akadályozták:

Beérkezett: 1987. XI. 18. (↔)



ARATÓ ISTVÁN

1975 óta dolgozik a Telefongyárban, mint szervező számítástechnikus. Tanulmányait a Kandó Kálmán Műszaki Főiskola informatikai szakán végezte. Először témavezetőként tevékenykedett, majd a

számítóközpont vezetésével bízták meg. 1985 óta a Szervezési és Számítástechnikai Főosztály vezetője. Érdeklődési köre a vállalati információs rendszerek elméleti és gyakorlati megvalósításának kérdései.

— elmulasztották a vezetés hozzájárulását és részvételét megszerezni,

— olyan célkitűzéseket, hosszú és középtávú elképzeléseket alakítottak ki, amelyek eltértek a vállalat általános elképzeléseitől, úgy kísérelték meg az információs rendszer megvalósítását, hogy előtte nem vizsgálták meg a problémákat és a célkitűzéseket, a vezetés szempontjából,

— teljesen új információs rendszert kívántak bevezetni és megvalósítani ahelyett, hogy a meglévőket meghagyták volna és az esetleg szükségszerű karbantartás elvégzése mellett az új kiépítésére és megvalósítására fordítottak volna energiát,

— nem használták ki az adaterőforrásokat, mint a gazdálkodás új formáját,

— csak a vállalati felső vezetés igényeit realizálták (centralizált igények) és a vállalati felhasználók igényeit (ad-hoc decentralizált igények) nem elégítették ki.

A korszerű információs rendszernek lehetőséget kell arra biztosítani, hogy minden — már megvalósított — alrendszer, modul és funkció zavar nélkül kapcsolódjon egymáshoz a fejlesztés előtt, és a fejlesztés alatt álló alrendszerekhez.

Az első és a legfontosabb célja, hogy olyan információs rendszer készüljön, amelyik támogatja a vállalat irányítását, a rövid és hosszútávú információs igények kielégítését, a vállalati tervekkel és célkitűzésekkel összhangban, úgy, hogy a felhasználók napi operatív igényei is megoldásra kerüljenek.

A vállalati belső mechanizmus hatékony működtetése érdekében:

— a vállalat minden vezetési szintje számára megfelelően részletezett információt adjon,

— a ráfordítások minimalizálása mellett, hosszú élettartamú rendszerek kifejlesztését tegye lehetővé,

— a rendszert a vállalat azon folyamataira alapozza, amelyeket a szervezeti változások általában nem érintenek,

— növelje a felső vezetés bizalmát abban, hogy hasznos és átfogó információs rendszert hoz létre,

— a végfelhasználók részére „felhasználó-barát” lehetőségeket biztosít.

Az integrált információs és irányítási rendszer megvalósítása, bevezetése igen bonyolult és sokrétű feladatot ró a megvalósítást, kivitelezést irányítókra, koordinálókra és az információt felhasználókra.

A vállalat vezetése által támogatott, korszerű információs rendszerhez nélkülözhetetlen szervezési koncepció — adatbázis központú, interaktív kommunikációs lehetőség — folyamatos, lépcsőzetes tervezést, kivitelezést és bevezetést jelent.

A koncepcionális célkitűzés, stratégiai és taktikai tervezés, valamint a bevezetés időhorizontja, a feladatok prioritása szükségszerűen központi elvi irányítást igényel.

A végfelhasználók viszont a vállalati környezet és saját problémáik ad-hoc megoldásait is realizálni kívánják a központi szolgáltatás mellett.

A mai gazdasági környezetben az igények gyakran és dinamikusán változnak. A sokszor fellépő hirtelen igények és ezek megoldására fordított központi eszközbázis (szoftver és hardver) nem biztos, hogy gazdaságosan használható ki.

A számítástechnikának és így egy vállalati információs rendszernek fel kell tudni mérni a szükségleteket és olyan megoldási módokat kell találnia, hogy a nagy horderejű átfogó feladatokat a szokásos (centralizált eszköz, programozás, szervezés, felhasználás) módon oldja meg, viszont lehetőséget adjon a helyi jellegű igények, problémák és feladatok végfelhasználói „csináld magad” megoldására, kivitelezésére.

Az integrált információs rendszerhez szükséges elvi irányítás centralizmusát a bevezetésben mind tervezési, mind kivitelezési oldalról — a centralizmus-decentralizmus egységes kezelésével kell feloldani, amit tulajdonképpen az alkalmazói osztott hálózattal lehet hatékonyan realizálni.

Ennek lényege:

— A rendszer fejlesztése és az eszközök telepítése adott legyen, jelentős költségráfordítás nélkül (amit egyszer megvettünk, ill. telepítettünk, ne kelljen lecserélni, jelentős ráfordítással módosítani),

— a felhasználók a rendszer megvalósításának minden fázisban szolgáltatást és lehetőségeket

kapjanak, amellyel azonnali és operatív igényeket a lehetőség határain belül meg tudják oldani a központi apparátus nélkül,

— a felhasználók számítástechnikai ismeretek nélkül is megtudjanak oldani bizonyos feladatokat és azok megoldása segítséget adjon a napi operatív problémáik rendezésében anélkül, hogy a központi vezetés és irányításból adódó koncepciót megsértenék,

— a felső vezetés a rendszer folyamatos előrehaladását élvezze, a közép és alsó vezetés hatékony támogatása mellett,

— hierarchikus osztott hálózat, logikailag egységes, fizikailag megosztott adatbázis, on-line kommunikáció (interaktív és/vagy file transzferálás) kialakítása.

Az alkalmazás orientált elosztott hierarchikus hálózatban négy szintet definiáltunk a rendszer eszközbázis kialakításánál:

— A teljes irányítási rendszert átfogó, és azt vezérlő központi számítógép, amelyen a mindenki által szükséges és fontos vállalati információ igényét megoldja.

Ezen központi géphez csatlakoznak a második és harmadik szinten lévő berendezések, eszközök.

Egy nagyobb apparátus (pl.: gyáregység, üzem, stb.), ill. nagyobb részfeladatot összefogó közép kategóriájú számítógép a második szint, amely megoldja a középvezetők információs igényét.

Az adott szintre lebontott részinformációk és részfeldolgozások kerülnek megvalósításra, önálló feldolgozási hatáskörben.

Az adatok egy része csak itt kerül nyilvántartásba és feldolgozásra, más része (a teljes rendszert érintő) átkerül az 1-es szintre.

— A harmadik szint (ez van közvetlenül a helyi felhasználónál) alsóvezetők és ügyintézők a közvetlen adatelőkészítést, ill. az eszközökre biztosított önálló adatállomány kezelést és feldolgozást teszi lehetővé. Ezek az eszközök az 1-es vagy a 2-es szinttel vannak összekapcsolva.

A több szintű alkalmazás-orientált hálózat, egy több telephelyi közép és nagy vállalat információs rendszeréhez szükséges kiépítési igényeket tartalmazza.

A rendszer bevezetésénél a telepített eszközpark és ezzel párhuzamosan a rendszer lépcsőzetes, alulról-felfelé való építkezését és bevezetését tartjuk célszerűnek az adatintegritás szigorú kézbe tartása mellett.

Ez a metodika a rendszer bevezetési stratégiáján túlmenően a vezetésnek is optimális, mivel a szolgáltatott eredményekkel, ill. a számítástechnikára való áttéréssel párhuzamosan lehet beruházni.

2. Rendszer áttekintés

A vállalati irányítás két oldalról közelíthető meg:
 — a manuális folyamat és ehhez illeszkedő funkcionális döntési folyamatok,
 — a főfolyamatokat, az irányítást és a döntést támogató, azt kiszolgáló számítógépes rendszer-folyamatok irányából.

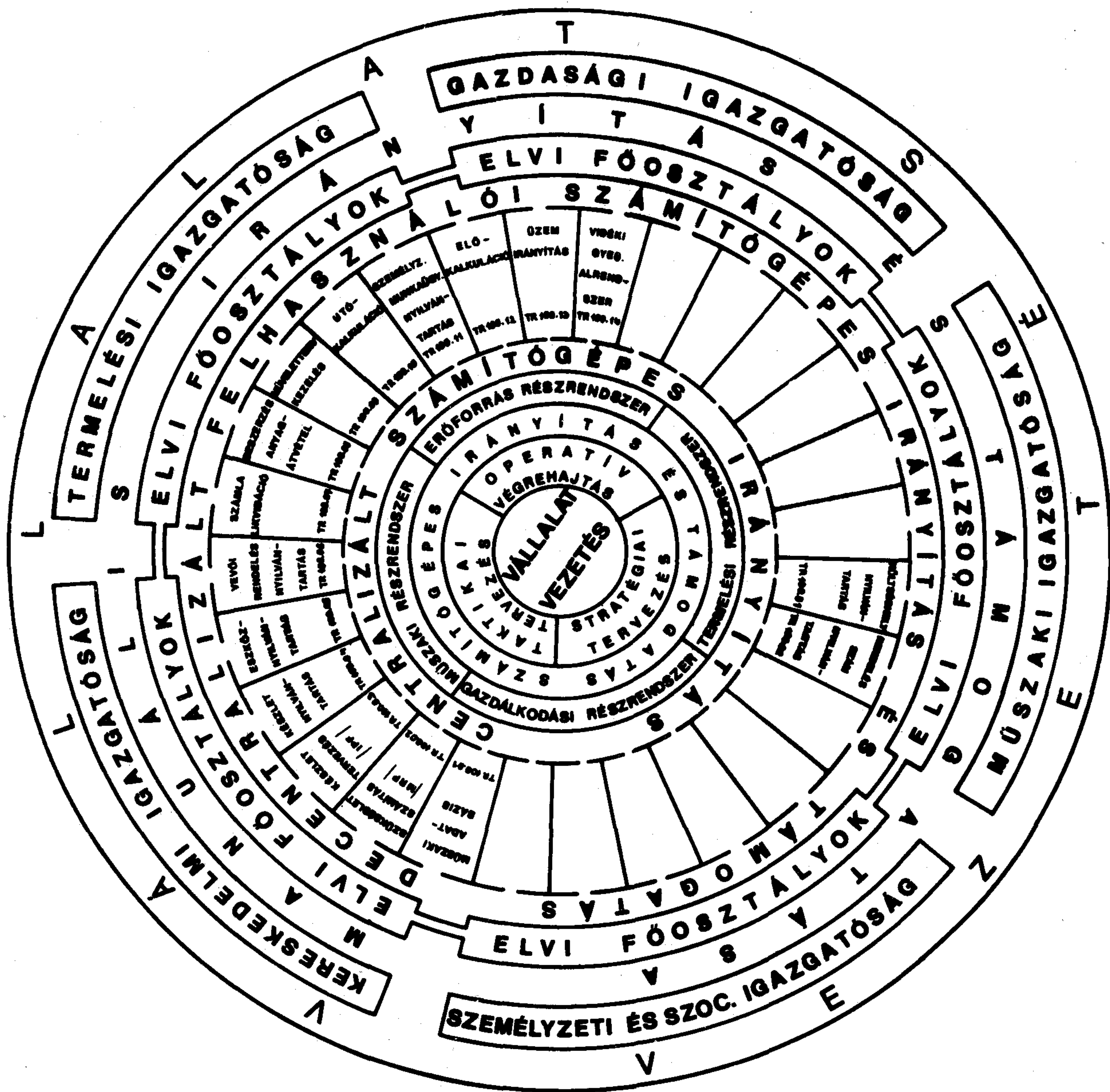
A vállalat szervezeti felépítésének, a vezetés döntési folyamatának illeszkednie kell a vállalati stratégia, taktikai és végrehajtás időbeni lefolytatásához.

Az időbeni feladat és döntési folyamat alatt természetesen mindig egy gördített tervezést, végrehajtást és ellenőrzést kell érteni.

A vállalat az irányítás funkcionális döntési folyamatának és időhorizontjának megfelelően definiálta a modulokat (főosztályok) és azok konkrét feladatait, valamint az időhorizontban elfoglalt helyüket.

A számítógépes folyamatok modellezésénél döntő szempont volt azok egymáshoz kapcsolódása, a bővíthetőség valamint a már jelzett centralizmus és decentralizmus egymásra épülésének, egymást és megfelelő vezetési szintek kiszolgálás bemutatása.

Az 1. sz. ábra azt a koncepciót és módszertant jelzi, ahol a kiinduló vezetési szintek és annak feladatait (stratégiai tervezés, taktikai tervezés, operatív végrehajtás) egy centralizált számítógépes irányítás támogatja, amelynek elemi (alrendszerek)



H405-1

1. ábra. Integrált rendszermodell kialakítása

közvetlenül és/vagy a decentralizált számítógépes feldolgozásokon keresztül támogatják és kiszolgálják a vállalat statikus vezetési szintjeit (elvi főosztályok, szakigazgatók, vállalatvezetés). A számítógépes alrendszerek nem előre befagyasztottak, vagyis az integráltság megsértése nélkül a fejlődéshez igazodóan újabb-újabb alrendszerek léphetnek be.

Ugyanakkor egy dinamizmust próbál követni, amely a vállalati centralizált igényeket összekapcsolja a felhasználói decentralizmussal és a kettőt egy-egy egységes egésszé próbálja szintetizálni.

3. A rendszer felépítése, alrendszerei

A vállalati integrált információs rendszerben négy részrendszert és kötetlen számú alrendszert definiáltunk.

A részrendszernek — műszaki, termelési, gazdasági, erőforrás — elsősorban összefogó, integráló szerepük van.

Ezek a részrendszerek, az alrendszerek adataiból megfelelő kigyűjtés után összegzett, gyűjtött adatokat adnak a vezetés számára.

Az alrendszerek nem közvetlenül illeszkednek egy-egy részrendszerhez, hanem egy bus-on keresztül kommunikálnak, hiszen egy-egy főfolyamat számítógépes lefedéséről van szó, és így nem lehet a hagyományos hierarchiáról beszélni.

Ugyanez a helyzet a felhasználói modulokkal, amelyek egyrésztől az alrendszerektől kapnak, illetve a részükre szolgáltatnak információt, másrésztől önálló feldolgozási lehetőséggel rendelkeznek.

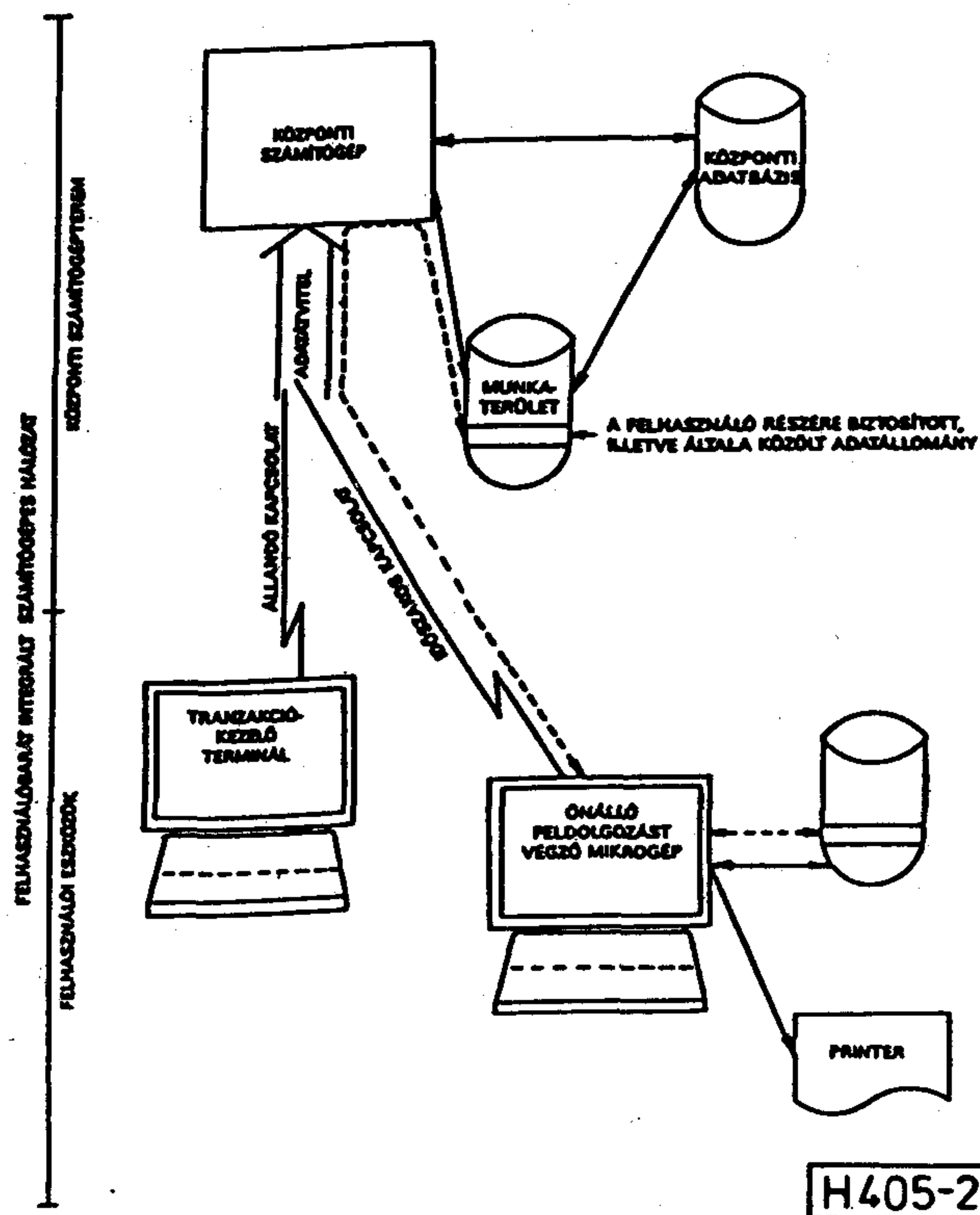
Ennek megoldása ún. file transzferálással történik, amelyet a 2.sz. ábra mutat be.

4. Hardver, szoftver környezet

A számítógépes eszközpark a gyár profiljának és igényeinek megfelelően 3 fő célt szolgál:

- gyártmányfejlesztés
- gyártás
- információfeldolgozási rendszer üzemeltetése

Miután a vállalat távadatfeldolgozó alrendszereket fejleszt és gyárt, ezért az eszközpark telepítésénél, fejlesztésénél, majd alkalmazásánál alapvető szempont volt és marad ezen alrendszerek fejlesztési és gyártási támogatása. Ennek megfelelően olyan ESZR bázis került telepítésre, amely alkalmas a gyártmányfejlesztésnél támogatni a TAF alrendszerek összes elemét külön-külön és együttesen, vagyis lehetőséget adni, hogy az elemeket, vagy



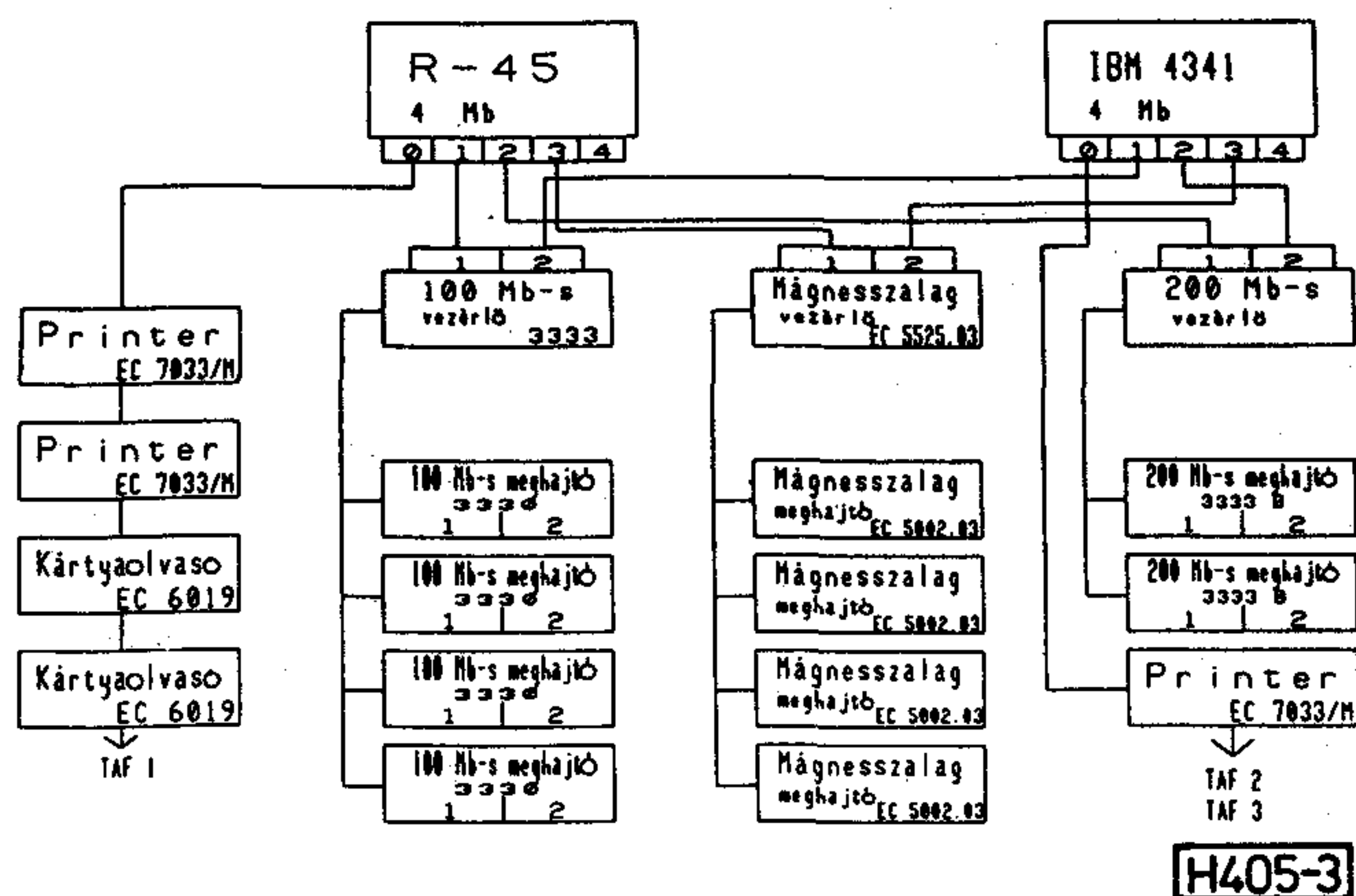
2. ábra. Felhasználóbarát Integrált számítógépes hálózat

rendszereket számítógépes (valódi) környezetben fejleszteni és tesztelni lehessen.

Nyilvánvalóan ugyanez az igény a gyártás során is, ahol az elkészült TAF alrendszerek valós környezetben történő bemérése, tesztelése történik a számítógép segítségével.

Az információs rendszer fejlesztésénél s egyik alapvető szempont volt, hogy egyben mintarendszer is legyen, mégpedig a vállalat saját gyártmányainak valós környezetben történő alkalmazásának demonstrálására.

A vállalati igényeket realizáló és TAF alrendszer szinten saját gyártmányainkat felhasználó számítógépes hálózat rajza található a 3.sz. ábrán.



3. ábra. Telefongyári információs rendszer

Mikrohullámú félvezető eszközök optikai vezérlésének alapjai II.

DR. GOTTWALD PÉTER
BME, Elektronikus Eszközök Tanszék



ÖSSZEFOGLALÁS

Az IMPATT, TRAPATT és BARITT diódákkal megvalósított mikrohullám-források spektrális tisztasága nem minden alkalmazás szempontjából megfelelő.

Az egyik legmodernebb módszer az FM zaj csökkentésére az optikai injektálás. A cikk első részében az említett eszközök fényérzékenységének mechanizmusával foglalkozunk. A második részben rövid áttekintést adunk más mikrohullámú félvezető eszközök fényérzékenységéről, mint pl.: a PIN és varaktor diódáról és egyes passzív elemekről, melyeket monolitikus mikrohullámú áramkörökben alkalmaznak.

A téma kutatását az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság támogatja.

1. Bevezetés

A mikrohullámú elektronika számos alkalmazásában nagy spektrális tisztaságú jelforrásokat igényel, amely mellett sokszor nagy kimenő teljesítményre is szükség lehet. A spektrális tisztaság javítására elterjedten alkalmazott módszer az oszcillátorok injektálása egy kis FM zajú, stabil oszcillátor jelével.

Ugyancsak az injektálás módszerével oldható meg több oszcillátor fázisszinkronizált működtetése is, amelyre pl. fázisvezérelt antennarácsok táplálásánál lehet szükség.

E feladatok megoldására a mikrohullámú félvezető eszközök fényérzékenységének felhasználásával új és előnyös optikai módszerek alakultak ki.

A félvezető alapú mikrohullámú eszközök fényérzékenysége olyan feladatok megoldását is lehetővé tette, amelyekre eddig más módszer nemigen volt ismeretes. Ezek közül kiemeljük a ps-os sebességű optikai kapcsolókat (POS : Picosecond Optoelectronic Switch), illetve a monolitikus mikrohullámú integrált áramkörökben alkalmazott passzív áramköri elemek (pl. különféle csatolók) optikai vezérlésének lehetőségét.

Folytatva a megkezdett témát^[1], ez alkalommal a futási idő eszközök^[2] és egyéb mikrohullámú félvezető eszközök optikai vezérlésének alapjaival foglalkozunk. Ismertetünk néhány eredményt a passzív áramköri elemek optikai vezérlésével kapcsolatban is.

DR. GOTTWALD PÉTER

Dr. Gottwald Péter 1966-ban szerzett villamosmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetemen, ahol azóta is dolgozik. Az Elektronikus Eszközök Tanszék oktatójaként a mikrohullámú aktív eszközök elméletével, technológiájával és oktatásával foglalkozik. Számos nagyfrekvenciás mérés-technikai problémát oldott meg ipari megbízásra a félvezető eszközök fejlesztésével

kapcsolatban. 1978. óta műszaki doktor. Szakmai ismeretét több külföldi tanulmányút keretében gazdagította. 1983. óta munkatársa az MTA Műszaki Fizikai Kutatóintézetének is, ahol a GaAs mikrohullámú eszközök fejlesztésén dolgozik. OMFB és OTKA kutatásokban is részt vesz. Szerzője a Mikrohullámú félvezetők c. nívódíjas szakkönyvnek és Mikrohullámú kézikönyv egy fejezetének.

2. A futási idő eszközök optikai vezérlésének alapjai

A futási idő eszközök a mikrohullámú elektronika nagyjelentőségű oszcillátor eszközei. Legfőbb képviselőik a különféle IMPATT eszközök, a BARITT és a TRAPATT dióda, illetve a Gunn dióda^[2].

Jelentőségük a velük készíthető mikrohullámú teljesítményforrások szerkezeti felépítésének egyszerűségével, az elérhető nagy teljesítménnyel, a viszonylag jó hatásfokkal és a magas működési frekvenciával függ össze.

Működési frekvenciájuk ma már biztonsággal lefedi a 100 GHz-ig terjedő frekvenciasávot. Közepes frekvenciákon folyamatos üzemben néhányszor 10 W teljesítményt szolgáltatnak, hatásfokuk 10–30 % között mozog. (A TRAPATT diódáknál a hatásfok 50–60 %-ot is elér, de a tipikus működési frekvencia a 10 GHz alatt marad.)

A futási idő eszközökkel előállított mikrohullámú teljesítmény spektrális tisztasága a Gunn diódák esetében jó, BARITT diódás oszcillátornál kielégítő, az IMPATT és a TRAPATT oszcillátoroknál viszont bizonyos alkalmazásokban már nem elfogadható.

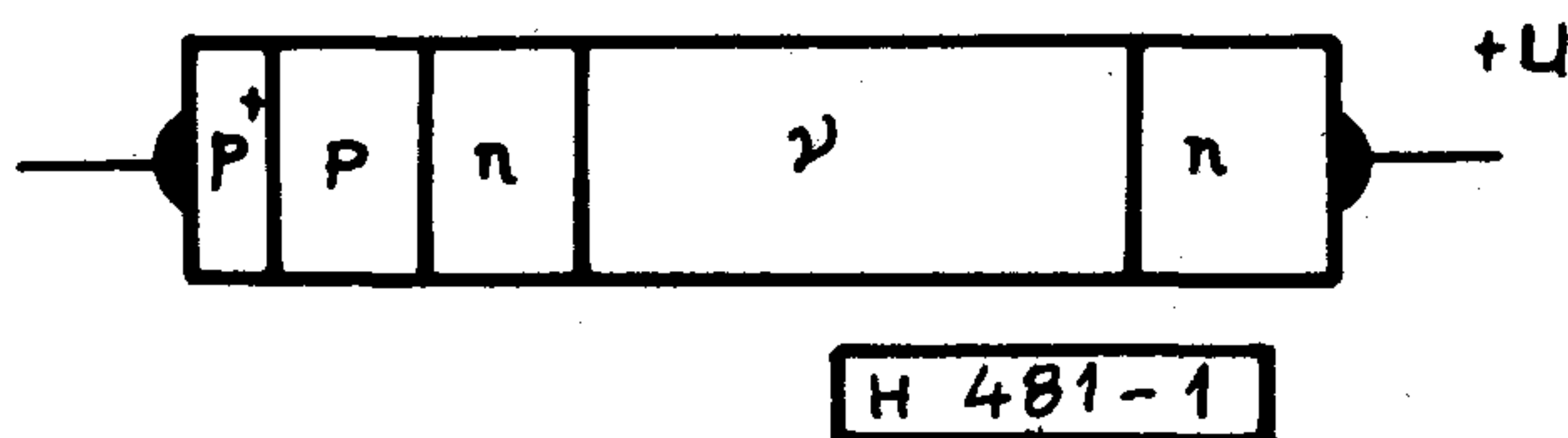
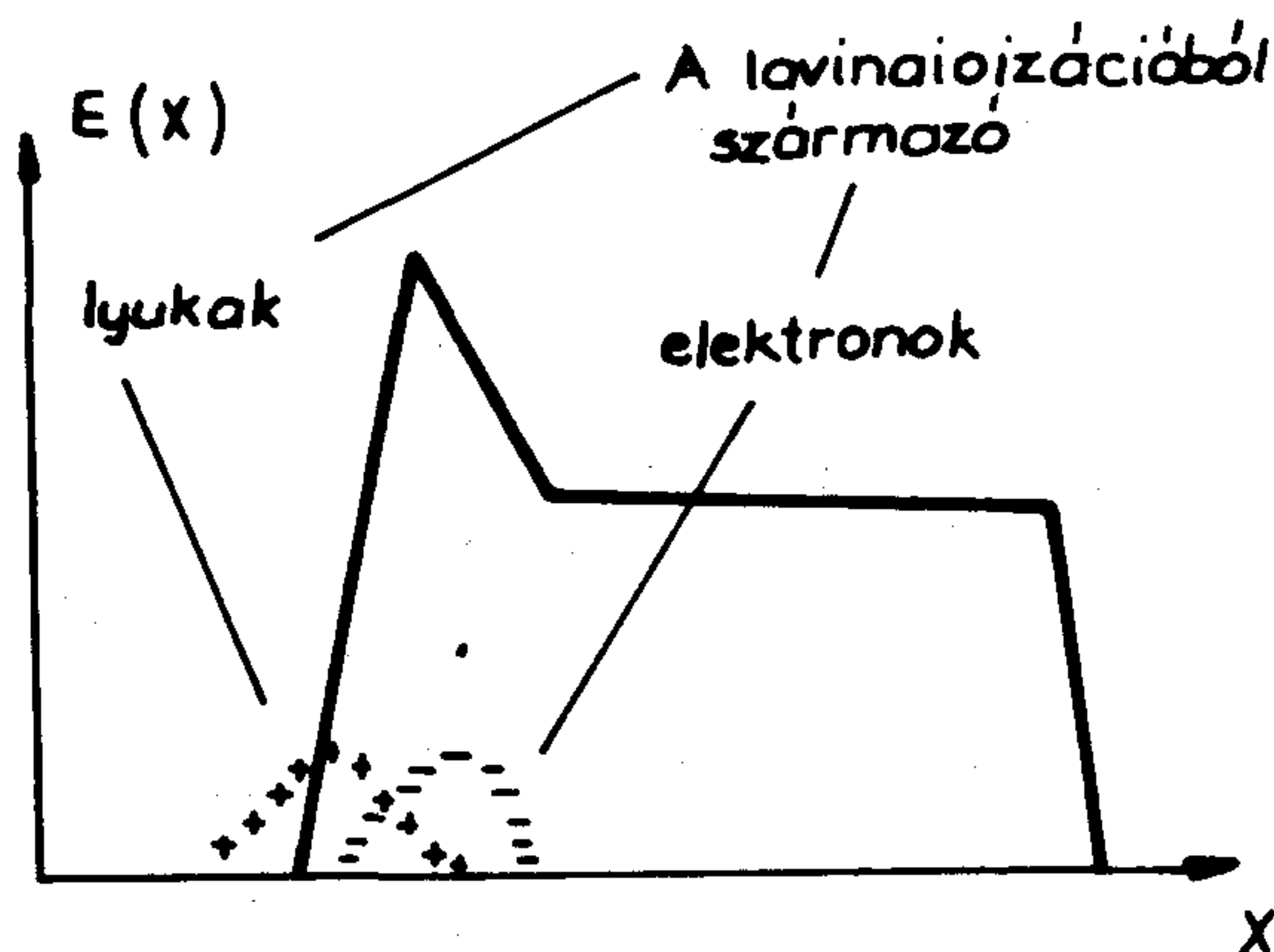
Az IMPATT és a TRAPATT oszcillátoroknál a spektrális tisztaság az oszcillátor injektálásával^[3] javítható. Ennek mai modern módszere a modulált lézer-fény segítségével történő direkt optikai injektálás^{[4], [5], [6]}.

Az IMPATT diódák tipikus képviselője a Read dióda, melynek rétegszerkezete és a záróirányú fe-

Beérkezett: 1988. VIII. 3. (↑)

szültség hatására benne kialakuló térerősségeloszlás a 1. ábrán látható.

Ha a diódára az egyenfeszültség mellett az oszcilláció miatt váltófeszültség is jut, a térerősség-eloszlás a minta minden pontjában azonos fázisban periódikusan nő, ill. csökken, követve az oszcillációból származó feszültségkomponens időbeli változását.



1. ábra. A Read dióda rétegszerkezete és a benne kialakuló térerősség-eloszlás

Azokban az időpillanatokban, amikor az oszcilláció miatt a diódára jutó zárófeszültség maximális, az átmenet helyén fellépő térerősség-csúcs olyan nagyra válik, hogy már lavina-ionizációt hoz létre. A lavinaionizáció által keltett plazma elektronjai a megfelelően méretezett hosszúságú gyenge n-típusú (ν -típusú) réteg felé, a lyukak pedig a p^+ kontaktus felé sodródnak. Mivel az elektroncsomag igen nagy térerősségű zónán sodródik végig, a sebesség-telítődés miatt a töltéscsomagot a Coulomb-erők nem tudják feltágítani.

Az elektron csomag futása a külső áramkörben influált áramot hoz létre. Mivel pedig ez időben éppen a nagyfrekvenciás rezgés negatív félperiódusára esik, a dióda negatív valós részű admittanciát mutat, és így energiát táplál be a vele csatolásban lévő rezonátorba.

A Read dióda szerkezeti megvalósításának számos igen fontos változata^[2] ismeretes, amelyekre itt nem térünk ki, mert a működés elve és az optikai injektálás szempontjából egymáshoz képest lényeges eltérést nem mutatnak.

Arra viszont utalunk, hogy a Schottky átmenettel kialakított GaAs diódák számos kedvező tulajdonságuk miatt igen elterjedtek.

Az oszcilláció viszonylag nagy FM és AM zaja^[2] abból a tényből fakad, hogy a működés alapja a lavinaionizációs folyamat. Ez több elemi ionizációs folyamat eredője, amelyben statisztikus ingadozások is vannak. Tovább rontja a helyzetet, hogy maga a lavinajelenség minden meglévő ingadozást nagymértékben felerősít.

Éppen ez a körülmény használható fel arra, hogy a Read diódás (vagy általánosabban IMPATT —) oszcillátorokat jó hatásfokkal injektálhassuk modulált lézerefény segítségével.

A felismeréshez néhány előzetes megfigyelés vezetett. Az egyik legkorábbi ezek közül az volt, hogy a rezgési periódus azon részeiben, amikor a pillanatnyi feszültség a lavinafeszültségnél kisebb, az átmenet normál záróirányú árama hozzájárul a teljes dióda áramhoz, és kedvezőtlenül befolyásolja a működést. Később azt is kimutatták, hogy bármely módon (pl. ionizáló sugárzással) növelve a dióda záróáramát, általában csökken a kimenő teljesítmény és enyhén növekszik az oszcillációs frekvencia. Ezt követően 1977-ben Vyas és munkatársai elvégezték az első kísérleteket a lézerefény hatásának vizsgálatára^[7]. A frekvencia és a kimenő teljesítmény változását a megvilágítás intenzitása, mint paraméter függvényében a 2. ábrán mutatjuk be. A megvilágítás intenzitását a kis zárófeszültség mellett a diódán átfolyó fotoárammal jellemezzük.

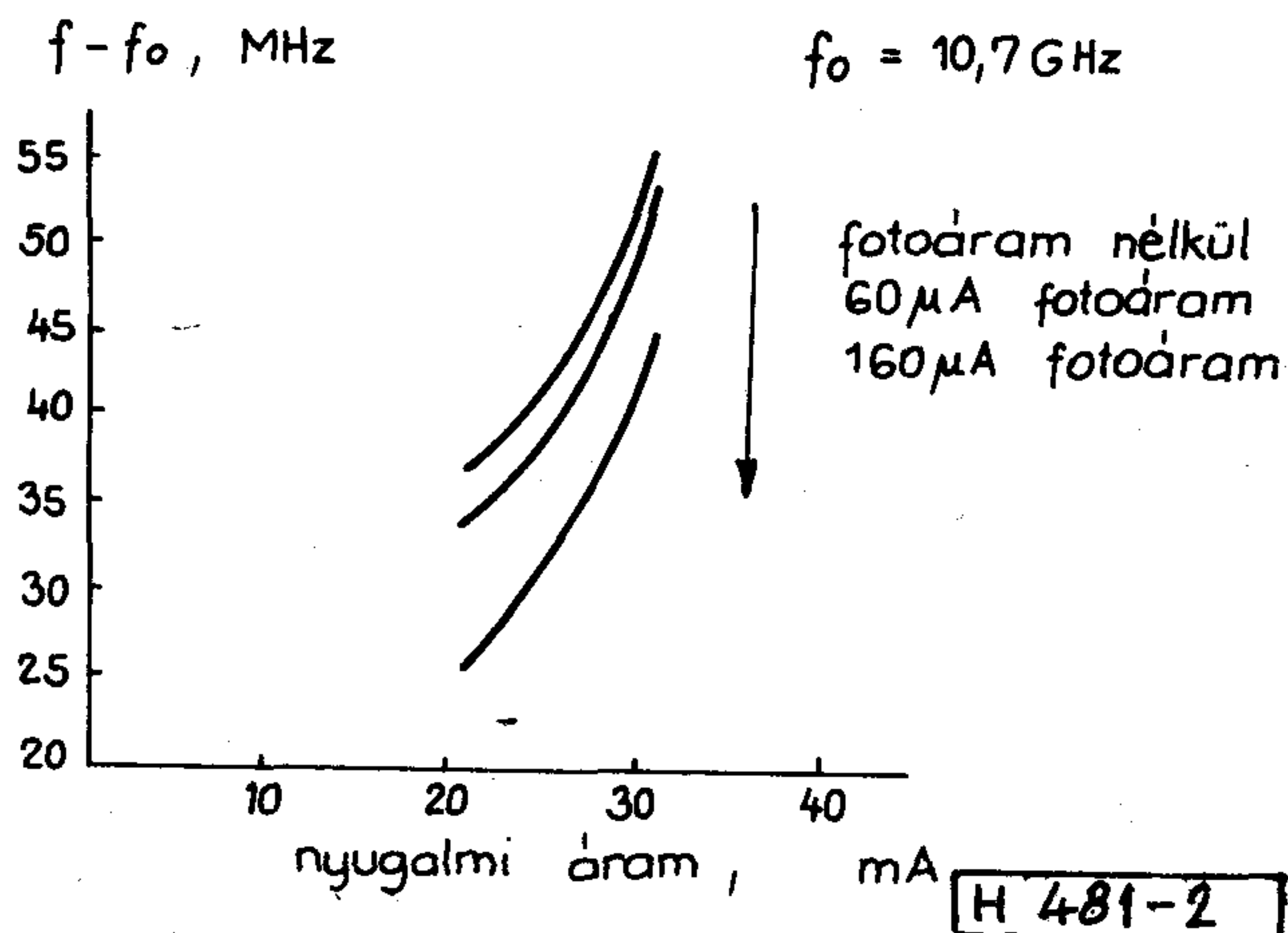
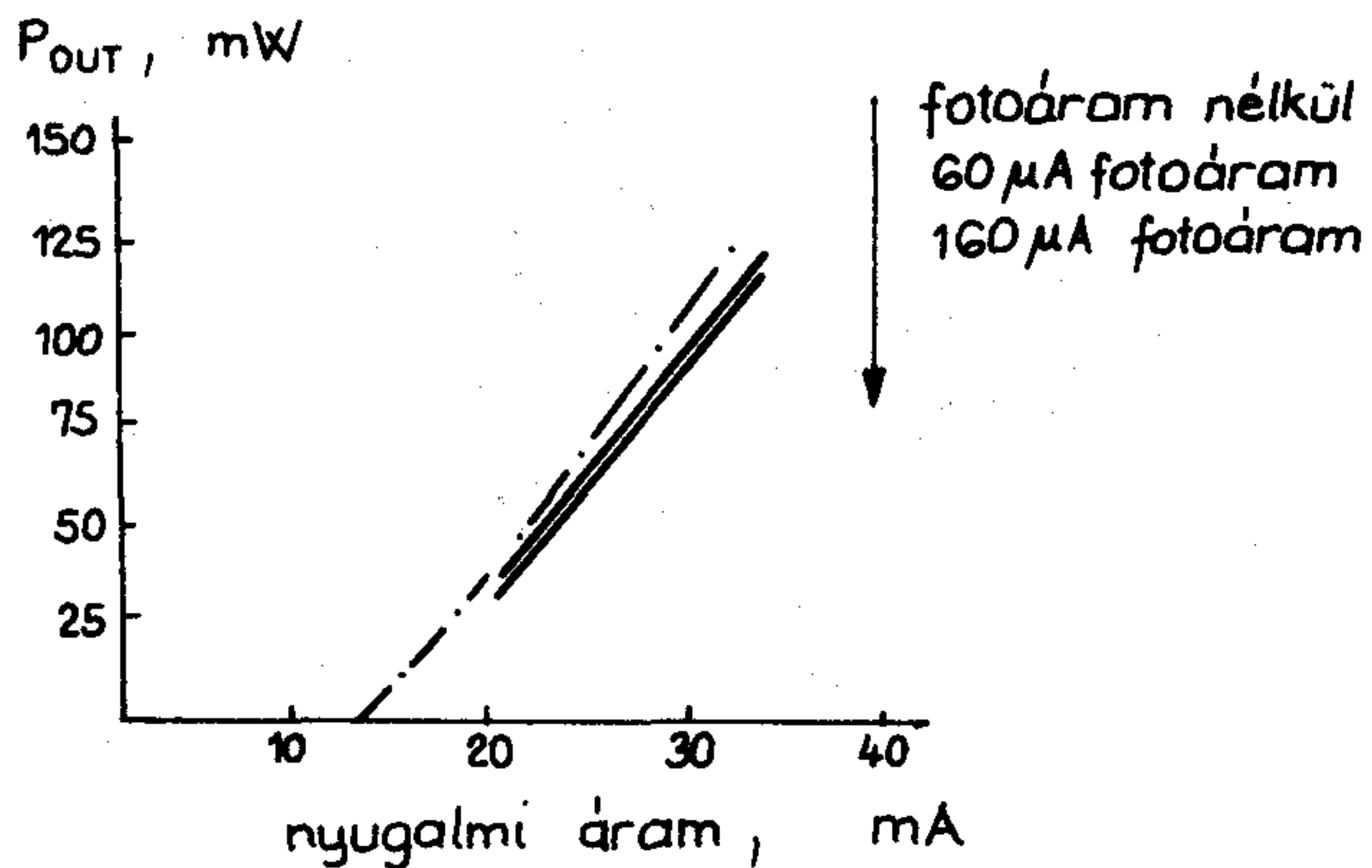
Hamarosan megjelent az első publikáció a modulált lézerefénnyel injektált X-sávú IMPATT oszcillátorról^[6], amelynél az oszcilláció spektrális tisztaságát az injektálással jelentősen növelni tudták.

Az injektálás kvantitatív vizsgálata^{[8], [9]} azt mutatta, hogy amennyiben az oszcillációs feszültségtől kis fáziskülönbséggel eltérő optikai gerjesztést végzünk, az így keltett töltések áramát a lavina-folyamat felerősíti. Így a dióda áramában egy az injektálással fázisban lévő és jelentős nagyságú áramkomponens lép fel.

A gerjesztett fotoáram felerősödése — vagyis az F_a lavina erősítési tényező — annál nagyobb, minél nagyobb az oszcillációból adódó E_1 térerősség-amplitudó az E_{p0} lavina-letörési térerősséghez képest. Ezt az összefüggést mutatjuk be a 3. ábrán.

Az IMPATT diódák injektálásával kapcsolatban néhány gyakorlati kérdésre is kitérünk.

Tekintve, hogy az eszközben a legnagyobb disszipáció-sűrűség a lavinaletörésben működő pn.

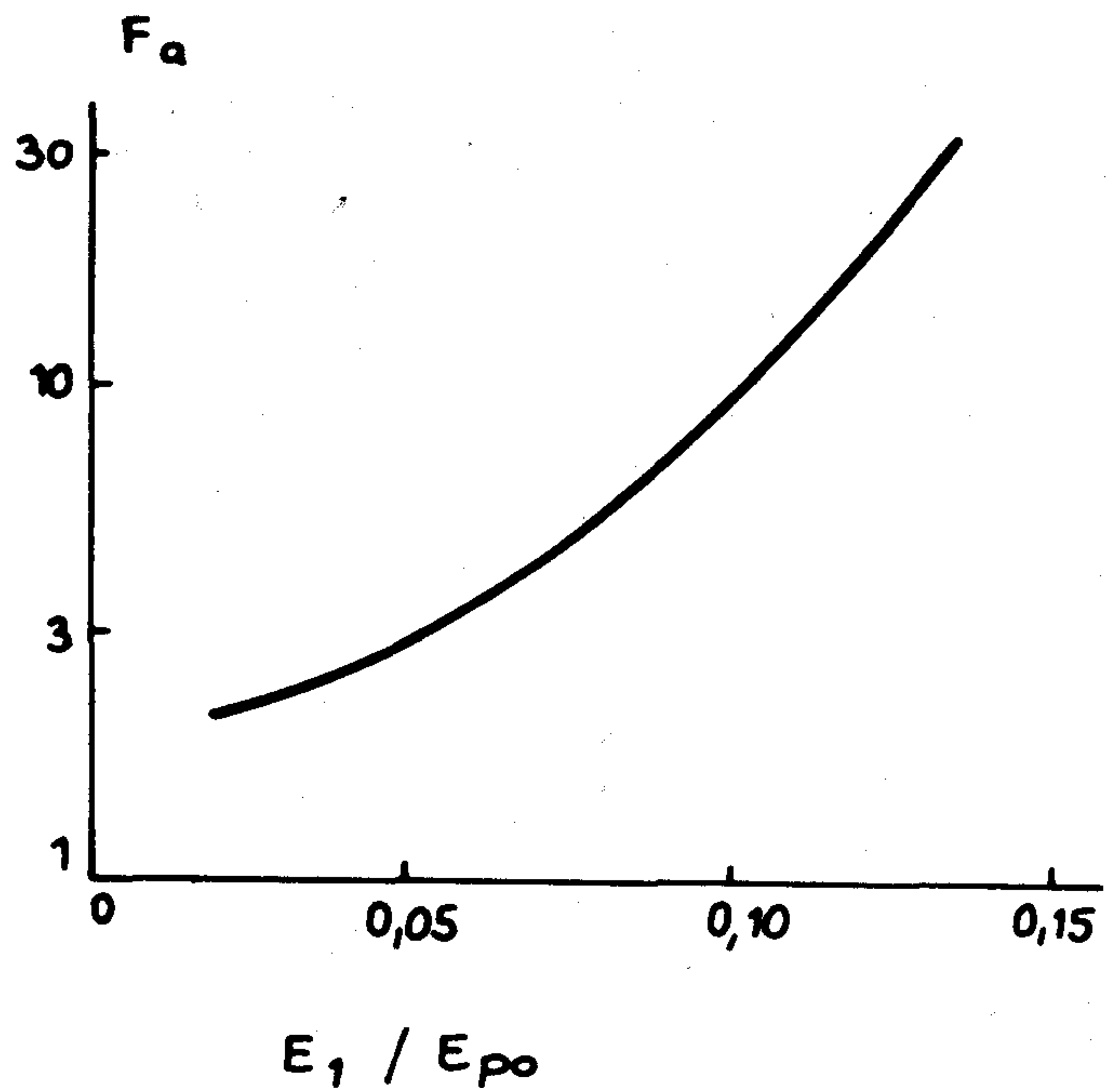


2. ábra. Egy IMPATT-diódás oszcillátor teljesítményének és frekvenciájának változása a megvilágítás függvényében [7]

(vagy Schottky) átmenet környékén lép fel, a jó hőelvezetés érdekében az eszközt ezen átmenet felőli oldalával kell a tok hőelvezető tömbjére szerelni. (Megjegyzendő, hogy a disszipáció sűrűség másutt is nagy és rendszerint eléri a néhányszor 10 kW/mm³ értéket is.) Ilyen viszonyok mellett a megvilágítás csak az eszközök másik oldaláról, a futási zónán keresztül lehetséges. Ilyen megoldásra mutatunk példát a 4. ábrán^[10].

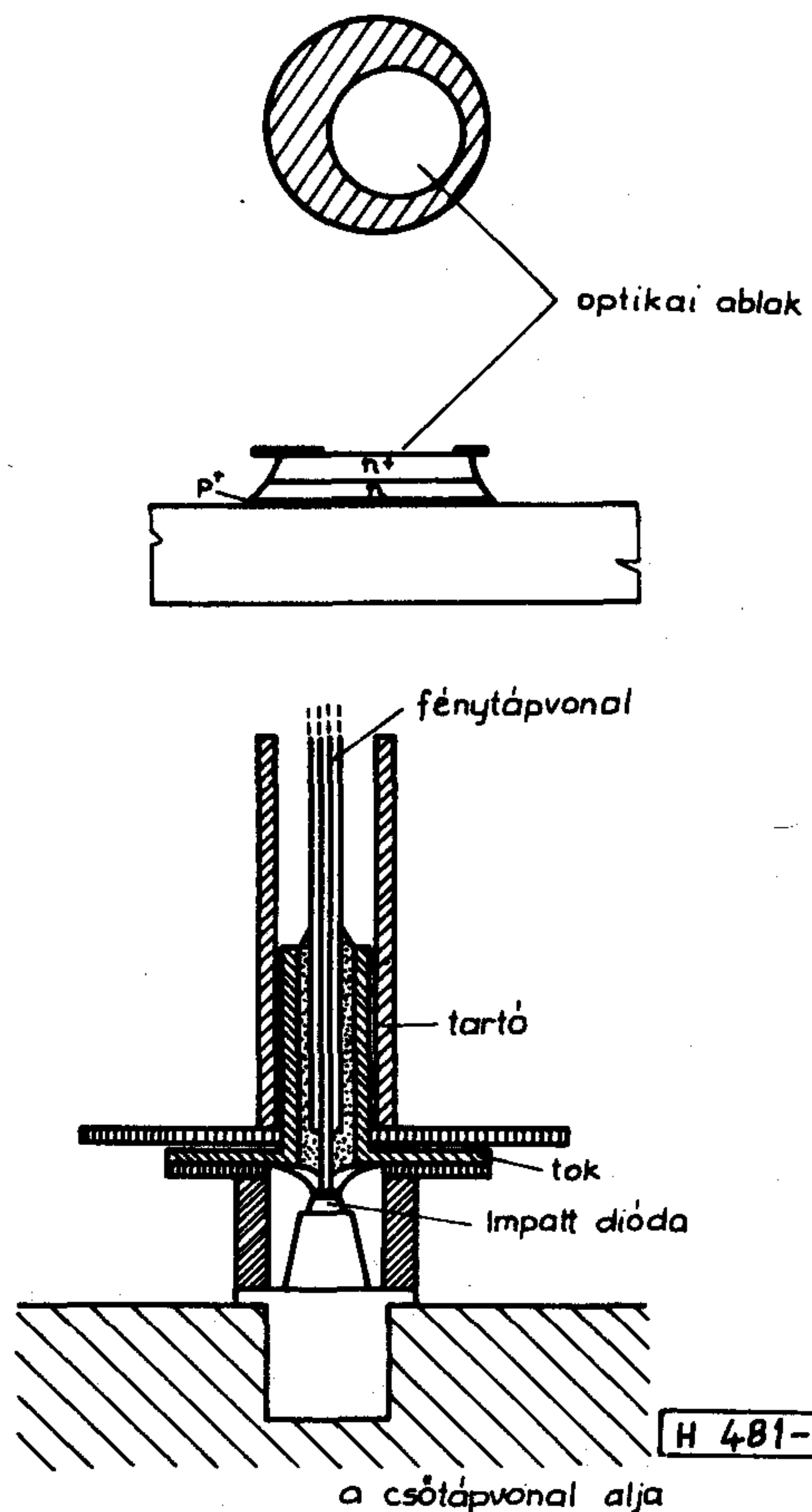
A futási zónát képező félvezető réteg vastagsága pl. 10 GHz-es dióda esetében 5 μm körül van, és a szükséges rétegvastagság a frekvenciával fordított arányosságban áll. Mivel pedig Si-ban a 870 nm hullámhosszúságú fényre az abszorpciós hossz 10–15 μm, és ez az érték magasabb kristályhőmérséklet mellett jelentősen csökken (Pl. 200 °C-on már kb. 8 μm-re csökken le) látható, hogy a besugárzott fényt teljesítmény csak jelentős veszteséggel éri el a lavinazónát.

Ez a körülmény annál is hátrányosabb, mert a futási zónában keltett lyuk-elektron párok közül csupán a lyukak haladnak át a lavinazónán, és az elektronokénál lényegesen kisebb ionizációs tényezőjük miatt ezek gyakorlatilag hatástalanok.



H 481-3

3. ábra. A lavinaerősítési tényező változása a relat oszcillációs térerősség-amplitúdó függvényében [8]

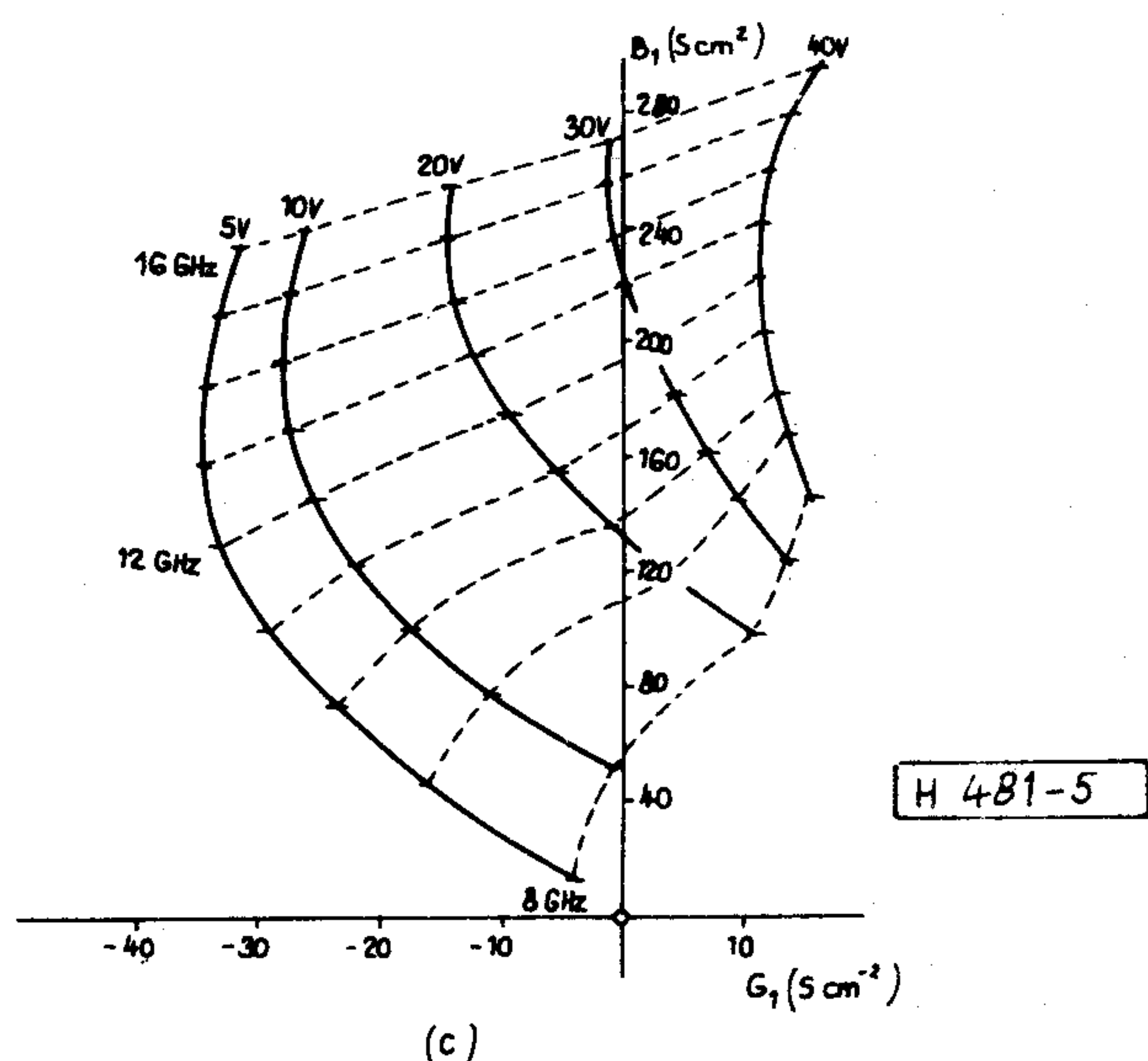
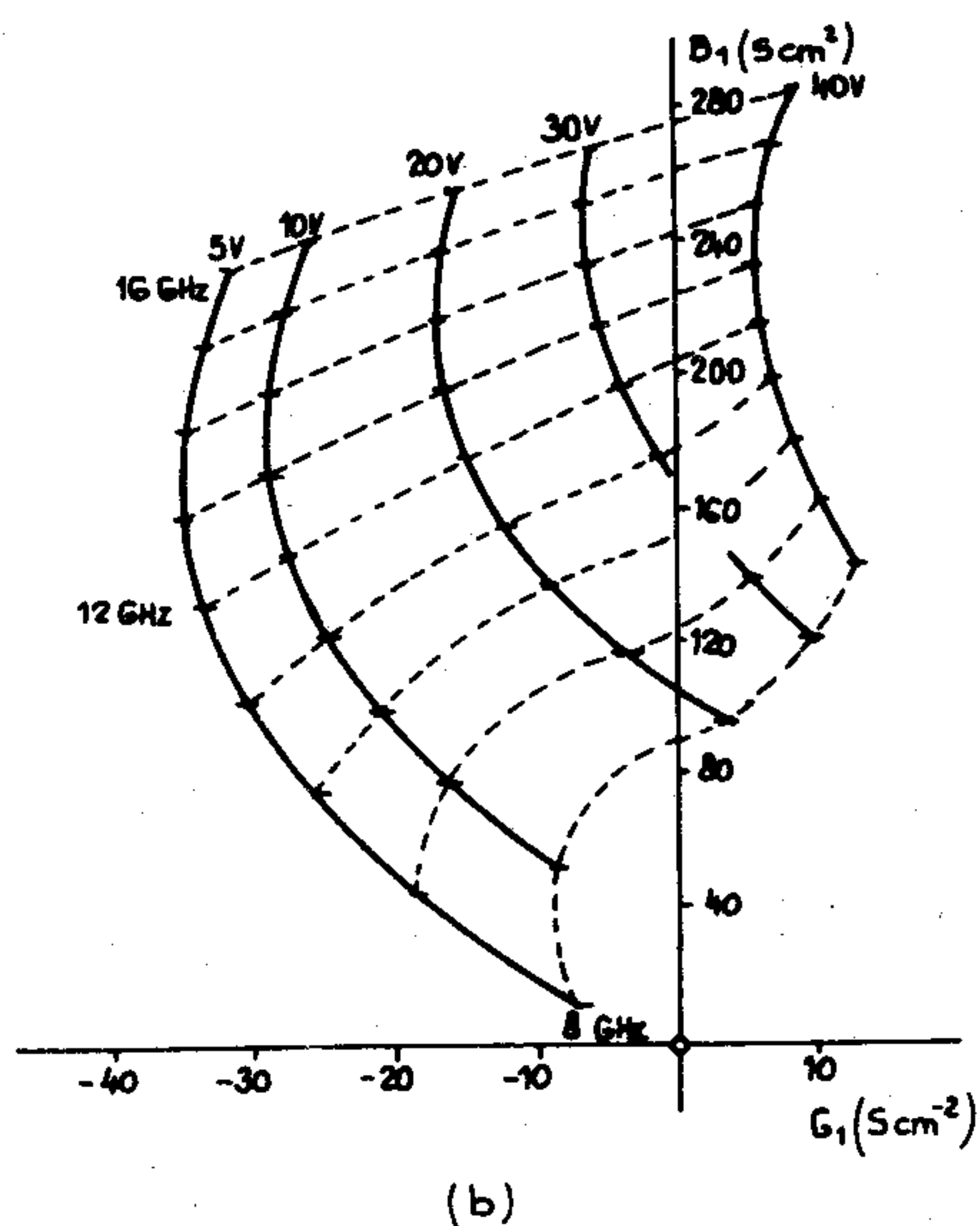
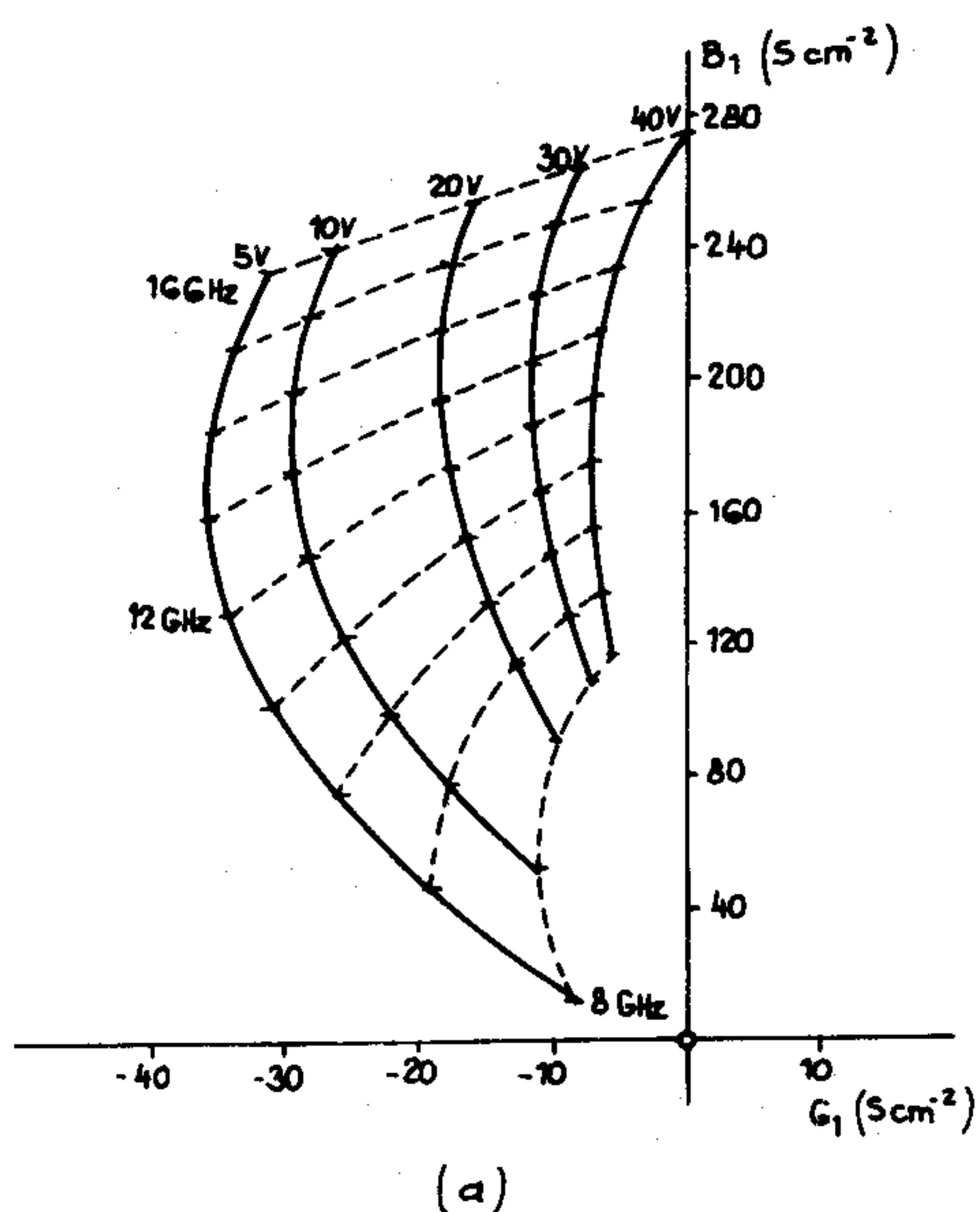


H 481-4

4. ábra. A megvilágítható IMPATT dióda szerkezete, tokozása és csatlakoztatása a tápvonalhoz és a fénykábelhez^[10]

Jól látható mindez a nagyjelű működést jellemző admittancia-görbék alakulásából, amelyeket egy p^+-n-n^+ -szerkezetű IMPATT diódára a 5. ábrán mutatunk be. Látható, hogy a p^+ oldal irányából történő megvilágítás esetén az admittancia-görbék megváltozása sokkal nagyobb.

Végül megemlítjük, hogy a GaAs IMPATT diódák direkt optikai injektálásánál a Si diódákhoz képest kedvezőtlenebb a helyzet, mivel a fény abszorpciós hossza GaAs-ben sokkal kisebb, csupán $1\ \mu\text{m}$ körüli. Javítja viszont a helyzetet, hogy a GaAs esetében nincs nagy különbség a lyukak és az elektronok ionizációs úthossza között. Emiatt és feltehetőleg azért is, mert a GaAs diódák zaja a Si diódáékéhoz képest lényegesen kisebb, a GaAs diódák direkt optikai injektálásával a szakirodalom mindmáig gyakorlatilag nem foglalkozik.



5. ábra. IMPATT dióda nagyjelű admittancia görbéi^[9] a) megvilágítás nélkül; b) az n-oldal irányából; c) a p-oldal irányából megvilágítva

A futási időeszközök optikai vezérlésével kapcsolatban röviden még két eszköz, a BARITT és a TRAPATT dióda direkt optikai injektálásának alapelveit vázoljuk.

A BARITT dióda a Read diódánál kisebb teljesítményt szolgáltat, hatásfoka 10% körüli, zajviszonyai azonban lényegesen jobbak, mint az IMPATT eszközöké.

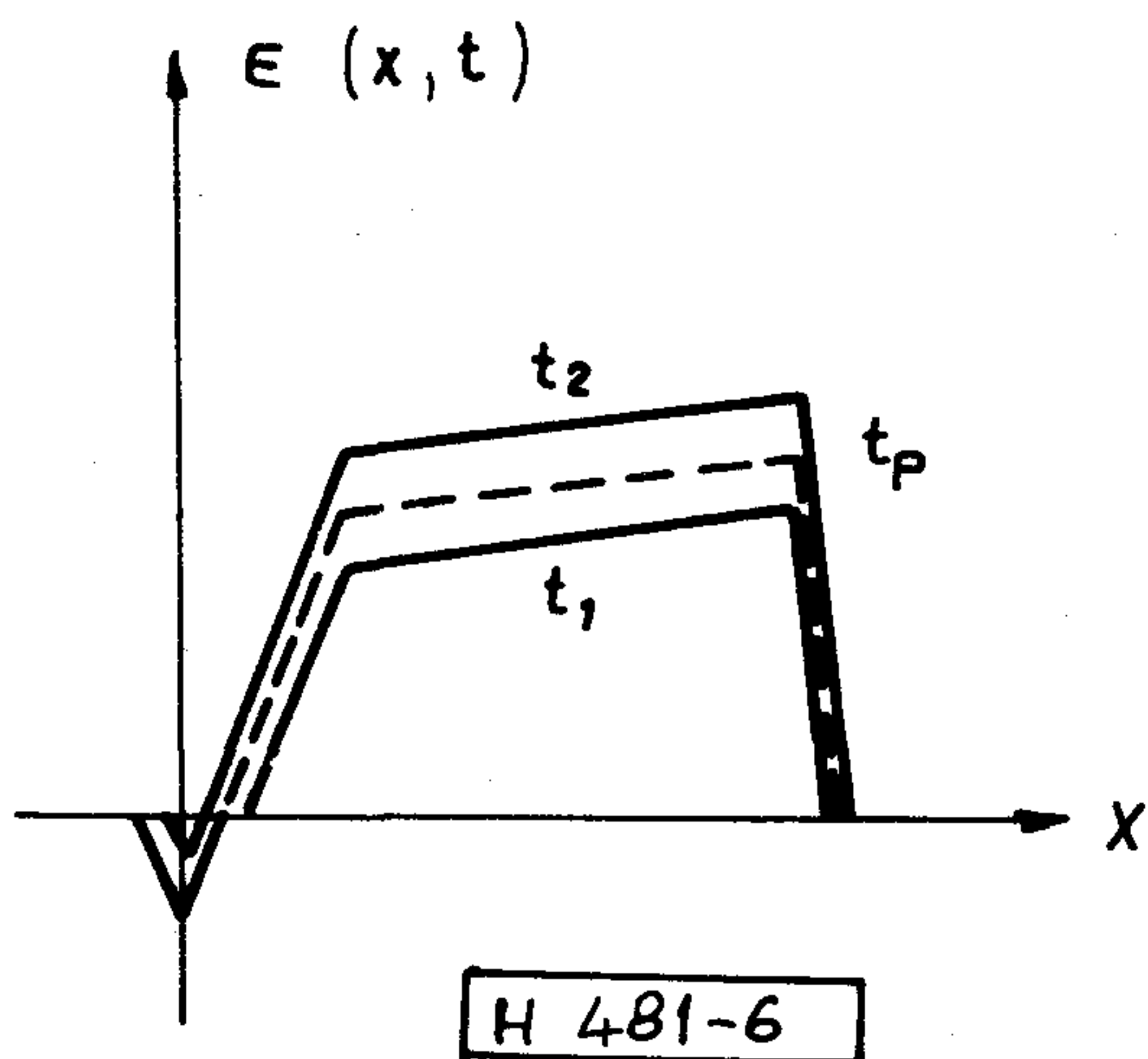
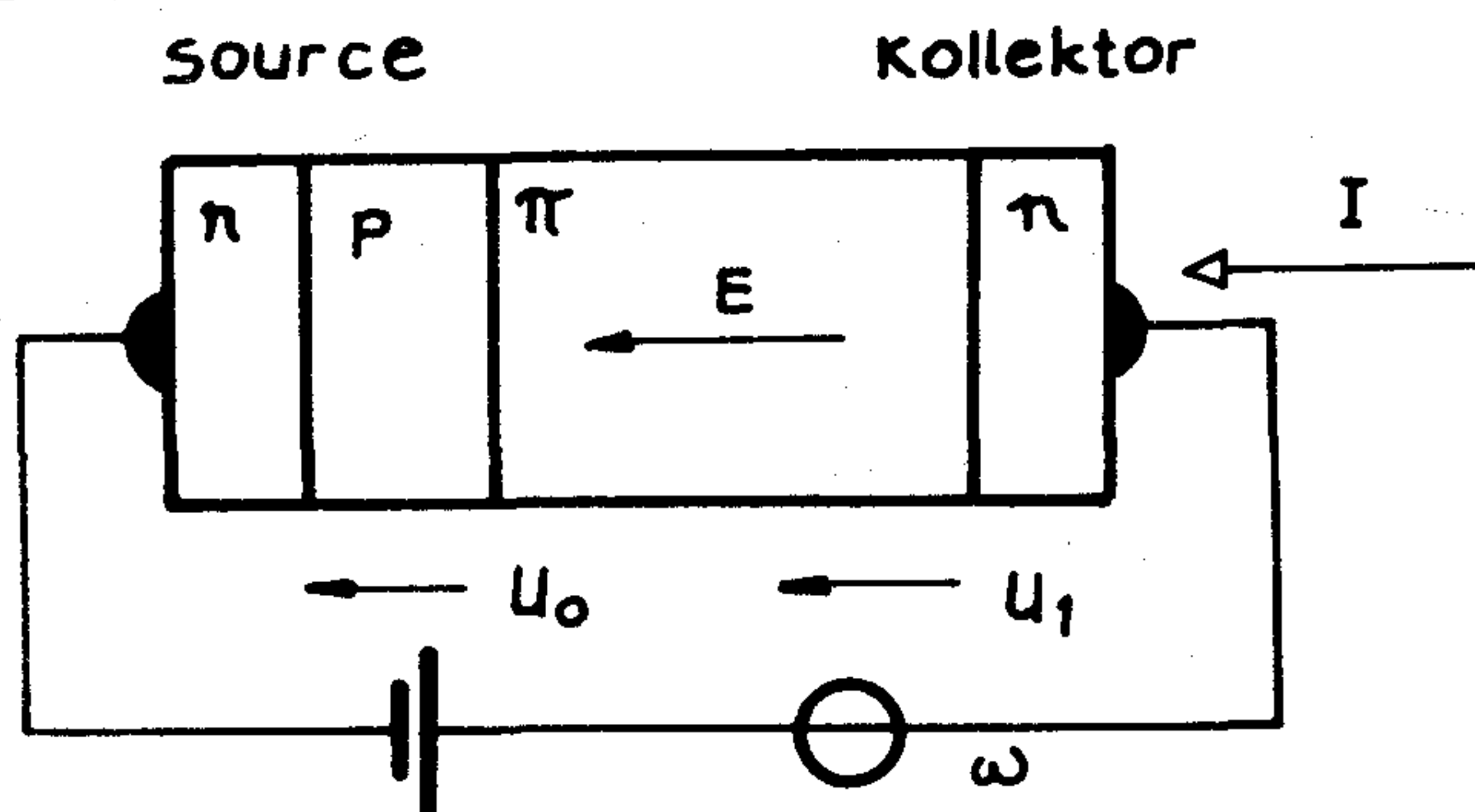
A működést egy p-n átmenetekkel kialakított diódán vázoljuk. Az elvi rétegszerkezetet és a benne kialakuló télerősség-eloszlást a rezgési periódus három különböző fázisában a 6. ábrán rajzoltuk meg.

Az ábra szerint a t_1 időpillanat a nagyfrekvenciás jel negatív félperiódusához tartozik. Ekkor a $p-n$ átmenet tértöltés-rétege még nem éri el az $n-p$ átmenetnél kialakuló tértöltés-réteget. Időben a pozitív félperiódus felé haladva a két tértöltés-réteg a t_0 időpillanatban éppen összeér. Ez az átszúrás (punch through) állapota. Ettől kezdve a rezgés pozitív félperiódusa fokozatosan lehúzza az $n-p$ átmenet potenciál-gátját, (t_2 időpillanat), amely ekkor rövid ideig elektronokat injektál a szélesebb p rétegbe.

Az injektált elektronok p réteg-beli futása a Read diódához hasonlóan negatív valós részű impedancia keletkezéséhez vezet.

Az optikai injektálást a $p-n$ átmenetet érő fotogerjesztés teszi lehetővé az által, hogy az itt gerjesztett töltéshordozók árama az $n-p$ átmenetre nézve nyitóirányú. Ez pedig — mint kényszerített nyitóirányú áram — lehúzza az $n-p$ átmenet potenciál-gátjának magasságát, előre hozva a nyitás pillanatát.

A BARITT dióda részletesebb elmélete a magyar szakirodalomban is fellelhető^[2], nincs azonban tu-



6. ábra. A Barrit dióda működéséhez

domásunk arról, hogy a nemzetközi irodalom az optikai injektálás kérdésével foglalkozott volna.

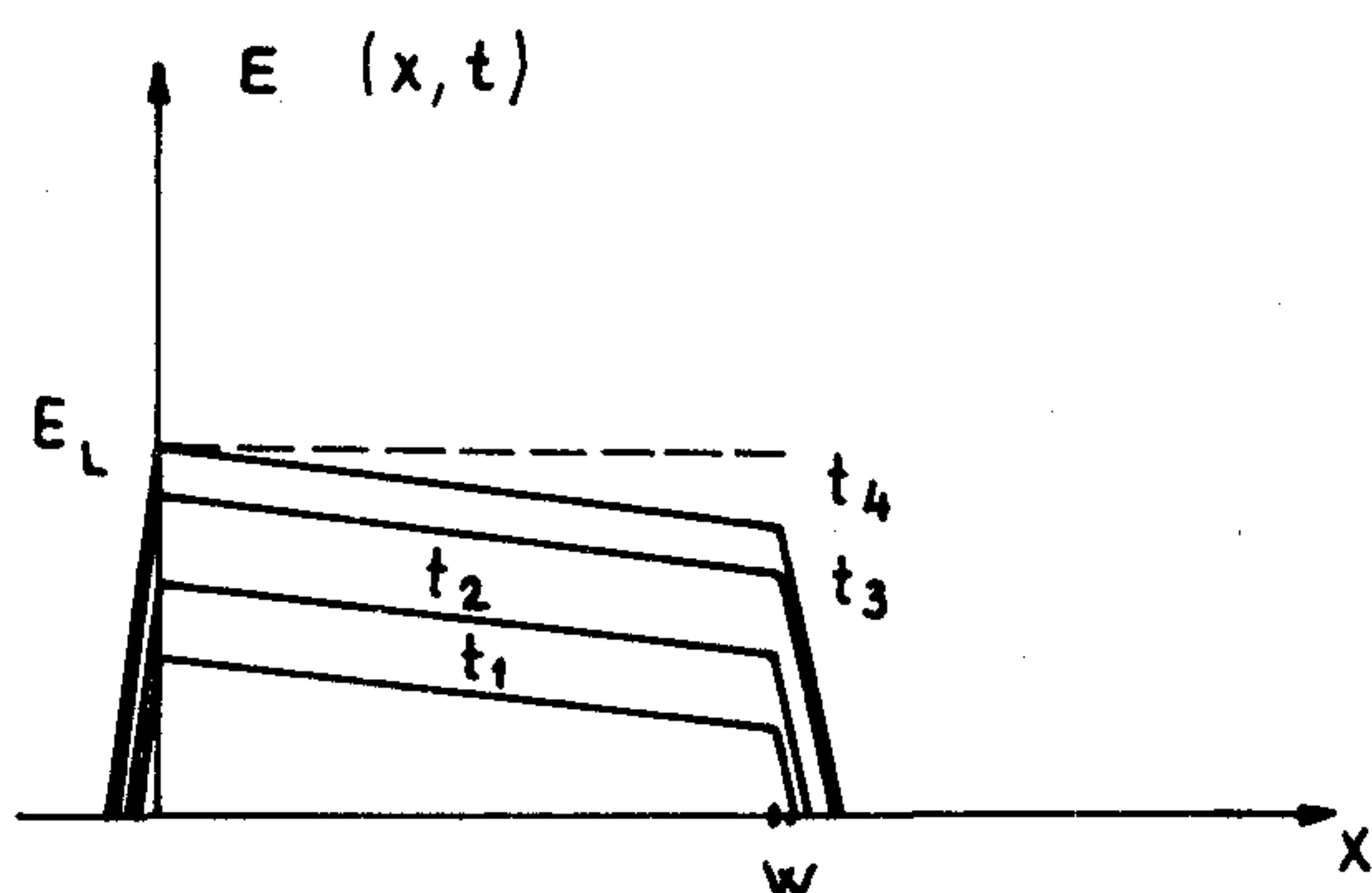
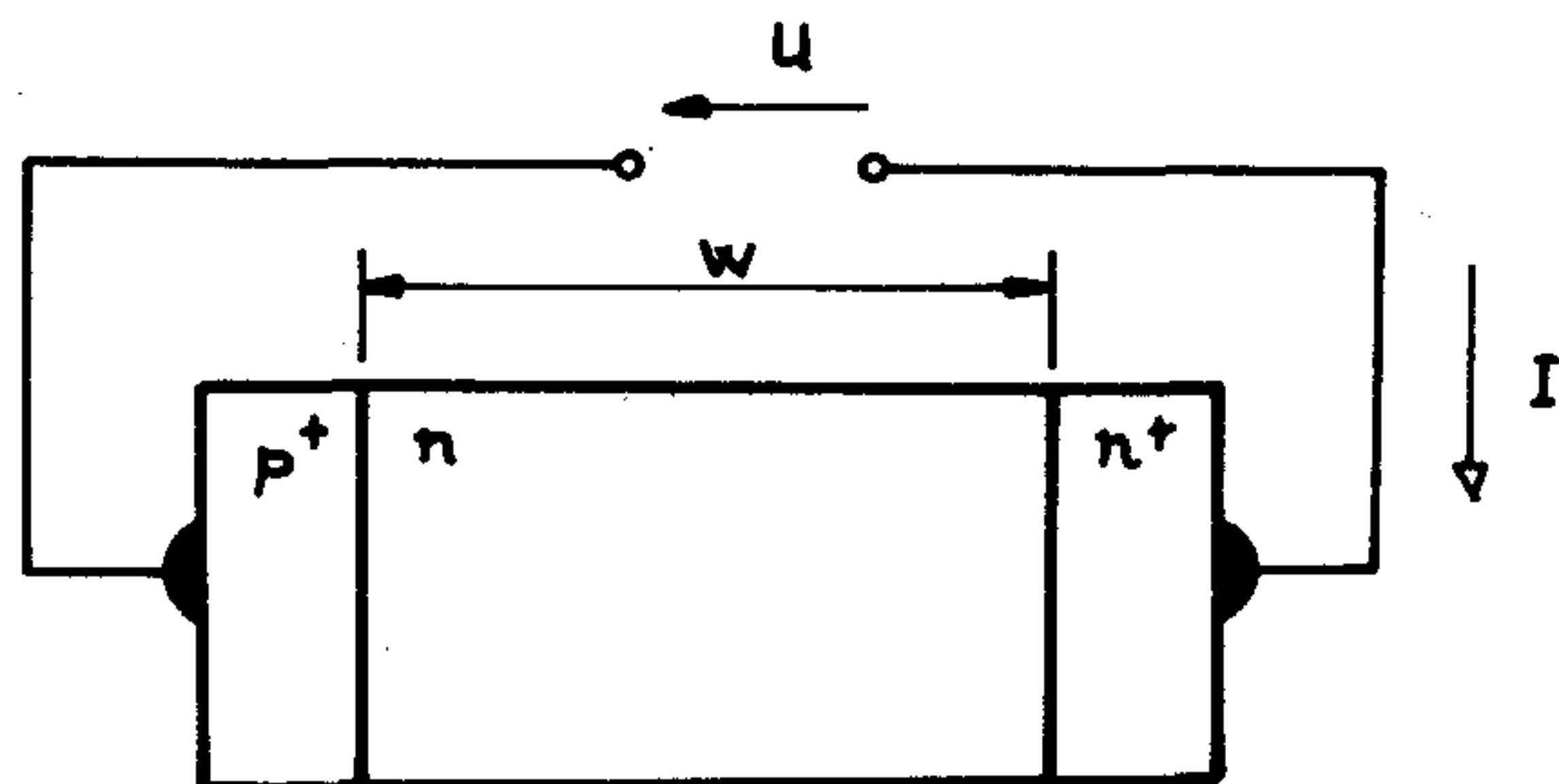
A TRAPATT dióda^[2] nagyteljesítményű eszköz, 100 W körüli kimenőteljesítmény és jó hatásfok (50–60%) jellemzi. Működési frekvenciája alacsony (GHz körüli).

Szerkezetét, és benne az állandó záróirányú áram hatására időben növekvő térerősség-eloszlást a 7. ábrán mutatjuk meg.

A rajz szerint a térerősség a t_4 időpontban az n réteg p oldali szélénél eléri a lavina-ionizációs térerősséget, majd a térerősség profil „nyírás-szerűen” végigfut ezen az értéken. E gyorsan lejátszódó folyamat közben a középső réteg megtelik a lavina-ionizáció által termelt lyuk elektron párokból álló plazmával, és emiatt lecsökken a kapcsoló feszültség. Ezt követően az elektromos tér kihúzza a plazmát, a feszültség emelkedik, és a folyamat újra indul.

A TRAPATT dióda működését a pulzusélek bizonytalansága (jitter) jellemzi, amely akár 100 ns-ot is kitehet.

Megfigyelték^[5], hogy a plazmaképződés folyamatába érzékenyen beleszólnak a fénnel generált töltéshordozók. Így, ha a lézer fényimpulzusa a plazmaképződés közben éri a dióda középső rétegét, a csökkenő feszültségű él idejének bizonytalansága akár 30 ns-ra is lecsökkenthető.



7. ábra. A TRAPATT dióda működéséhez

Optikai vezérléssel javítható az impulzus üzemi működéskor tapasztalható berezgési bizonytalanság is.

Így az optikai vezérlés lehetővé teszi a TRAPATT diódák alkalmazását nagy feloldóképességű radarokban.

3. Egyéb mikrohullámú eszközök optikai vezérlésének alapjai

A továbbiakban röviden még két egyszerűbb szerkezetű eszköz optikai vezérlésének alapjait érintjük.

A PIN dióda a mikrohullámú elektronika fontos szabályozó, hangoló és kapcsoló eleme^[2]. Felépítésében és működésében a legfontosabb szerepe a p és n rétegek között elhelyezkedő igen gyengén adalékolt (pl. $N=10^{12} \text{ cm}^{-3}$) és viszonylag vastag (pl. 50–100 μm) i — intrinsik — rétegnek van.

Nyitóirányú impedanciája a szokásos hullámimpedancia érték $Z_0 = 50 \Omega$ körül akár négy nagyságrenddel keresztül is kényelmesen szabályozható a diódán átfolyó egyenárammal. Az impedancia a mikrohullámú frekvenciasávban (gyakorlatilag 100 MHz felett) ohmos jellegű, nagysága az árammal fordítottan arányos.

Nagy záróirányú feszültségeknél a dióda gyengén adalékolt középső rétege teljesen kiürül. A benne kialakuló viszonylag állandó térerősséget az n és a p rétegekbe is behatoló kiürített réteg semlegesítő adalék-ionjai tartják fenn. Ebben az állapotban a PIN dióda közel feszültségfüggetlen, kis értékű kapacitásnak felel meg.

Kisebb záróirányú feszültségnél az I réteg csak részlegesen ürül ki. Ebben az állapotban az I réteg dielektromos relaxációs frekvenciája feletti üzemi frekvenciákon, gyakorlatilag a kapacitás továbbra is feszültségfüggetlen lesz.

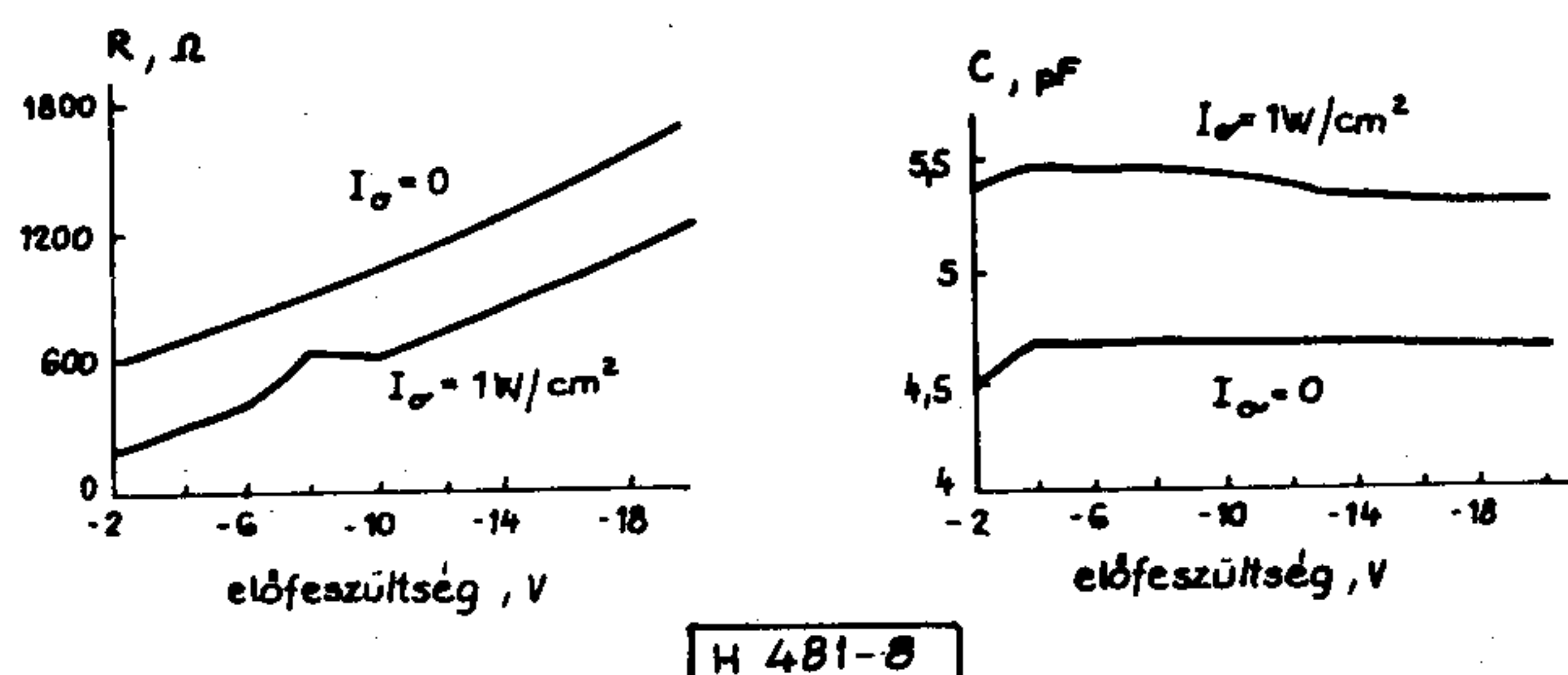
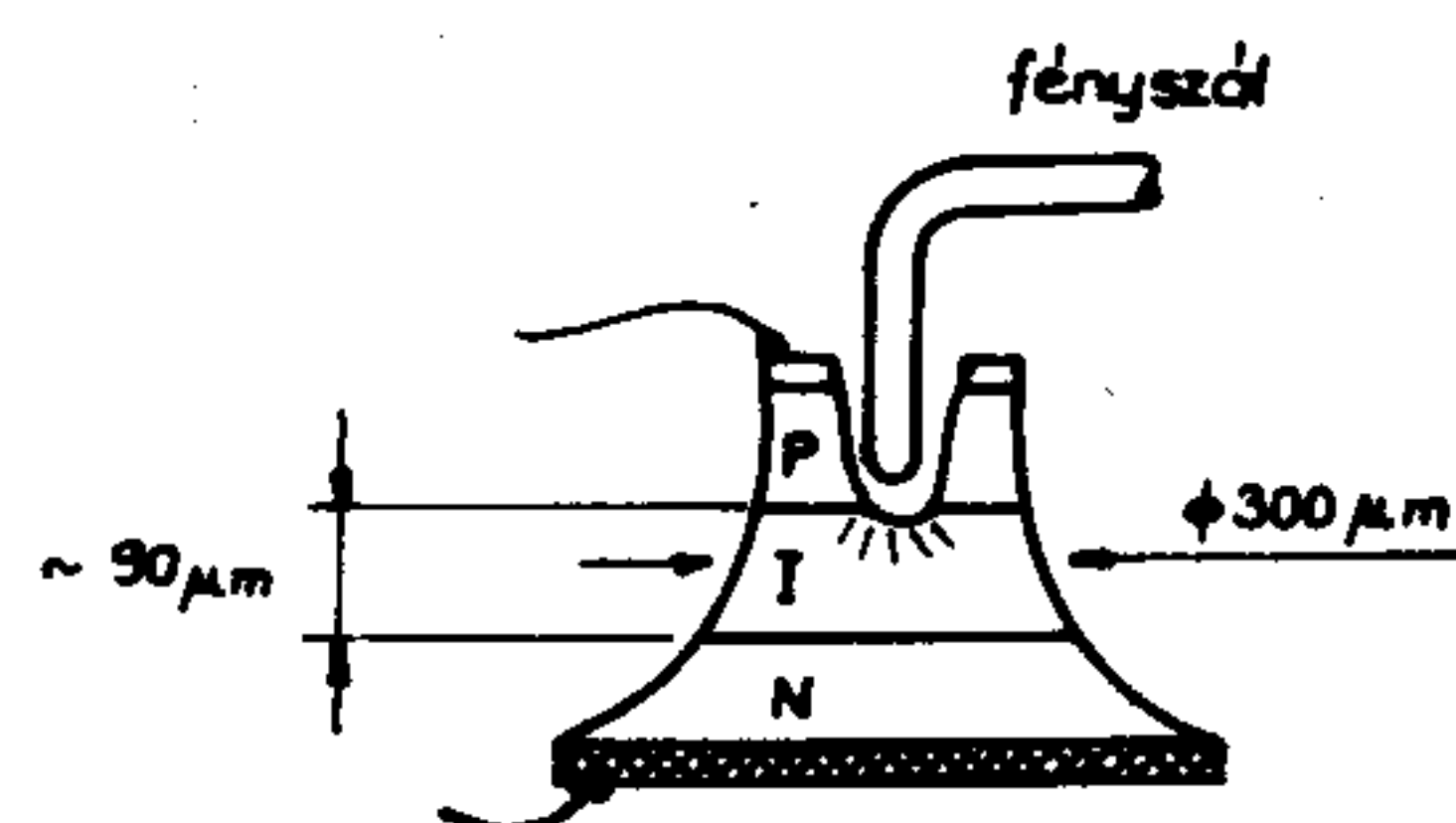
Ha viszont ekkor az I réteget fénygerjesztés éri, a fotogerjesztett töltéshordozók koncentrációja meg is haladhatja az I réteg saját töltéshordozóinak koncentrációját. Mérések tanúsítják^[11] és elméletileg is igazolható^[12], hogy ekkor a dióda kapacitása megnő, soros ellenállása viszont lecsökken. A 8. ábrán a megvilágításra alkalmassá tett dióda konstrukcióját, illetve az elektromos paraméterek megvilágítás hatására bekövetkező megváltozást mutatjuk be a szakirodalom^[11] alapján.

A dióda kapacitás megváltozása oszcillátorok hangolására (pl. Gunn oszcillátor esetében), indirekt optikai injektálására éppúgy alkalmazható, mint passzív áramkörök fázistolásának optikai vezérlésére.

Varaktor diódák esetében az adalékeloszlás olyan, hogy a feszültségtől erősen függő rétegkapacitás adódjék^{[2], [13]}. Ha a dióda egyenáramú előfeszítése nagy impedanciájú áramkörrel történik, az átmenetben ébredő fotofeszültség csökkenti a záróirányú előfeszültséget, amely egyben a rétegkapacitás növekedésével jár.

Ha a megvilágítás modulált fénysugárral történik, és a moduláció frekvenciájára nézve kis impedanciájú áramkör kapcsolódik a diódához, a dióda az áramkörbe fotoáramot injektál. Ilyen megoldással juttatható például optikai úton egy parametrikus erősítőbe a felerősítendő jel^{[14], [15], [16]}.

Hasonló elvű megoldást lavina-fotodiódákkal kapcsolatban is publikáltak^[17]. Ez esetben a lavina-fotodióda erősen nemlineáris karakterisztikáját egyben a vett optikai jel keverésére is felhasználják. Így a fotodióda és a keverő (vagy szélessávú erősítő) közötti szélessávú illesztési feladatok automatikusan elmaradnak. Mindezek eredményeképpen a hagyományos megoldáshoz képest javul a keverő jel/zaj viszonya.



8. ábra. Megvilágításra alkalmas PIN dióda elvi szerkezete, és az elektromos paraméterek változása a megvilágítás hatására

4. Passzív áramköri elemek optikai vezérlésének alapjai

E rövid áttekítésben csupán az alapelveket érintjük és csak olyan vezérlési lehetőségekre térünk ki, amelyek a leggyakrabban alkalmazott félvezető anyagainkkal (Si és GaAs) kapcsolatosak.

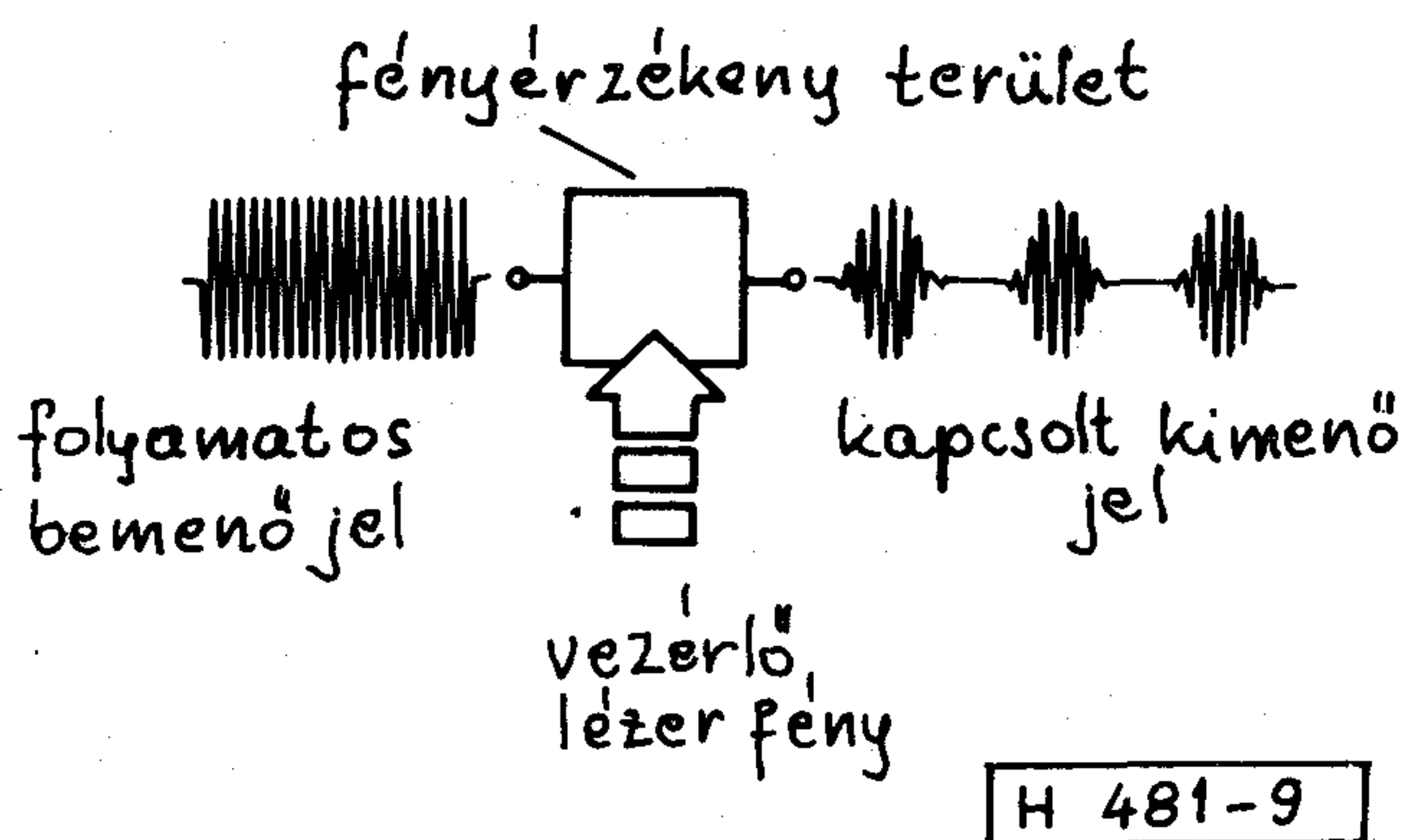
A *pikoszekundumos optikai kapcsoló* (POS)^[18] a félvezető anyagokban gerjesztéssel előidézhető igen erős vezetésmodulációt hasznosítja. Segítségével szélessávú mikrohullámú burst impulzusok állíthatók elő a kW/kV-os teljesítmény ill. feszültségtartományban^[19].

A POS eszköz működési elvét a 9. ábrán mutatjuk be. A gyakorlati megvalósítására a 10. ábrán mutatunk példákat. Az ábrán egy be- és kikapcsolható coplanar tápvonallal realizált kapcsoló mellett két planár megoldás látható, melyek közül az egyiknél a szerkezeti kialakítás biztosítja a mindkét irányú kapcsolás lehetőségét.

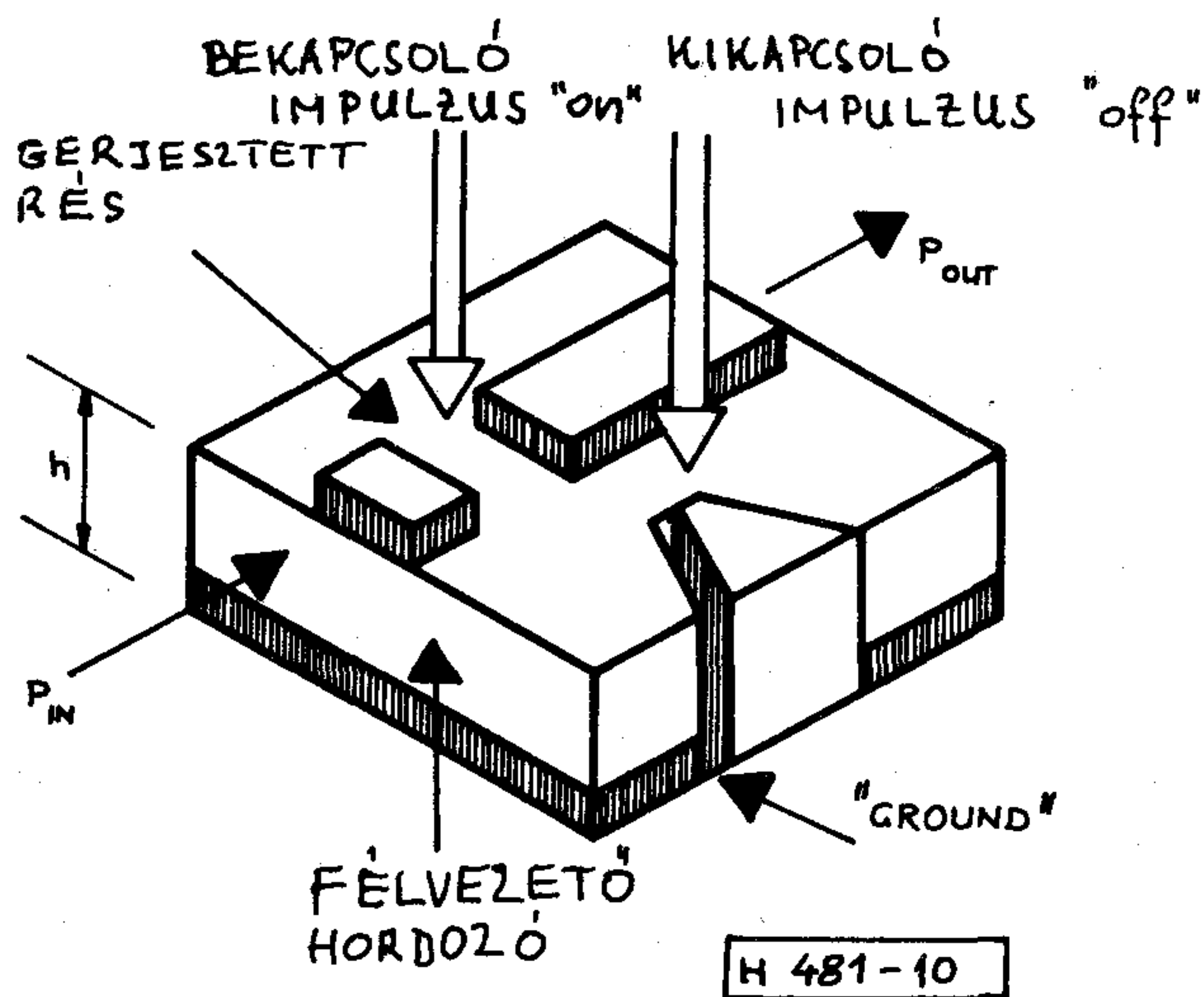
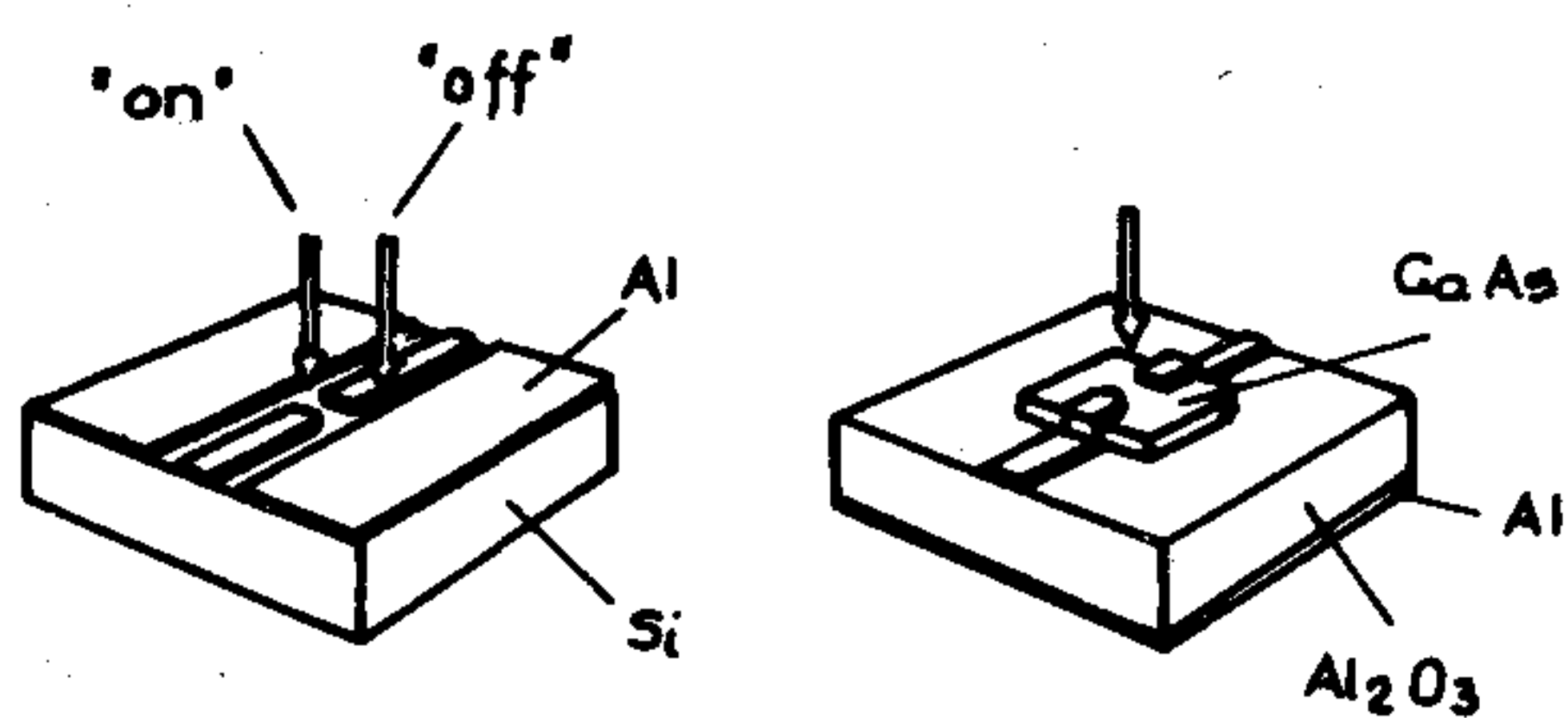
Szellemesen hasznosítja az abszorpciós hossz hullámhosszúságtól való függését Si esetében a 11. ábrán bemutatott megoldás^[20]. Ebben a 0,53 μm hullámhosszúságú fény a tápvonallal megszakításában felszínesen hoz létre nagy vezetőképességű réteget, miáltal a tápvonallal megszakítását mintegy rövidre zárja. Az 1,06 μm hullámhosszúságú fény abszorpciós hossza olyan nagy, hogy a szilícium hordozóban mélyen behatolva hoz létre vezető plazmát, és ezáltal a szabad tápvonallal végeket a tápvonallal alaplemezhöz köti.

Léteznek olyan megoldások is, amikor egy félvezető hordozón kialakított szalag-tápvonalas rendszer a tápvonallal merőleges síkban valahol „levágunk”, és a megvilágítást erre a merőleges felü-

letre vetítik. Így a tápvonal alatt az élnél nagy vezetőképes-ségű plazma keletkezik, amely a fény abszorpciója miatt a megvilágított felülettől távolodva egyre kisebb vezetőképes-ségűvé válik.



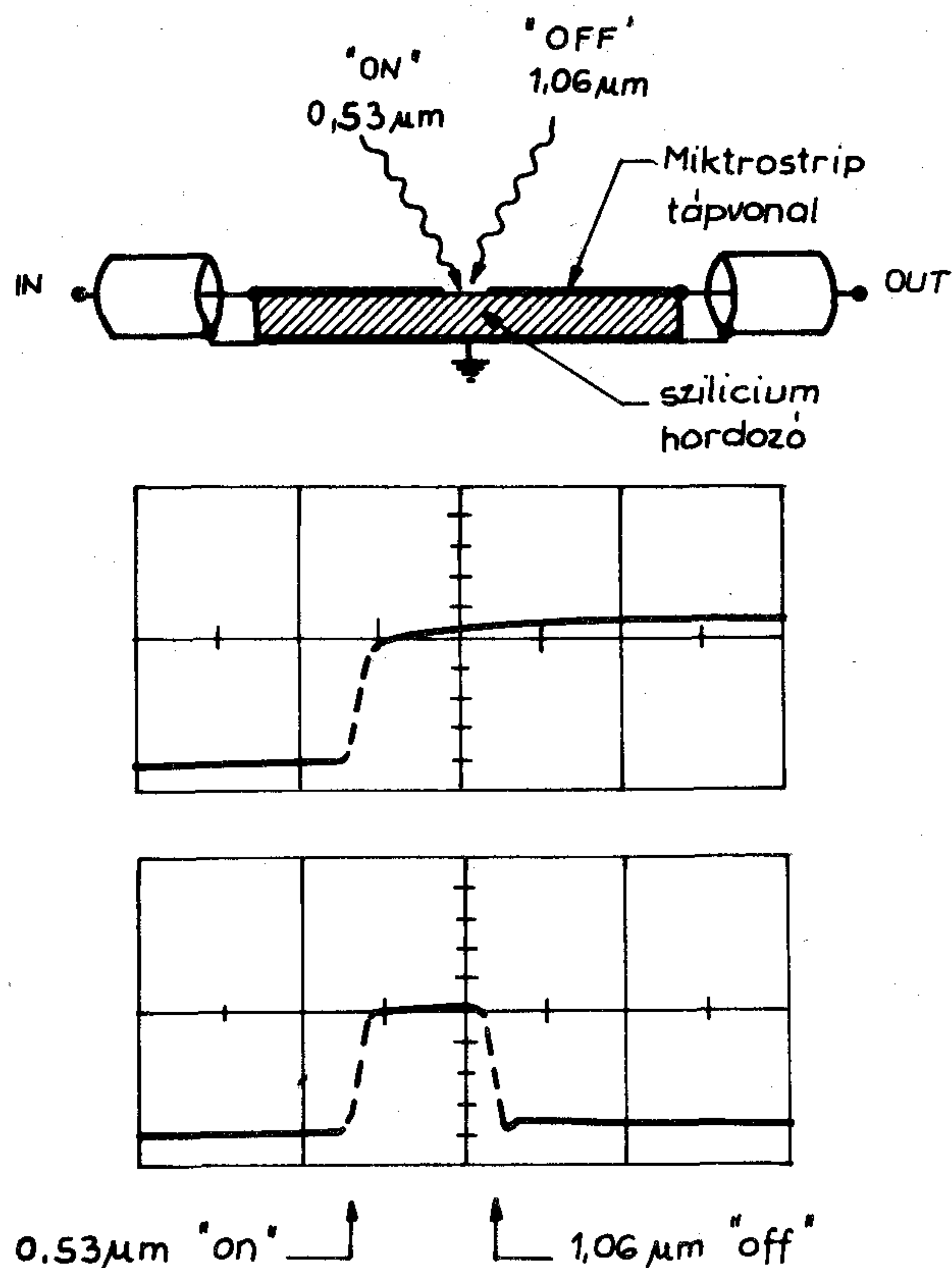
9. ábra. A pikoszekundumos optikai kapcsoló elve



10. ábra. Különböző pikoszekundumos sebességű optikai kapcsoló [18], [19]

Egy ilyen tápvonalszakasz a megvilágítással ellátott végén reflexiós típusú kapcsolóként működik.

Mikrohullámú integrált áramkörök (MMIC) passzív elemeinek optikai stimulálását az teszi lehetővé, hogy ezek monolitikus változatait legtöbbször félvezető GaAs rétegen planáris struktúra formájában alakítják ki. Így a felület tetszőleges helyein optikai gerjesztéssel nagy vezetőképes-ségű felületi réteg hozható létre [21]



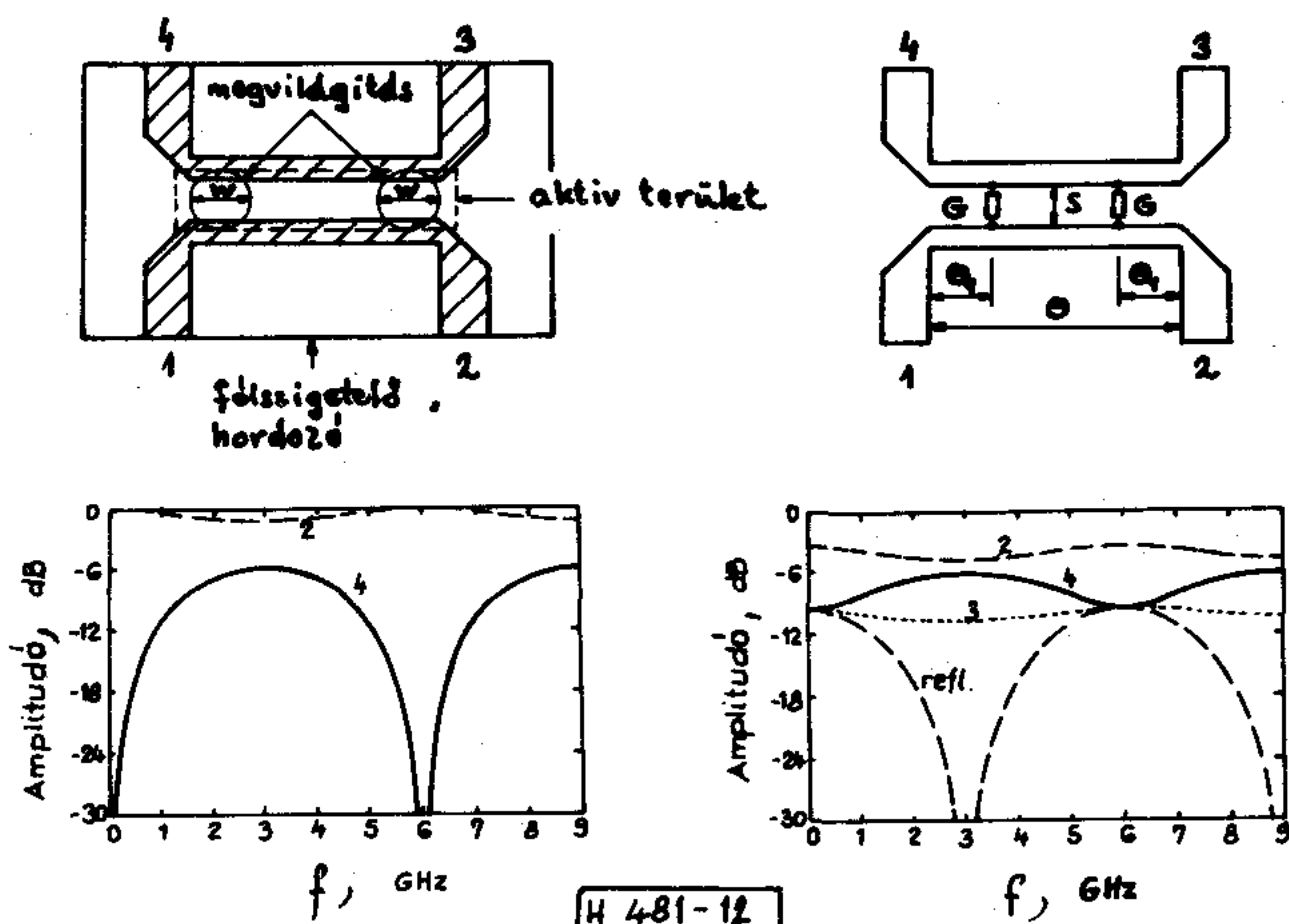
11. ábra. Kétféle hullámhosszúságú lézertény alkalmazása szilícium alapú pikoszekundumos optikai kapcsolóban [20]

A jelenség gyakorlati alkalmazásának illusztrálására a 12. ábrán mutatunk példát. A szimmetrikus iránycsatolóra vetített két fénypont a csatoló ágai között átvezetéseket hoz létre, ezek pedig az ábrán bemutatott változást okozzák a csatolási karakterisztikában [22]. A vezérlés analóg jellegű, és annak ellenére nagyon gyors, hogy a csatoló közötti résben nem uralkodik nagy térerősség, amely a generált töltéseket kihúzná. Ennek oka, hogy a Cr adalékolású félvezető GaAs-ben a töltéshordozó élettartam általában 1 ns alatt van, és így a rekombináció a vezetőképes-séget gyorsan megszünteti.

Az alkalmazások egy másik csoportja azt a lehetőséget aknázza ki, hogy a félvezető anyagok vezetőképes-sége igen széles határok között változtatható. A Cr adalékolása GaAs-et pl. félvezetővé (gyakorlatilag dielektrikum) teszi, de megvilágítással erős vezetőképes-ség idézhető elő.

Ilyen anyagokból készített rétegekkel hatékonyan befolyásolhatók a különböző hullámvezetők (és rezonátorok) elektromágneses téreloszlása.

Az említettekre vonatkozó egyik legérdekesebb példa adódik, ha a mm hullámsávban működő fém csőtápvonal keresztmetszetének egy részét ilyen félvezető anyaggal töltjük ki. A megvilágítással létrehozott plazma megváltoztatja a tápvonal térelosztását, és ezzel együtt változni fog a tápvonal fázistolása is^[23].



12. ábra. Szimmetrikus iránykapcsoló szerkezete, a megvilágítás hatásának modellezése felületi átvezetésekkel. A csatolási karakterisztikák változása a megvilágítás hatására. (Jobb oldali karakterisztika.)^[22] (A θ a megvilágított részek fázistolásban mért távolsága a bemenettől és a kimenettől mérve.)

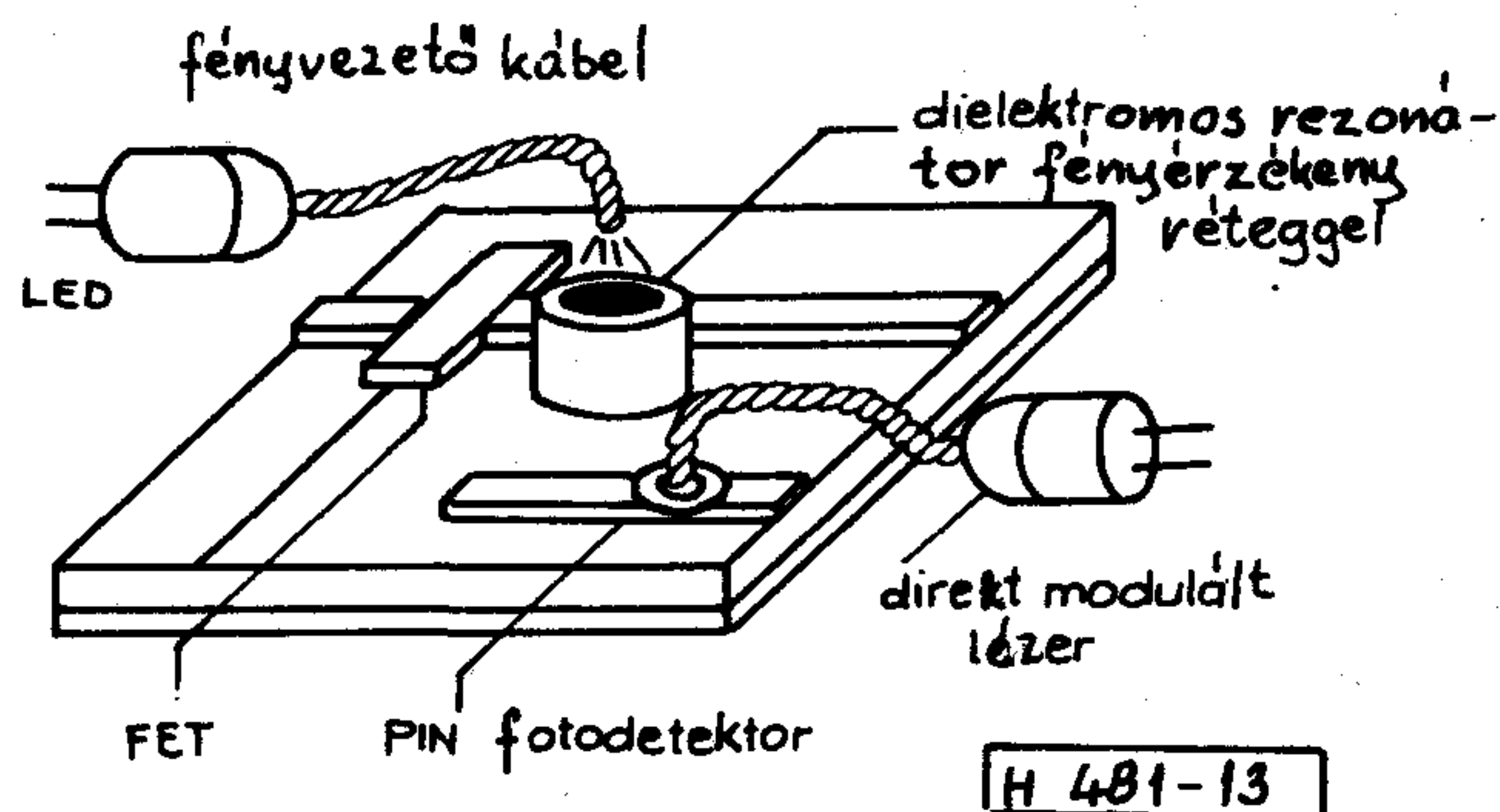
Egy további igen fontos lehetőség a dielektromos rezonátorokban kialakuló elektromágneses tér-eloszlás befolyásolása. Ez úgy lehetséges, hogy a rezonátor egyik sík lapját fényérzékeny félvezető anyaggal borítják, és a megvilágítást erre vetítik. Ilyen megoldásra mutatunk példát a 13. ábrán^[24]. A fény-vezérelt rezonátor kvantitatív analízise az irodalomban megtalálható^[12].

5. ÖSSZEGEZÉS

A mikrohullámú teljesítmény-forrásként gyakorta alkalmazott u.n. futási idő eszközökkel rendszerint csak mérsékelt sprektális tisztaságú jelek állíthatók elő, de az FM zaj az optikai injektálás módszerével jelentősen csökkenthető.

Az injektálás szűk sávon belül hangolhatóságot is biztosít.

Láttuk, hogy az IMPATT eszközökben a fény által keltett fotoáramokat a lavinafolyamat felerősíti, érzékenyebbé téve ezáltal az eszközt a fénnel történő injektálással szemben.



13. ábra. Optikailag hangolt FET DRO^[24]

A futási idő eszközöknél a fény jó hatásfokú bejuttatása és a jó hűtés egyidejű biztosítása megfelelő konstrukciós kialakítást igényel.

A TRAPATT oszcillátor esetében az impulzus él bizonytalansága, az ú.n. jitter jelentős mértékben csökkenthető az optikai injektálás révén.

Megvilágított PIN és varaktor diódákkal rendszerint hangolási feladatokat oldanak meg, de fényérzékeny félvezető réteggel ellátva, ilyen célra dielektromos rezonátorok is jól alkalmazhatók.

6. Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka a Budapesti Műszaki Egyetemen Mikrohullámú Híradástechnikai Tanszék irányításával, az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság támogatásával folyik. Számos hasznos beszélgetésért köszönettel tartozom Dr. Frigyes Istvánnak.

Irodalom

- [1] Dr. Gottwald, P.: A mikrohullámú félvezető eszközök optikai vezérlésének alapjai I. Híradástechnika XXXIX. évfolyam 12. sz., 1988. december, 529—535.
- [2] Dr. Gottwald Péter: Mikrohullámú félvezető eszközök. Műszaki könyvkiadó, 1985. Budapest.
- [3] Kurokawa, K.: Injection Locking of Microwave Solid-State Oscillators. Proc. IEEE, 1973. Vol. 61., pp. 1386—1410.
- [4] Yen, H. W.: Optical Injection Locking of Si IMPATT Oscillators. Appl. Phys. Lett., 1980. April, Vol. 36. pp. 680—683.
- [5] Kiehl, R. A.—Eernisse, E. P.: Control of TRAPATT Oscillations by Optically Generated Carriers. IEEE Trans. on El. Dev., 1977. March, Vol. ED-24., pp. 275—277.

[6] *Seeds, A.J. — Forrest, J.R.*: Initial Observations of Optical Injection Locking of an X-Band IMPATT Oscillator. *El. Lett.*, 1978. Dec., Vol. 14., No. 25., pp. 829—830.

[7] *Vyas, H.P. — et al.*: Leakage current enhancement in IMPATT oscillators by photoexcitation. *El. Lett.*, 1977. March, Vol. 13., No. 7. pp. 189—190.

[8] *Forrest, J.R. — Seeds, A. J.*: Analysis of the optically controlled Impatt (Opcad) Oscillator. *Solid-State and Electron Devices*, 1979. Sept, Vol. 3., No. 5., pp. 161—169.

[9] *Seeds, A.J. — et al.*: The Optical Control of IMPATT Oscillators. *J. of Lightwave Techn.*, 1987. March, Vol. LT—5., pp. 403—411.

[10] *Chin, C. — Freier, J.*: Frequency modulation of Impatt diodes by optical illumination. *IEE Proc.*, 1984. Febr., Vol. 131., Part I, pp. 28—30.

[11] *Daryoush, A.S. — Herczfeld, R.P.*: Optically controlled three terminal microwave PIN diode and its application. 1985. SBMO Int. 1. Microwave Symp., Campinas, paper No. 6.B.2., July, 1985.

[12] *Herczfeld, R.P. — et al.*: Optically controlled Microwave Devices and Circuits. *RCA Rev.*, 1985. Dec., Vol. 46., pp. 528—564.

[13] *Lee, T.P.*: Calculation of Cut off Frequency, Breakdown Voltage and Capacitance for Diffused Junctions in Thin Epitaxial Silicon Layers. *IEEE Trans. on El. Dev.*, 1966. Dec., Vol. 13., pp. 881—896.

[14] *Penfield, P. — Sawyer, D.E.*: Photoparametric amplifier. *Proc. IEEE* 1965. Apr., Vol. 53., pp. 340—347.

[15] *Gottwald, P.*: Comments on „Photoparametric Amplifier”. *Proc. IEEE* 1968. August, Vol. 56., pp. 1355—1356.

[16] *Gottwald, P.*: Fotoparametrikus erősítők. *Híradástechnika*, 1968. március, 19. évf. 79—84. old.

[17] *Kulczyk, W. — Davis, Q. V.*: The Avalanche Photodiode as an Electronic Mixer in an Optical Receiver. *IEEE Trans. on El. Dev.*, 1972. Nov., Vol. ED-19., pp. 1181—1190.

[18] *Platte, W.*: Optoelectronic Microwave Switching. *IEE Proc.* 1985. April, vol. 132., Part I pp. 126—132.

[19] *Sayadian, H.A. — et al.*: Generation of Kilowatt/Kilovolt Broadband Microwave Bursts With a Single Picosecond Photoconductive Switch. *IEEE MTT's*, 1987. Las Vegas, Nev. Dig., pp. 649—652.

[20] *Auston, D.H.*: Picosecond optoelectronic switching and gating in silicon. *Appl. Phys. Lett.*, 1975. Febr., Vol. 26., pp. 101—103.

[21] *Darling, R.B.*: Analysis of Microwave Characteristics of Photoconductive IC Structures. *J. of Lightwave Techn.*, 1987. March, Vol. LT-5. pp. 325—339.

[22] *Andersonn, J. — Eng, S.T.*: Analysis of a High-Speed Laser-Controlled Microstrip Directional Coupler. *Sol.-State El.*, 1987. Jan., Vol. 30., pp. 133—137.

[23] *Hadjicostas, G. — et al.*: Optically controlled millimeter wave phase shifter in a metallic waveguide. *IEEE MTT's*, 1987., Las Vegas, Nev., Dig., pp. 657—660.

[24] *Herczfeld, P.R. — et al.*: Optical tuning and injection locking of dielectric resonator oscillator. *SBMO Conf. on Microwave Technology*, 1985. Campinas, Brasil. Dig., pp. 293—297.



BERUHÁZÁS HELYETT – KÖLCSÖNÖZZÖN MŰSZERT!

DEVIZA NÉLKÜL is hozzájuthat a legkorszerűbb precíziós műszerekhez!

MEGTÉRÜL A KÖLCSÖNDÍJ, mert:

A megfelelő időszakban rendelkezésre álló, MÉRÉSAUTOMATIZÁLÁSRA is alkalmas korszerű műszerek használatával időt, munkaerőt, adót, amortizációs költségeket, javítási-karbantartási költséget takarít meg.

NE FELEDJE: egy műszer haszna a mérésekből – nem pedig a tulajdonjogból ered!

NE SZAPORÍTSA KIHASZNÁLATLAN ESZKÖZEIT!

ÓRIÁSI VÁLASZTÉK: oszcilloszkópok, multiméterek, jelgenerátorok, analizátorok, mérésadatgyűjtők, regisztrálók, analitikai-környezetvédelmi műszerek, rendszervezérlők, stb., stb.

ÁLL AZ ÖN RENDELKEZÉSÉRE!

FOGYÓANYAG, TARTOZÉK pótlás, – ugyancsak forintért!

LIZING LEHETŐSÉG: egyes műszer, vagy számítógép típusokra!

SZAKTANÁCSADÁS · HÁZHOZZSÁLLÍTÁS · BEMUTATÁS!

KÉRJE INGYENES KÖLCSÖNMŰSZER-KATALÓGUSUNKAT!

FELVILÁGOSÍTÁS, ELŐJEGYZÉS, ÜGYINTÉZÉS: 450-903 vagy 66-23-66/176 telefonon.
MTA MŰSZERÜGYI ÉS MÉRÉSTECHNIKAI SZOLGÁLATA MŰSZERKÖLCSÖNZÉSI FŐOSZTÁLY
Budapest XI., Szakasits Á. út 59-61. I. em. 107. szoba.
H-1502 Budapest Pf. 58



TARTALOMJEGYZÉK

1988
XXXIX. évfolyam

	szám	oldal		szám	oldal
ALMÁDI JÁNOS: Rendszerek megbízhatósági tervezése elektronikai alkatrészek megbízhatósági modelljeinek felhasználásával	9	407	DR. FARAGÓ ANDRÁS—LINDER TAMÁS—PIKLER TAMÁS—LUGOSI GÁBOR: A legközelebbi szomszéd osztályozási módszer algoritmikus problémáiról	8	337
R. AMADOR—A. POLANCO—A. LINARES—D. GALAN: Félvezető hőmérséklet-érzékelők linearizálása	7	325	FARKAS GÉZA: AM-96.5 D-digitális adatátviteli multiplexer 64 Kbit/s sebességű csatornához	9	403
DR. ÁBRAHÁM LÁSZLÓ: Kompatibilis IC-IM BUS rendszer	6	245	FAZEKAS KÁLMÁN: A digitális képkódolás fejlődési irányai	2	56
DR. ÁDÁM ANTAL—DONKÓ ZOLTÁN: Differenciál lézer doppler anemometria	2	80	FODOR GÁBOR—SOMOGYI GÁBOR: Digitális jelfeldolgozó-és mérőrendszer	12	554
BALÁZS PÉTER: TV. képjelregeneráló eljárás forráskódolók méréséhez	7	332	FÖLDVÁRINÉ OROSZ JULIANNA: Digitális jelfeldolgozó programcsomag ismertetése	2	84
DR. BALOGH ALBERT—DR. LAJTHA GYÖRGY—DR. MOLNÁR CSABÁNÉ—NÁNDORFINÉ DR. SOMOGYVÁRI MAGDOLNA: Szolgáltatások minőségének javítási folyamata	1	11	FROEMEL KÁROLY: Automatika "in-circuit" mérőrendszer alkalmazása	5	224
BAUMANN FERENC—DR. HALÁSZ EDIT—TIHANYI ATTILA—PAKSY GÉZA: PCMösszeköttetés korrektoinak számítógépes tervezése	3	104	GERGELY SÁNDOR: Értékelemzési munka a Telefongyárban	11	517
BÁNYAI ERVIN: Új eljárás szinkron fázisregiszteres vezérlő egységek tervezésére	1	19	GOLDSCHMIDT LÁSZLÓ: Markov-láncok állapotterének csökkentése állapotösszevonással	6	257
BÁRÁNYNÉ DR. SÜLE GABRIELLA—DR. GORDOS GÉZA: Anizokron távíró-és adatmultiplexer működési mintája	3	117	DR. GOTTWALD PÉTER: Mikrohullámú félvezető eszközök optikai vezérlésének alapjai I. rész	12	529
BENKŐ TIBORNÉ—DR. JÁVOR ANDRÁS—RÓMER MÁRIA: Digitális áramkörök szimulációs vizsgálata	10	436	GYALAI-KORPOS ISTVÁN: A HTE Telefongyári Csoportjának munkája az elmúlt években és célkitűzései a jövőre	3	141
BÍRÓ VIKTOR: Visszacsatolt oszcillátorok zajbecslése	6	251	DR. GYURIS ÁRPÁD—KLATSMÁNYI BÉLA—PINTÉR ISTVÁN: Adatátviteli csatornák start-stop torzításának automatikus mérése mikroprocesszoros rendszerrel	10	440
BOHUS MIKLÓS: VLSI áramkörök szimulációs problémái	1	31	HADA JÓZSEF: Analóg berendezések szolgálati rendszere	7	319
BORS LÁSZLÓ—KINCS ZSOLT—SZABÓ LÁSZLÓ—WEISZ TAMÁS: Kis fogyasztású 400 MHz-es digitális rádiórelé berendezés korszerű áramköri megoldásokkal	5	197	DR. HAINZMANN JÁNOS: Lokális hálózatok és korszerű áramköreik	2	63
BÖRÖCZKY LILLA: Rekurzív algoritmusú mozgás-kompenzált kódoló	4	179	HOLÉCZY GYULA—VÉZNER IMRE: TPV kapcsolómező modelláramkör oktatási célra	10	443
BUDAI ZOLTÁN: Telefongyári csoportos modemek	4	165	HORVÁTH IMRE—NEMCSICS ELEK: Digitális alközpontok használata KTV hálózaton, mint az ISDN egy megközelítése	1	27
DEMETER LAJOS—KAJDI LÁSZLÓ—KOLUMBÁN GÉZÁNÉ—KUHN TAMÁS—DR. REITER GYÖRGY: Újabb alkalmazások számára kidolgozott mikrohullámú szűrők ismertetése	5	220	HORVÁTH PÁL: A nem beszéd típusú szolgálatok és a fejlődés kapcsolata	8	353
DENK ATTILA—DR. FRIGYES ISTVÁN—DR. MOLNÁR BÉLA: Középfrekvenciás QPSK direkt fázisgenerátor	5	214	DR. HUSZTI GÁBOR—RAJKAI GYÖRGY: Az Integrált Szolgáltatású Digitális Hálózatok leírásai módszerei II. rész	1	1
DENK ATTILA: Közepes kapacitású 2 GHz-es analóg-digitális mikrohullámú rádiórelé rendszer	6	275	N. O. JOHANESSION: Hangossági mérték az átviteli tervezésben	12	536
DROMMER GYULA—DR. SOMOGYI ANDRÁS: Természeti energiák felhasználása rádiórelé berendezések tápellátásában. I. rész	2	76	KÁLDI TIBOR—SZENTIDAI KLÁRA: Mikroszámítógépes program logikai függvények minimalizálására	10	446
DROMMER GYULA—DR. SOMOGYI ANDRÁS: Természeti energiák felhasználása rádiórelé berendezések tápellátásában. II. rész	4	186	KÁLMÁN ISTVÁN: Saját fejlesztésű automatikus mérőrendszer TAM 1200 adatátviteli modem méréséhez	12	551
FAHÁZI JÁNOS—SRAUD VILMOS: SMT tapasztalatok az ORION-ban	5	228	KEMENES JÁNOS: Sokállomásos Kommunikációs adatgyűjtő és kijelző rendszer, mint előadótermi visszacsatoló berendezés	10	452
DR. FARAGÓ ANDRÁS—DR. GORDOS GÉZA—KOUTNY ILONA—MAGYAR GÁBOR—DR. OSVÁTH LÁSZLÓ: A VERBIDENT-SD-2 izolált szavas gépi beszédfelismerő	3	111	DR. KERPÁN ISTVÁN: A diszkrét konvolúció alkalmazásáról	2	49
			DR. KERPÁN ISTVÁN: A diszkrét Fourier-transzformációhoz	10	456
			DR. KOCSIS FERENC—MARX FERENC—DR. SOLYMOSI JÁNOS: Periodogram alapú spektrumbecslés korszerű digitális jelfeldolgozó mikroprocesszor felhasználásával	11	493

DR. KÓCZY T. LÁSZLÓ—TASNÁDI LÁSZLÓ—GUNYHÓ GÁBOR—GYURÓS TIBOR: Funkcionális tesztek a PRT berendezésben	2	71	SALLAI GYULA—SZEKERES BÉLA: Kína távközlésének jelene és fejlesztési tervei az ezredfordulóig	12	541
KOLLÁR JÁNOS: Mikroprocesszor vezérlésű univerzális irányító rendszer	7	303	DR. SIMON GYULA: A rezonátor elv általánosítása és harmonikus jelcsomagok detektálása kapcsolt kapacitású áramkörökkel	6	265
DR. KONCZ KÁROLY: Tisztelt Olvasó!	3	97	DR. SIMON GYULA: Analóg rezonátorok harmonikus jelcsomagok detektálására	11	501
KOVÁCS LÁSZLÓ: Múltunk, jövőnk, munkánk, életünk: az ORION	5	193	SINKA ENDRE—BALLABÁS SÁNDORNÉ—SZUHY PÉTER: Galván bevonatok forrasztathósága	5	232
DR. KOVÁCS OSZKÁR—ERDŐS ANNA: TCT 3720 távadatfeldolgozó processzor	3	127	DR. SONKOLY AURÉL—DR. SZÁRAZ GYÖRGY—DR. ZSOLDOS BÉLA: Nagyfrekvenciás hibrid integrált áramkörök	1	42
LAJKÓ SÁNDOR: "Az analóg-digitális, vegyes hálózatok átviteli tervezési szempontjai" szeminárium	11	511	STEFER SÁNDOR: A többcélú kábeltévé rendszerek létesítési kérdései	7	311
DR. LAJTHA GYÖRGY—SZOKOLAY MIHÁLY—DR. TÓFALVI GYULA: Nagysebességű digitális átvitel (tudományos helyzetkép)	4	145	SCHNÜRMACHER TAMÁS—DR. TEMESVÁRI ZSOLT: A CAD/CAM aktuális ipari és oktatási kérdéseiről	10	467
DR. LAJTHA GYÖRGY: A CCITT X/4. munkacsoportjának eredményei és célkitűzései	11	505	SZÁSZ GERŐ: Műholdas és kábeles televíziózás hazai sajátosságai	5	205
LAKATOS ERNŐ—LÓRODI ATTILA: "VIDEOTON" frekvencia-szintézeres hangolású rendszer HI-FI rádió vevőkészülékben	10	459	SZOBONYAI LÁSZLÓ: Új állapotelőírás a logikai szimulációban	4	175
LÁSZLÓ HAJNALKA: Nyolcadfokú digitális, kaszkád IIR szűrő tervezése	4	117	SZÓKE SÁNDOR—DR. TUZSON TIBOR: A MAD nagysebességű kombinációs 16.16+35 bites szorzó-összeadó alapcella és az erre épülő TMC201 OMAC szorzó-akkumuláló integrált áramkör	8	362
LENGYEL ENDRE: Műszerburkolatok	8	371	TAKÁCS LAJOS: Műhold vevő fm-egysége	9	411
MARTH GÁBOR: Robotirányítási algoritmusok vizsgálata	4	173	S.A. BIN THABET: PCM-ADPCM átkódolók	9	425
DR. MÁTAY GÁBOR: Aszimmetrikus szalagtápvonal jellemzőinek mérési módszerei	8	374	DR. TÓTH TIBOR: Az elektronizálás helyzete és fejlesztési feladatai az agrártermelésben	9	385
MEGYESI CSABA—GUDRA TIBOR: Nagysebességű digitális átviteltechnikai rendszerek fejlesztése a KGST-EDÁR együttműködésben	10	462	DR. UDVARHELYI GÁBOR—DR. PÖRNECZI TAMÁS: Hibrid integrált áramkörök a Telefongyár átviteltechnikai berendezéseiben	7	329
MIHÁLY SÁNDOR—DR. BOZSÓKI ISTVÁN: X-sávú szóródásmérő	6	271	VAJDA FERENC: Szuper-mikroprocesszorok és alkalmazásai	7	289
DR. MOJZES IMRE: A mikrohullámú technika első száz éve	12	563	DR. VÁGÓ ISTVÁN: Kilencven éves a Kandó Kálmán Villamosipari Főiskola	10	433
DR. MOLNÁR RUDOLF: Helyzetkép és perspektíva a hazai nem mikroelektronikai alkatrész-fejlesztésről	4	154	DR. VÁGÓ ISTVÁN: A TM és a TE módusú elektromágneses tér számításáról	10	466
NAGY FERENC—SCHNÜRMACHER TAMÁS: Korszerű mérőrendszerek alkalmazása a Telefongyárban	3	134	DR. VÁNYAI PÉTER—DR. BERCELI TIBOR—DR. FRIGYES ISTVÁN—MENG JÓZSEF—DR. RÁKOSI FERENC—DR. RÓNA PÉTER—DR. SZABÓ ZOLTÁN—TÓTH TAMÁS: Digitális kiskapacitású BGHz-es rádiórendszerek	8	356
NÁNDORFINÉ DR. SOMOGYVÁRI MAGDOLNA: A Használhatósági és Megbízhatósági terv	12	543	DR. ZOMBORY LÁSZLÓ: Az elektromágneses energia terjedése veszteséges közegben	6	241
NÉMETH GÉZA: Kötétt szótárú beszéd-szintetizátor távbeszélő-hálózathoz illesztett közszükségleti alkalmazása	9	388	ZSOLDOS GÁBOR: Nagysebességű FFT jelanalízis	10	472
NÓBIK LAJOS: A CCITT telefonvonalas adatátviteli szabványosítási tevékenysége és az ORION néhány eredménye	5	209	EGYÉB		
NYERGES ERNŐNÉ: Automatizálás a távközlésben	12	562	DR. VALKÓ IVÁN PÉTER	1	18
ÓCSAI LAJOS—KISS KÁSZLÓ—JÓZSA EDÖMÉR: Ipari robotok szervó vezérlő rendszere	8	342	Beszámoló a Lágymágneses Anyagok konferenciájáról (DR. SZTANISZLÁV DÁNIELNÉ)	1	25
DR. OLÁH FERENC: Új eljárások az esőintenzitások eloszlásának vizsgálatára	9	417	Harmadik nemzetközi hibátűrő számítástechnikai rendszerek konferencia (DR. CSOPAKI GYULA—DR. KÓCZY T. LÁSZLÓ)	1	26
PÁLFALVI JENŐ: VHS rendszerű orion PANASONIC képmagnó	4	159	AHTE 1987. évi Pécsi Alkatrész Szemináriumának határozatai	1	26
PÁSZTOR KÁLMÁN: Adatfeldolgozó berendezés ionérzékelő tranzisztorok méréséhez	4	181	BUDAI LAJOS	1	41
DR. PÁVÓ IMRE: Nullátor-norátor páros hálózatok megoldhatóságáról	9	393	Beszámoló a Fifth Workshop on Multidimensional Signal Processingről (FAZEKAS KÁLMÁN)	1	45
PETHES ISTVÁN: HR rádió berendezéscsalád	7	323	GADEST '87 (VANKÓ PÉTER)	1	46
PETRE PÉTER—DR. ZOMBORY LÁSZLÓ: Iterációs eljárások konvergenciájának javítása síkban periodikus foltszerű felületek szórás paraméterek számításánál	11	481	Review of Radio Science 1984-1986 (DR. ZOMBORY LÁSZLÓ)	1	46
PIRET ENDRE: Induktivitásmérő célműszer	5	236	Compfair 88-Nemzetközi számítástechnikai szakkonferencia	1	46
DR. PUNGOR ERNŐ: az Innováció, mint gazdasági előrehaladásunk fontos tényezője	12	559	1987. évi tartalomjegyzék	1	23
PURGER IMRE: A Telefongyárban folyó műszaki tevékenység	3	98	Tanfolyam a műszaki megbízhatóságról (DR. BALOGH ALBERT)	2	70
			1987' IEEE Information Theory Workshop (SOLYMOSI GÁBOR)	2	75

ICCT 87 — Kína	2	79	Könyvismertetés: Magyar szerző könyve Japán kiadásban (DR. AMBRÓZY ANDRÁS)	12	562
Beszámoló a Fórum '87-ről (HORVÁTH IMRE)	2	83			
Szeminárium, Gyártók és Felhasználók párbeszéde (KESSELYÁK PÉTER)	2	91			
Könyvismertetés: GÁBOR RIPKA—ISTVÁN HAJDÚ: Hybridschaltungen, Dünn- und Dickschichttechnologie, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1987. (DR. SOLYMOSI LÁSZLÓ)	3	126			
URSI XXII. közgyűlés (ZOMBORI LÁSZLÓ)	4	153			
Könyvismertetés: Fénytvádközlő rendszerek és elemeik. Szerkesztette: LAJTHA GYÖRGY és SZÉP IVÁN, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1987. (LAJKÓ SÁNDOR)	4	164			
Hogyan tovább...? ESSEDERC '87 (BÁRSONY ISTVÁN—KNAPP GÁBOR)	4	168			
Beszámoló a nyolcadik európai hálózatelméleti és áramkör-tervezési konferenciáról (DR. FÜLÖP TAMÁS—KOLUMBÁNGÉZA—DR. SZOLGAY PÉTER—DR. TÓTH TIBOR)	4	183			
Díjak kiosztása (213, 227, 231)	5	208			
Alkatrész generációváltás aktuális kérdései a REMIX-ben (GÖBLÖS JÁNOS)	6	268			
Elektronica '86 (DR. AMBRÓZY—HARTAI—DR. SZABÓNÉ—ZOMBORY)	6	254			
Távközlés a vasútüzemben konferencia (PAP JÁNOS)	6	264			
Elektronikai berendezések és készülékek biztonsága (SCHMIDT J.)	6	281			
Energialpari Távközlési Szemináriumról (HALÁSZ MIKLÓS)	6	282			
PKI Körkép '87 (DR. TÓFALVIGYULA)	7	314			
A folyamatirányítás és az automatizált berendezések intelligens mérőeszközeinek fejlődése és távlati fejlesztési irányai (DR. FOCK K.—DR. LACZHÁZI GY.—KISS B.)	9	409			
Beszámoló a VDI/VDE (NSZK) "Érzékelők technológiája és alkalmazása" szemináriumról (PÁSZTOR K.)	9	410			
Siemens látogatása a Távközlési Kutató Intézetben (DR. SÁRKÁNY T.)	9	410			
SUB Konferencia	9	392			
Egyesületi hír	9	392			
			HIRDETÉSEK		
			MTA MMSZ: Beruházás helyett-kölcsönözzön műszert	1	10
			MEV: A LINA-1 a MEV új terméke	5	223
			Mikromodul	6	283
			MEV: BF 964 N-csatornás két GATE-es MOS térhatású kiűrtézéses módú tetróda	6	284
			MTA: A műszerkölcsönzés világtendenciája	6	286
			ORION: SE 1025 sztereo erősítő, M8290 három-utas hangdoboz	6	244
			TESLA: LESANA 2	7	321
			BHG: közszükségleti antennák	7	321
			MTA MSZM: beruházás helyett-kölcsönözzön műszert	7	322
			ITEX: Lézeres rajzgép	7	328
			ITEX: Lézeres rajzgép	8	355
			BHG-URH-FM adórendszer	8	361
			Finomszerelvénygyár: MECMAN-svéd-magyar kooperáció	8	370
			MTA-MSZM: beruházás helyett kölcsönözzön műszert	8	373
			KONTAKTA: Elektronikus szövegszerkesztő rendszer	10	469
			Elektronika: Karakterisztika rajzoló és wobler generátor	10	470
			MTA	10	471
			KONTAKTA:	11	492
			MTA:	11	510
			Híradástechnikai Szövetkezet:	11	522
			Elektronika Szövetkezet:	11	500
			Finomszerelvénygyár:	12	535
			X-Byte:	12	553
			MTA:	12	568
			Híradástechnikai Szövetkezet:	12	570
			MEV:	12	567
			HEXT:	12	569

Lapunk példányonként megvásárolható:

az V., Váci utca 10. és

az V., Bajcsy-Zsilinszky út 76. szám alatti
hírlapboltban

Szigetelő rétegek félvezetőkön

DR. MIZSEI JÁNOS—DR. ZÓLOMY IMRE

BME, Elektronikus Eszközök Tanszék

ÖSSZEFOGLALÁS

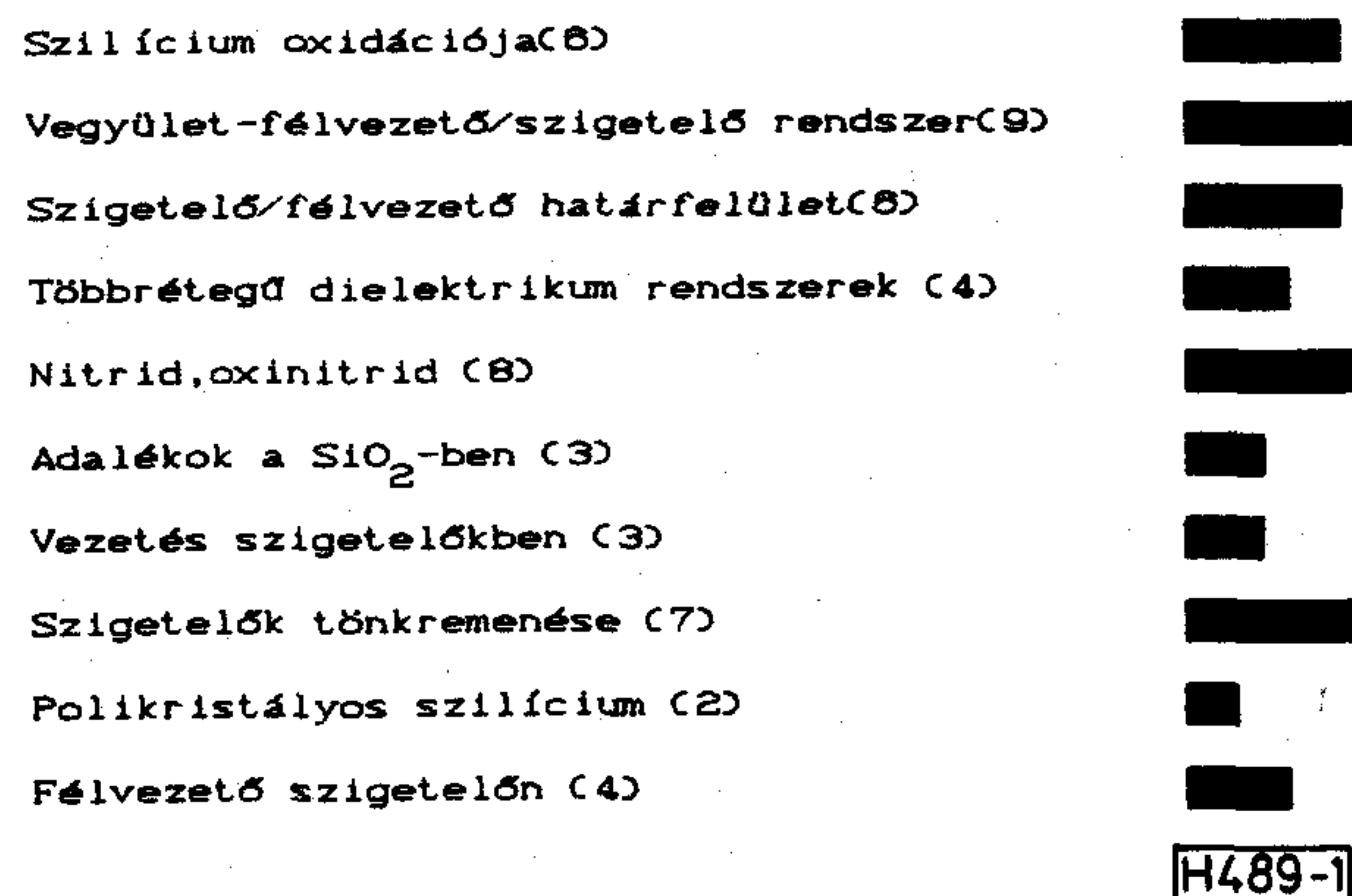
A cikk a félvezető-szigetelőréteg szerkezetek kutatásának legújabb eredményeit ismerteti a Leuvenben (Belgium) 1987-ben megrendezett „Insulating Films on Semiconductors” c. konferencia tükrében [1]. A konferencia elméleti jellegű volt, de szorosan kapcsolódott a félvezető eszközök fejlesztésében felmerülő kérdésekhez. A félvezető eszközök méretcsökkentése az eddig megszokott eredmények felülvizsgálatára, ellenőrzésére és pontosítására kényszerít, még az olyan, látszólag már teljesen feltárt területeken is, mint a SiO_2 -Si rendszer. Ugyanakkor megnő a jelentősége az olyan jelenségek vizsgálatának, amelyek eddig még elhanyagolhatók voltak az eszköz-működés szempontjából.

Bevezetés

A szigetelő-félvezető rendszerek tulajdonságai az integrált áramkörök számos pontján meghatározó jelentőségűek, de szinte minden félvezető-eszköz működése fő-, vagy mellékhatás jelleggel kapcsolatban van az ilyen rendszerekkel. Az eszközök tökéletesítése, a méretcsökkentés és a működés megértésének egyre növekvő fontossága indokolja a szigetelő-félvezető rendszerek kutatásába fektetett energiát.

A tématerület legátfogóbb konferenciája az INFOS (Insulating Films on Semiconductors), melyet 1987-ben ötödik alkalommal rendeztek meg. Ezúttal a Leuveni Katolikus Egyetem és az IMEC (Interuniversity Microelectronic Center) adott otthont a rendezvénynek.

A következőkben a konferencián szerzett tapasztalatainkat összegezzük, nem törekedve tel-



1. ábra. A konferencia témáinak számszerű megoszlása

Beérkezett: 1988. IX. 7. (H)

jességre, de kiemelve az általános érdeklődésre igényt tartó eredményeket. Ezek a neves nemzetközi kutatógárda által bemutatott új, vagy újra rendszerezett eredmények már a kilencvenes évek eszközfejlesztésének megalapozását adják, mind elméleti, mind gyakorlati oldalról.

A konferencia témáit, a témák számszerű megoszlását a 1. ábra foglalja össze.

1. A Si-SiO₂ rendszer

1.1 Oxidnövekedés szilíciumon

E.A. Irene felkért előadásában áttekintette az oxidnövekedés vizsgálatának legújabb eredményeit, és ezekkel új elképzelést ismertetett az oxidáció mechanizmusára.

Az oxidnövekedés ismert jellegzetessége az ún. lineáris-parabolikus szabály, ami szerint a vékonyabb oxidrétegek növekedése arányos az idővel, míg vastagabb oxidrétegek esetén a vastagsága növekedési idő négyzetgyökével arányos. Az átmenet a két tartomány között függ a hőmérséklettől. Ezen utóbbi esetben a növekedést az oxigénnek a SiO_2 rétegen való átdiffundálása korlátozza, így értéke az

$$F_1 = D \frac{dC}{dx} \quad (1)$$

képlettel adható meg. Az előző esetben a folyamatot korlátozó tényező nem diffúzió, hanem az oxigén reakciósebessége a szilíciummal a Si-SiO₂ határfelületen, mivel a vékony oxid miatt nagy a diffúziós áramlás. Ekkor a növekedést az

$$F_2 = kC_2C_{\text{Si}} \quad (2)$$

képlet írja le, ahol k egy állandó és C_2 ill. C_{Si} az oxid-félvezető határfelületen az oxigén és a szilícium koncentráció. Ha az oxigén koncentrációja a SiO_2 külső felületén C_1 továbbá állandósult áramlás esetén $F = F_1 = F_2$, akkor a fenti két egyenlet alapján írható, hogy

$$D \frac{C_1 - C_2}{d_{\text{ox}}} = kC_2C_{\text{Si}} \quad (3)$$

Ezen egyenletből C_2 -t kifejezve és visszaírva F_1 vagy F_2 kifejezésre adódik az eredő oxigénfluxus:

$$F = \frac{k C_{Si} C_1 D}{D + k C_{Si} d_{ox}} \quad (4)$$

Az oxigénfluxussal arányos az oxid növekedési sebessége, azaz

$$F = C' \frac{d}{dt} d_{ox} \quad (5)$$

Így egy differenciálegyenlet adódik, aminek megoldása

$$d_{ox} + \frac{k \cdot C_{Si}}{2 \cdot D} \cdot d_{ox}^2 = \frac{k \cdot C_{Si} \cdot C_1}{C'} \cdot t \quad (6)$$

Ha

$$d_{ox} < \frac{2D}{k \cdot C_{Si}} \cdot t \quad (7)$$

akkor a bal oldal első tagja dominál és az oxidnövekedés az idővel arányos, ha d_{ox} nagyobb ezen határértéknél, akkor a második tag dominál és

$$d_{ox} \sim \sqrt{t} \quad (8)$$

D és C_1 értékére az irodalomban található adatok. A lineáris tartományban a növekedési sebesség függ a fenti képlet alapján a szilícium atomok felületi koncentrációjától, így a felület kristálytani irányától is. Összehasonlítva az (110), (111) és (100) irányokat, a sűrűségekre a $C_{Si}(110) > C_{Si}(111) > C_{Si}(100)$ adódik. Atmoszférikus nyomáson, vízgőzös oxigénben az R növekedési arány valóban ezt a sorrendet mutatta, ugyanakkor nagy nyomású nedves oxidációra a sorrend $R(111) > R(110) > R(100)$ volt. Száraz oxidáció és néhány tíz nm-nél vékonyabb oxidok esetén az R -ek aránya megint egyezett a szilícium atomok sűrűségének arányával. Ugyanakkor vastagabb oxidokra megint $R(111) > R(110)$ adódott. Ez az ún. keresztvezési effektus. Ennek létrejöttét először az oxidban keletkező mechanikai feszültséggel magyarázták. Mivel a keletkező oxid térfogata több mint kétszerese az eredeti szilícium térfogatának, az oxidban és szilíciumban mechanikai feszültség keletkezik, ami az oxidban nyomó-, a szilíciumban a húzófeszültség: $\sigma = E \cdot \varepsilon$ ahol σ a feszültség, ε a fajlagos megnyúlás/összenyomás és E a Young-féle rugalmassági modulus. Ennek nagysága az egyes irányok szerint $E(111) > E(110) > E(100)$, tehát az (111) irányú felület esetén keletkezik a legnagyobb feszültség. Az utóbbi időben sikerült azonban megmérni a SiO_2 -ben keletkező feszültséget, ami meglepő módon éppen az (111) irányú szilícium esetén adódott a legkisebbnek. De talán éppen ezen kis feszültség miatt na-

gyobb az oxigén D diffúziós állandója az oxidban, s ez magyarázza (vastagabb oxidok esetében) a nagyobb oxidációs sebességet (111) orientációjú felületen. A kísérleti eredmények már arra mutatnak, hogy tovább kell fejleszteni az oxidáció folyamatáról alkotott elképzeléseinket. Erős fénnel megvilágítva a szeletet, az oxidációs ráta jelentősen megnőtt, ha a foton energiája 3 eV-nál nagyobb volt. Ha ezt egybevetjük az oxid-félvezető sávdiaagrammjal, azt kapjuk, hogy ez közel azonos érték az oxid-félvezető határon található 3.15 eV-os potenciál-gáttal. Ha a foton energiája meghaladja az 5 eV-ot, akkor újabb növekedés tapasztalható az oxidációs rátában. Ez az energia megfelel az O_2 molekula disszociációs energiájának. Szilicideken végzett oxidációs kísérletek azt mutatták, hogy az oxidációs sebesség és az elektronkoncentráció, illetve az optikai abszorpció együttható, ami az elektronkoncentrációval van kapcsolatban, azonos irányban változnak. Mindezek alapján az elektronok alapvető szerepe várható az oxidáció folyamatában. Ez a folyamat öt részből áll:

- elektronok termikus injekciója a SiO_2 -be,
- az oxidban lévő elektronok reagálnak az odadiffundált oxigénmolekulákkal O_2^- töltött molekulákat alkotva,
- a töltött O_2^- molekulák szétesnek egy semleges és egy töltött oxigén atomra, $O_2^- \rightarrow O + O^-$,
- ezek az oxigénatomok reagálnak a töltött szilícium atomokkal, $Si^+ + O + O^- \rightarrow SiO_2$.

A fenti folyamatok közül a legkisebb sebességű az elektronok injekciója, így ez határozza meg az oxidáció sebességét. A Richardson-Dushman egyenletből és az oxidációs sebességekből ki lehet számítani a potenciálgát magasságát. A számítás különböző oxidvastagságok esetén az alábbi értékeket adta:

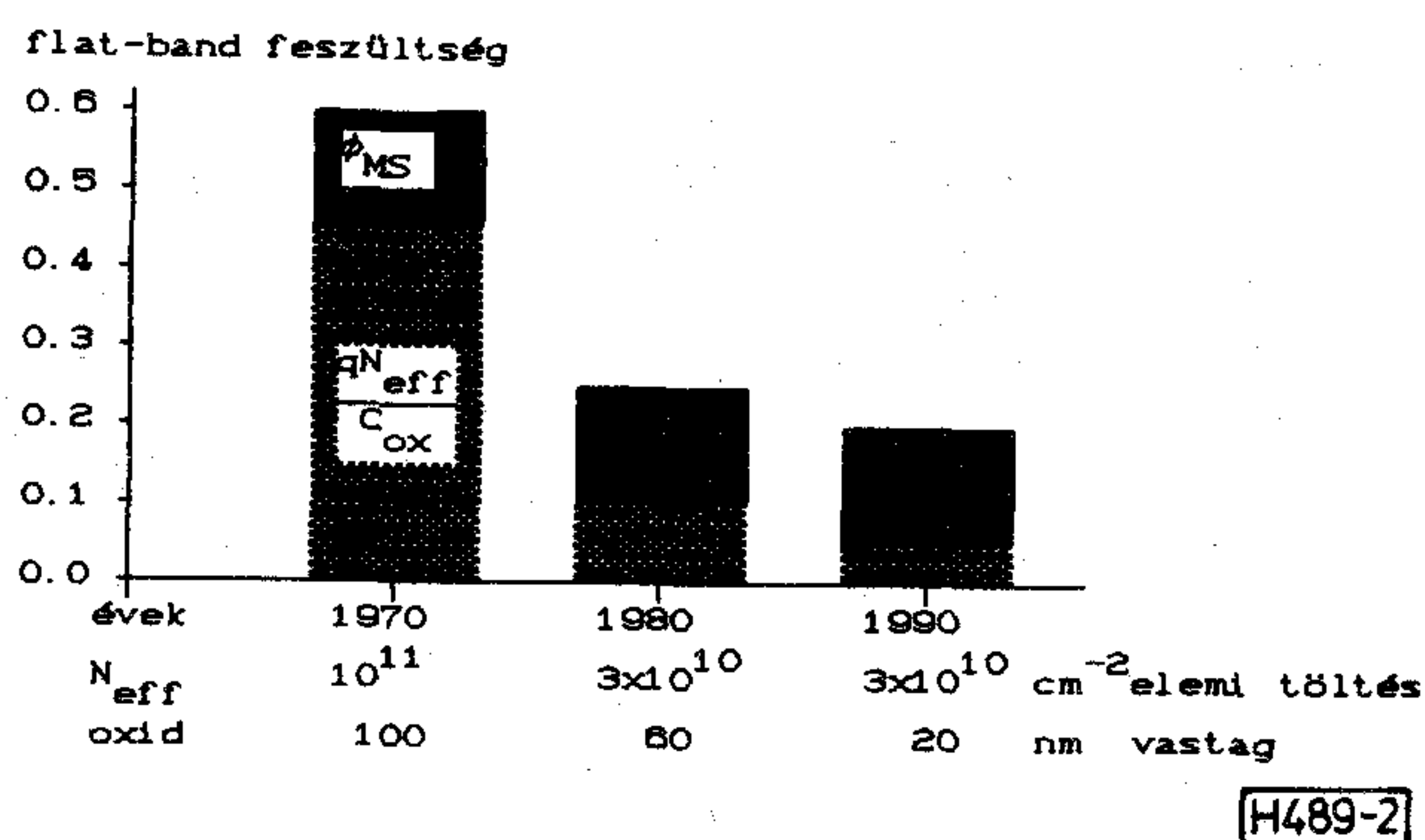
d_{ox} [nm]	2	2,5	7
χ_0 [eV]	2,87	2,92	3,35

Ezek aránylag jó egyezésben vannak az egyéb úton mért potenciálmagassággal. Vékonyabb oxidok esetén a gát magasságának csökkenése a tökörerőknek tudható be. A fenti modellel nem egészen összeegyeztethetők a Delarios által közölt kísérleti eredmények. Itt azt vizsgálták, hogy az oxidnövekedés előtti kémiai kezelés hogyan befolyásolja az oxidnövekedés sebességét. A szeleteket szabvány RCA tisztításnak vetették alá, ahol az utolsó lépés HF-ben végrehajtott maratás volt, ami elméletileg oxidmentes felületet ad. A szeletek egy részét ezután még NH_4OH -ban is kezelték. A HF-es maratás után 0,5–0,9 nm natív oxid maradt, az NH_4OH után pedig 1–1,5 nm-es oxidréteg. Ezután a szeleteket azonos kályhába helyezték, majd mérték az oxidréteg vastagságát az idő függvényében.

Azt tapasztalták, hogy az ammonium-hidroxiddal kezelt szeleteken kb. 10%-kal vékonyabb oxid nőtt, mint a csak HF-el kezeltelen, és ez a különbség megmaradt még 300—400 nm-es oxidvastagságok esetén is! Azaz a felületelőkészítési eljárás nem csak az oxidáció kezdeti fázisára van hatással, hanem egész menetére is. A vékony oxidokkal kapcsolatos további nehézségekre mutat rá Hofmann (IBM) előadása. A Si-SiO₂ határfelületen SiO alakul ki, a Si és a SiO₂ reakciójaként. Magas hőmérsékleten a SiO elpárologhat. Ez a folyamat különösen vákuumos kezelés esetén jelentős, 1000°C környékén. Ha csak SiO alakul ki, de még nem párolog el, akkor csökken a szigetelőréteg átütési szilárdsága, ha el is párolog, akkor a felületen oxidmentes foltok keletkeznek. Az oxidot 900—1000°C-on növesztették száraz oxigénben, vastagsága 50 nm volt. Kimutatták, hogy ezek az oxidmentes helyek egybeesnek a felületi diszlokációkkal. A diszlokációk keltésére implantációt használtak.

1.2. MOS rendszerek, SiO₂ elektromos jellemzői

Ami az oxidációs technológia fejlődésének közvetlen hatását illeti a MOS rendszerek alapvető jellemzőire, ezen a téren is töretlen a fejlődés. A kezdeti próbálkozások a MOS technológiában akkor jártak eredménnyel, amikor már sikerült olyan alacsony határfelületi töltést elérni a Si-SiO₂ átmeneten, hogy a rendszer flat-band feszültsége, ezzel együtt a nyitófeszültség is kisebb lett, mint az oxid átütési feszültsége. A kis tápfeszültségen is használható áramkörök iránti igény már a 70-es évek elején 1 volt alá szorította a flat-band feszültséget, de a meghatározó tag még mindig a határfelületi állapotsűrűség meglehetősen nagy és nehezen reprodukálható értéke maradt. A technológia fejlődése részint az állapotsűrűség csökkenését, részint az oxid vékonyítása miatt a felületegységre eső kapacitás növekedését eredményezte. Ezek következménye,



2. ábra. A kilépési munka és a felületi töltés, mint a flat-band feszültség összetevői

hogy a 90-es évekre a felületi állapotok sűrűsége egyre inkább elhanyagolhatóvá válik a flat-band feszültséget megadó összefüggésben, megnövekszik viszont a kilépési munkák különbségének jelentősége. A flat-band feszültség különböző összetevőinek egymáshoz viszonyított arányát mutatja a 2. ábra. A tapasztalatok szerint a kilépési munkák különbségére az általánosan ismert tényezőkön kívül (hordozó adalékolás, fémzés anyaga, technológiája) hatással van az oxidnövesztési technológia, a hordozó orientációja és az oxid vastagsága is.

Az előbbiek nem jelentik azt, hogy csökkenőben lenne a SiO₂-Si határfelületi állapotaira irányuló kutatások intenzitása. A hagyományos C—V módszereken túl új módszerek bevezetése is folyik erre a területre (DLTS, állandó hőmérsékletű tranziens spektroszkópia, elektron-spin rezonancia, zajmérések, megvilágítás hatására bekövetkező fizikai változások vizsgálata.).

A SiO₂ réteg tulajdonságainak javítására különböző technológiák útján nitrogént visznek be a rétegbe. Ennek hatására nő a réteg átütési szilárdsága, sugárzással szembeni ellenállóképessége, jobban maszkolja az adalékok és a szennyezések diffúzióját, míg a kitűnő minőségű SiO₂-Si határfelület rendszerint érintetlen marad. Jobban oda kell figyelni viszont az ilyen oxidok alkalmazásakor a különböző vezetési mechanizmusokra, mert a nitrogénezett SiO₂ lényegében MNOS rendszer, amelyben a töltéstranszport és töltéstárolás szerepe nagyobb. A nitrogénezett SiO₂-ben nagyobb vezetési áramot tapasztaltak mind a Fowler-Nordheim, mind pedig a Pool-Frenkel emisszió következtében. Ez arra utal, hogy a nitrogén a felületi viszonyok módosításán kívül a SiO₂ térfogati csapdasűrűséget is megnöveli.

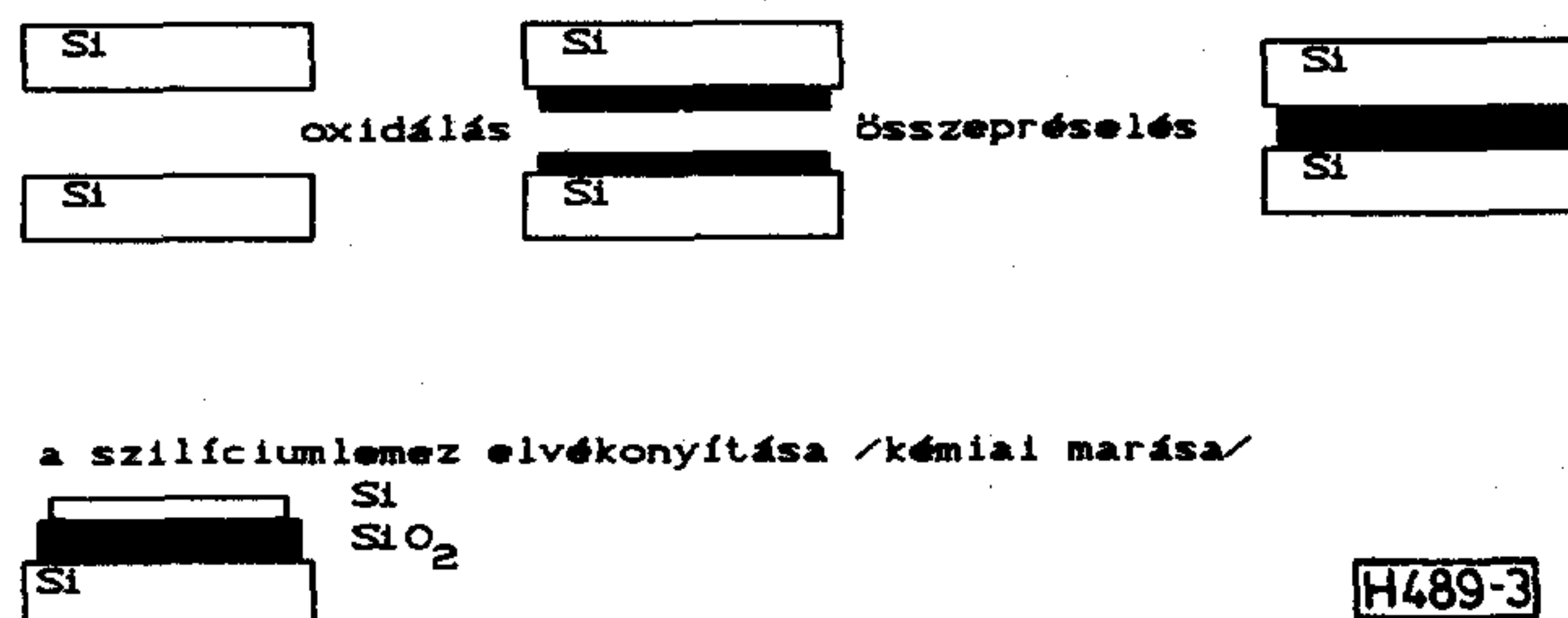
2. A szilícium-dioxid szerepe a technológiában

A planár technológia alapvető jellemzője a szilícium-dioxid, mint maszkoló réteg, felhasználása a diffúziós és implantációs műveletekhez. A technológiai lépések számának növekedése és a számítógépes technológiai modellezés fejlődése, valamint az egyre gyakrabban alkalmazott III—V félvezető-SiO₂ rendszerek jobb megismerésének igénye szükségessé tette az adalékok (III. és V. csoport elemei) SiO₂-ben való diffúziójának beható vizsgálatát. A diffúziót jellemző számszerű adatok mellett sikerült tisztázni a diffúziós mechanizmusokat, az egyes elemek és a szilícium-dioxid közötti kötések szerepét, de számos egyéb jelenség (például a több elem együttes diffúziója, diffúzió nagyon kis koncentrációk esetén) még nincs kellő mértékben földerítve.

Jelentős szerepet kap a szilícium-dioxid az egyes áramkörü elemek elszigetelésében. A tökéletes szigetelés érdekében meg kellett oldani az eltemetett oxidréteg létrehozását, annak érdekében, hogy az oxid teljesen körülvehesse az elszigetelni kívánt elemeket. A szigetelőre epitaxiálisan leválasztott egykristályos szilíciumréteg, nagy oxigén dózis implantálása Si hordozó mélyebb rétegeibe, valamint oxidált egykristályos szilícium lemezek közvetlen összetapasztása jelentik a feladat megoldását.

Az implantált oxigént tartalmazó szilícium hordozókban megfelelő hőkezelés után kellően éles határfelületeket és 10^5 cm^{-2} -nél kisebb diszlokáció sűrűséget lehetett elérni. Az alacsony diszlokáció sűrűség titka a SiO_2 -Si határfelület közelében kialakuló, rendezett precipitátum-hálózat, amely megakadályozza a hőkezelés során bekövetkező diszlokáció kinövéseket abban, hogy a technológia szempontjából fontos felületi tartományokat elérjék.

Az oxidált szilícium lemezek összetapasztása (SDB: silicon direct bonding technológia) meglehetősen új, éppen ezért még nem egészen kidolgozott eljárás. Olcsósága, hajlékonysága, a rétegek jó minősége várhatóan ipari alkalmazásra is megfelelővé fogja tenni. A mozgékony és a kisebbségi töltéshordozók élettartama egyaránt megközelíti a tömbi viszonyokra jellemző értékeket. A technológia folyamatát a 3. ábra mutatja vázlatosan. Kidolgozták a szilícium hordozó és kvarclemezek közvetlen összekötésére alkalmas eljárást is, a hőtágu-



3. ábra. SDB technikai egykristályos Si-SiO₂-Si rétegszerkezet létrehozásához

lasi együttthatók különbözősége azonban komoly nehézséget jelent a technológiai alkalmazás során.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak a Budapesti Műszaki Egyetem, a Híradástechnikai Tudományos Egyesület és a konferencia szervezők által nyújtott támogatásért, amellyel lehetővé tették a konferencián való részvételüket.

IRODALOM

[1] INFOS 87, Proceedings of the Fifth International Conference on Insulating Films on Semiconductors, Ed.: G. Declerck and R. de Keersmaecker, Leuven, Belgium, 13—15. april, 1987. (Konferencia kiadvány, illetve rövid kivonatok).

ISTN 88, 6. ITC szeminárium

1988 szeptember 12. és 16. között a Kínai Népköztársaság fővárosában, Pekingben rendeztek meg a 6. ITC szemináriumot. A rendező a HTE kínai partner szervezete a China Institute of Communication volt a pekingi Postai és Távközlési Egyetem és ITC (International Teletraffic Congress) támogatásával. A három nap alatt 15 országból mintegy 80 előadás hangzott el, zömmel kínai, USA-beli, francia, hong-kongi és japán előadóktól. Latin-Amerikából és Afrikából senki. Kelet-Európából pedig csak Magyarországról egy fő (Kámán László, BHG) vett részt.

A konferencián a következő fő területek szerepeltek:

- alap kutatás, matematikai rendszerek
- digitalizáció és az ISDN
- hálózattervezés
- a piac és a forgalom előrejelzése

- távközlő rendszerek
- kapcsolástechnikai rendszerek

A szeminárium során a résztvevők megismerhették a kínai távközlés múltbeli fejlődését, jelenlegi helyzetét, és a jövőre vonatkozó fejlesztési terveket. A legfejlettebb országokban az ISDN megvalósulását mutató folyamatokból pedig felrajzolódott egy világ méretű intelligens távközlési hálózat létrehozásának lehetősége is. Szóba került azonban a fenti folyamatot akadályozó politikai tényezők szerepe is.

A konferencia-kiadványt a regisztrációnál, a kiegészítéseket pedig a hét folyamán vehették át a résztvevők. Hasonló számú kislétszámú szeminárium évenkénti megtartását továbbra is tervezi az ITC.

Kámán László

Beszámoló az ISCAS '88 konferenciáról

Az IEEE által évenként szervezett Symposium on Circuits and Systems konferenciát ebben az évben június 6. és 9. között rendezték meg a finnországi Espoo Otaniemi nevű városrészben, a Helsinki University of Technology épületében. A részvétel szempontjából a konferencia minden eddigi ISCAS rendezvényt felülmúlt: 44 országból több mint 1100 szakember vett részt a konferencia munkájában. A beküldött mintegy 1200 előadásból 694-et fogadtak el a rendezők. Az előadások három napon át 12 párhuzamos szekcióban folytak, a zsúfolt programban összesen 141 szekcióülés szerepelt.

A konferencia széleskörű áttekintést adott a hálózatalmélet különböző részterületein folyó kutatások legújabb eredményeiről. Az egyes témakörök aktualitását jól mutatja a 141 szekcióülés téma szerinti megoszlása:

Digitális szűrők és jelfeldolgozás	37
Jelfeldolgozás alkalmazásai	8
A — D és D — A konverterek, interfész áramkörök	9
SC hálózatok	7
Adaptív szűrők	7
Aktív szűrők	4
Analóg IC-k, nagysebességű félvezetős áramkörök	3
Analóg áramkörök modellezése és szimulációja	11
Számítógépes áramkör tervezés	12
Hálózatalmélet alapproblémái	8
Nemlineáris hálózatok	10
Kommunikációs és mikrohullámú áramkörök	13
Hibadetekció	5
Erősáramú rendszerek hálózatalméleti problémái	7

Összesen 38 ország szakemberei tartottak előadást, az USA 227, Japán 68, az NSZK 46, Anglia 35, Kanada 31 előadással szerepelt. Magyarországot erős szakmai delegáció képviselte. A Magyar Tudományos Akadémia, a Budapesti Műszaki Egyetem és a Távközlési Kutató Intézet kiküldöttjei 11 előadást tartottak, aktívan résztvettek az előadásokat követő vitákban, jól hasznosították a konferenciához kapcsolódó rendezvényeket és laboratóriumi látogatásokat a szakmai kapcsolatok mélyítésére és új kapcsolatok kialakítására.

Több szekció foglalkozott a digitális szűrők tervezési és realizációs kérdéseivel. A FIR szűrőkkel kapcsolatos számítástechnikailag hatékony tervezési eljárások fő irányvonalait mutatta be A.T. Fam és T. Saramäki áttekintő előadása, amely egyrészt a rész-szűrőkre bontáson alapuló tervezési módszereket, másrészt a többféle mintavételi sebességet alkalmazó eljárásokat ismertette. A FIR szűrő rész-szűrőkre bontásának kétféle megközelítése ismeretes. Az első módszer szerint azonos késleltetésű tagokból építik fel a szűrőt, a másik változatban különböző késleltetésű szűrő elemeket alkalmaznak. A felbontás előnye az egyes rész-szűrőkre vonatkozó specifikációs követelmények enyhülésében jelentkezik. A különböző késleltetésű elemekből felépülő rendszernél az egyes rész-szűrők átmeneti tartománya lesz az eredő átmeneti tartománynál lényegesen szélesebb, az azonos késleltetésű blokkokból felépülő szűrő esetén azonos frekvencia viszonyok mellett az elemek áteresztő és zárósávi ingadozásaira adódik enyhébb követelmény. A többféle mintavételi sebességet alkalmazó tervezési eljárással foglalkozott T.A. Ramstad és T. Saramäki előadása, melyben keskeny átmeneti sávú FIR szűrők megvalósítására többszintű és többütemű realizációt javasoltak. K. Estola érdekes javaslatot tett egy rekurzív rész-szűrőt tartalmazó FIR szűrő struktúrára, melynél a nyereség a FIR szűrő együttműködési között fennálló rekurzív kapcsolatból adódik.

Az IIR szűrők esetén a kisérzékenységgű, határosszcilláció mentes realizációt biztosító tervezési eljárások álltak az érdeklődés középpontjában. Ezek között is kiemelkedő helyet foglalnak el a hullámdigitális szűrők. K. Chen, L. Wanhammer és T. Saramäki szimmetrikus, hullámdigitális létraszűrő tervezési módszerét ismertették, amely mind az áteresztő- mind a zárósávban kedvező érzékenységgel rendelkezik. A szimmetrikus létraszűrő realizációjához frekvenciafüggő feszültségvezérelt áramgenerátorokat alkalmaznak. E. Watanabe és társai rácsszerkezetű (lattice) hullámdigitális alaptagok T-kaszád elrendezésével kialakított digitális szűrők szintézisét ismertették, amely egyrészt kis érzékenységet eredményez, másrészt pipeline-típusú processzálást tesz lehetővé. A módszer a reflexiós mátrix faktorizációján alapul, ez biztosítja a T-kaszád típusú realizációt, ami a pipeline feldolgozás feltétele.

A tervezési módszerek mellett több szekció is foglalkozott a digitális szűrők megvalósítási kérdéseivel. A. Lacroix áttekintő előadása a lebegőpontos aritmetikát alkalmazó megvalósítások problémáit tárgyalta. Részletesen ismertette az aritmetikai műveleteket, a kvantálási hiba és a túlsordulás jelenségét, végül a dinamika tartomány számításával és a határosszcilláció kérdéseivel foglalkozott. U. Savagerd kis bitsebességű hangfrenkvenciás kódoló rendszertervét ismertette, amely lebegőpontos aritmetikát alkalmazó rácsszerkezetű hullámdigitális szűrőkből épül fel. U. Kleine és T.G. Noll nagysebességű hullámdigitális szűrők megvalósításáról számoltak be, melynél a mintavételi frekvencia növelését carry-save aritmetika alkalmazásával érték el. Leeb F. és Henk T. FIR szűrők amplitúdó-fáziskarakterisztikájának együttes approximációjára rekurziós eljárást ismertettek.

A többütemű digitális jelfeldolgozás alapkérdéseiről P.P. Vaidynathan előadása adott áttekintést, tárgyalta a decimálás és interpoláció problémáit, foglalkozott a polifázisú struktúrákkal és a szűrőbankok megvalósításával. H. Göckler N-csatornás FDM jel digitális demultiplexálására mutatta be a polifázisú módszer továbbfejlesztett változatát. A többütemű digitális szűrők témakörében érdekes előadások hangzottak el a FIR szűrők Lagrange-multiplikátor módszeren alapuló tervezéséről, valamint a FIR szűrőbankok diszkrét frekvencia- és időtartománybeli analíziséről.

Az amplitúdó és fázis együttes approximációjával több előadás foglalkozott. H. Baker és M. O'Malley FIR szűrők amplitúdó és fáziskarakterisztikájának együttes approximációjára mutattak be új módszert, mely tetszőleges típusú FIR szűrőre alkalmazható, de különösen hasznos kvázi-mindent átteresztő korrektorok tervezésében. Példaként egy elliptikus FIR szűrő futási idejének kiegyenlítését ismertették. Két előadás foglalkozott nem minimálfázisú hálózatok karakterisztikáinak együttes approximációjával. I.H. Zabalawi az áteresztősávban egyenletes ingadozású amplitúdót és maximális laposságú futási időt állított elő, a futási idő és a zárósávi amplitúdó karakterisztika megfelelő kialakítását az átviteli zérusok alkalmas megválasztása biztosítja. Földváriné Orosz J., Henk T. és Simonyi E. nem minimálfázisú hálózatok együttes approximációjára ismertettek iterációs eljárást, melyben az amplitúdó és fáziskarakterisztikát felváltva közelítik.

Habár a konferencia szekcióinak jelentős része a digitális jelfeldolgozás gondolkörében mozgott, a nagy sebességű valós idejű jelfeldolgozás területén (A/D, D/A átalakítás, szűrés) az analóg technika továbbra is elengedhetetlen, illetve perspektivikus. Természetesen itt azokat az áramkör technikákat

kutatják, amelyek monolit integrálhatók és ezek közül is különösen azokat, amelyek lehetővé teszik analóg és digitális működésű áramkörök ugyanazon chipen történő integrálását. A téma jelenlegi állapotáról és a perspektivikus fejlődési irányokról Temes professzor tartott áttekintő előadást és a rész kérdésekkel számos szekció foglalkozott.

Az A/D és D/A átalakítók sebessége a szubmikron bipoláris, a nagyfelbontású CMOS és a GaAs technológiák bevetésével növelhető a Ms/s tartományból a Gs/s tartományba, 4–8 bit felbontás mellett. Itt különösen érdekesnek tűnik a GaAs heterojunction bipoláris tranzisztorok (HBT) alkalmazása. A felbontás korlátainak tágítása a technológia és az ehhez illeszkedő áramkör technika jelentős fejlesztését igényli. A nagyfelbontású (16 bit) A/D átalakítók számára az ismert $\Sigma - \Delta$ eljárások tovább finomítása és az integrált CMOS megvalósítás látszik a legjobb megoldásnak.

Az integrált analóg szűrők területén továbbra is az SC technikán alapuló megoldások dominálnak. Az SC technika GaAs technológiára történő kiterjesztése 10 MHz-es jeltartományban működő integrált szűrőket eredményezett. A bemutatott új tervezési módszerek és áramkörök célkitűzése egyrészt az érzékenység csökkentése, másrészt olyan topológiák kidolgozása, amelyek lehetővé teszik nagyfrekvenciás, illetve szigorú specifikációjú szűrők megvalósítását, valamint az összegkapacitás (chip-felület) csökkentését. Számottevő törekvések vannak az SC szűrők automatizált számítógépes tervezésére is.

Az SC hálózatok témakörében analízis eljárásokról, tervezési módszerekről, ezeket segítő programokról és komplett tervező rendszerekről hangzottak el előadások. A nagyfrekvenciás alkalmazásokra való törekvés miatt fontos szerepet kapott a nemideális SC áramkörök vizsgálata.

A. Opal és J. Vlach a WATSNAP programcsomagot ismertették, mely alkalmas a kapcsolók veszteségeinek és a műveleti erősítők véges erősítés-sáv szélesség szorzatának figyelembevételére. A program a frekvencia tartománybeli transzfer függvény mellett a transzfer függvény elemértékekre vonatkozó érzékenységet is meghatározza.

J. Silva — Martinez és E. Sanchez-Sinenco SC szűrők tervezésére mutattak be szisztematikus eljárást, melyben a szokásos bilineáris transzformáció helyett a bikvadratikus tényezőkre bontott transzfer függvényben szereplő egyes frekvenciafüggő tagokra különböző típusú frekvencia transzformációt alkalmaztak, majd járulékos zérusok elhelyezésével állítják be a specifikációnak megfelelő frekvencia karakterisztikát. Az eljárás eredményeként a transzfer függvény zérusainak száma a bilineáris leképezéshez képest csökken és így a szűrő meg-

valósításához a szokásosnál kisebb össz-kapacitás szükséges.

G.S. Moschytz és társai SC szűrők szintézisére és a szűrő integrált áramköri megvalósításához szükséges maszktervek elkészítésére szolgáló tervező rendszert ismertettek. A tervezett szűrő maximálisan 16-od fokú lehet, a megvalósítás gate array típusú, 3 mikronos CMOS technológiával. Az eljárást három példával is illusztrálták.

J. Mulawka és társai előadásukban új SC struktúrák generálására és vizsgálatára szolgáló számítógépes eljárásról számoltak be, melyben a struktúrák generálását PROLOG nyelven írt program végzi, amit szimbolikus analízis követ. Az eljárás felhasználását új, nagyfrekvenciás alkalmazásoknál előnyös SC integrátor kialakításának példáján mutatták be.

W.J. Wolski a neminvertáló SC integrátor analízisének eredményei alapján a műveleti erősítő frekvencia-függőségéből és nemlinearitásából adódó korlátozó hatásokat vizsgálta.

Y. Fukui és társai a klasszikus LDI és bilineáris leképezések kombinálásával adódó új S-Z transzformációt javasoltak, mellyel a transzformált frekvenciatengelyek torzulásából adódó eltérés lényegesen kisebb, mint az alkalmazott egyedi transzformációk bármelyikében. Az új transzformáció alkalmazását másodfokú aluláteresztő SC szűrő tervezésének példáján mutatták be.

Tóth L. és Simonyi E. általános RSC hálózatok analízisére adtak eljárást, melyben a transzfer függvényt mátrixexponenciálisok számításával határozzák meg. Ezen túlmenően a hálózat stabilitásának feltételét is megfogalmazták.

K. Suyama és S.C. Fang periodikus vezérlésű nemlineáris SC áramkörök állandósult állapotának meghatározására szolgáló időtartománybeli analízis hatékonyságának javítására újfajta mennyiség bevezetését és számítását javasolták.

Az ún. állandósult állapot-diszkriminátor az időtartománybeli megoldás tranziens összetevőjének fokozatos csökkenésére jellemző mennyiség, mely az analízis leállításának feltétele lehet. Megfelelő optimalizációs eljárással kiegészítve az állandósult állapot-diszkriminátorra alapozott analízisben jelentős gyorsítás érhető el.

D.G. Haigh és J.T. Tylor az SC hálózat átkapcsolási tranziense alatt létrejövő nemlineáris töltés injekció hatására kialakuló torzítás analízisével foglalkozott. A vizsgálat eredményeire alapozott áramköri javaslatuk lényeges torzítás csökkenést eredményez.

H. Matsumoto és K. Watanabe frekvencia-feszültség, illetve feszültség-frekvencia konverterek SC elemek felhasználásával történő kialakításáról adtak számot. A javasolt megoldások érzéketlenek a

parazita kapacitásokra és jelentős dinamika tartomány mellett kis méretben nagy pontossággal realizálhatók.

Z. Quian és Z. Shen a diszkrét idejű SC integrátorokban alkalmazott műveleti erősítők véges erősítés-sávszélességszorzatának hatását kompenzáló megoldásra tettek javaslatot. Az eljárással a műveleti erősítő erősítésére vonatkozó érzékenység zérussá tehető és emellett az erősítő kisfrekvenciás zaja is számottevően csökken.

Több előadás foglalkozott speciális jelfeldolgozási funkció, így pl. decimátorok, interpolátorok, konverterek és modulátorok SC áramkörökkel történő megvalósításával.

Az analóg szűrők integrált áramköri megvalósításában a mintavételes SC realizációk mellett jelenleg is fontos szerepük van a folytonos működésű szűrőknek, melyek mentesek a mintavételes szűrőknél fellépő jel és zaj visszalapolódási jelenségektől. Elsősorban a CMOS alapú, műveleti erősítőkből és kondenzátorokból felépülő ún. OTA-C áramkörök állnak az érdeklődés előterében. Ezeknél nehézséget jelent az, hogy az időállandók pontos beállítása meglehetősen bonyolult onchip szabályzás megvalósítását igényli. A kutatás előterében áll az eszközök nemlinearitásából eredő problémák megoldása is.

Az integrált analóg jelfeldolgozó áramkörök területén elért kutatási eredményeket elsősorban a tömeges igényekkel jelentkező távközlési alkalmazásokban használják (kodek, modem, DTMF jelzés, FM rádió vevő). Az orvosi elektronika szintén fontos alkalmazási terület, ahol a kis méret és kis fogyasztás, az alacsony jelszintű áramkörtechnika, és a kis zaj a legélesebb követelmények.

A speciális aktív szűrők témakörében két előadás keltett különös érdeklődést. Az egyik J. D. Rhodes leeds-i professzor előadása volt, aki a lineáris frekvencia transzformációt megvalósító rendszerekről beszélt. Lineáris frekvencia transzformációjának nevezte azokat a rendszereket, amelyek a bemeneti és kimeneti jel pillanatnyi frekvenciája között lineáris kapcsolatot teremtenek. Ilyenek pl. a keverők, a frekvencia sokszorozók és frekvenciaosztók, a limiterek és oszcillátorok. Ezek az áramkörök a bemeneti jelre nemlineáris transzformációt, a bemeneti jel pillanatnyi frekvenciájára azonban lineáris transzformációt valósítanak meg. Az előadó a nemlineáris áramkörökben létrejövő frekvencia-változás lineáris módszerekkel történő vizsgálatát egy oszcillátor és egy adaptív sávszűrő példáján mutatta be. A szekció másik kiemelkedő előadását Y. Tsividis és L. Fu tartotta az erősen inverz tartományban működő MOS tranzisztorok kis- és nagyjelű működését egyaránt figyelembevevő elosztott paraméterű jellemzőkről. Bemutatták az aktív RC

áramkörök kizárólag tranzistorokat tartalmazó reprezentációját. Az összefüggéseket egy 100 MHz-es integrált aluláteresztő szűrő példáján elemezték.

N. Fujii és S.K. Mitra egyszerű aluláteresztő-felüláteresztő transzformációt mutatott be RC hálózatokra. A hagyományos transzformáció során $2n$ darab áramköri elem változtatására van szükség, míg a javasolt módszerrel csak egyetlen ellenállást és egyetlen kapacitást kell megváltoztatni.

Nagy érdeklődés kísérte a szimulációs programokkal foglalkozó szekció előadásait. H.C. Lin és S.P. Chiang előadása az elosztott kapacitással rendelkező ellenállásoknak a SPICE programban történő modellezésével foglalkozott. Az ellenállást nyitóirányban előfeszített diódával modellezték, melynél a frekvencia négyzetgyökével arányos áramot feltételeztek, a kapacitás modelljéül záróirányban előfeszített diódát választottak, melynek feszültsége a frekvenciával arányos. A terhelő ellenállás teljes modelljét a két dióda párhuzamos kapcsolása alkotja. Ez a modell az eddig alkalmazott, RC szakaszokból felépülő modellhez képest gyorsabb számítást tesz lehetővé. A SPICE programhoz kapcsolódott P. Gubian és M. Zamella előadása is, akik egy fejlesztés alatt álló szakértői rendszert (AUSPICE) ismertettek, melynek feladata a SPICE programmal végzett analízisek esetleges eredménytelenségének kiküszöbölése. Az AUSPICE rendszer először a feladat kitűzését ellenőrzi abból a szempontból, hogy nem várhatók-e problémák a DC, illetve tranziens analízis konvergenciáját illetően. Szükség esetén a rendszer a feladat módosítására vonatkozó javaslatot ír ki a monitorra. Eredménytelen analízis esetén kérdés-felelet formájában ad konzultációs lehetőséget és az analízis részeredményeinek figyelembevételével tesz javaslatot segédparaméterek (hibakorlát, időlépték, stb.) módosítására, illetve a program algoritmusában meglévő elágazási lehetőségek célszerű kihasználására. A szakértői rendszer személyi számítógépen és a DEC VAX típusú nagygépen is használható.

P. Odrina vegyes, analóg és digitális elemeket tartalmazó hálózatok szimulációjára szolgáló programrendszert ismertetett, amely a vegyes szimulációhoz szükséges algoritmusokat egységes adatbázisú rendszerbe foglalja össze, és így szükségtelessé teszi, hogy az áramkört részekre bontva szimuláljuk. A digitális szimuláció végrehajtása rendszer, funkcionális áramkör, vagy kapu szinten történhet. Az analóg szimuláció direkt módon a SPICE programmal végezhető.

A. Liberatore és S. Manetti személyi számítógépre készült szimbolikus analízis programot ismertettek, amely a módosított csomóponti módszeren alapul.

Érdekes új szimulációs rendszert mutattak be olasz kutatók. A PENELOPE elnevezésű szimulációs rendszer főleg CMOS áramkörökhöz készült, a logikai hálózatot egy Petri-hálózathoz hasonló gráffal jellemzi, amely mind a hálózat igazságtábláját, mind a jelek továbbítására szolgáló információkat tartalmazza. A PENELOPE rendszer a hálózat késleltetéseinek pontos modellezését teszi lehetővé. Az IBM kutatói logikai hálózatok kapcsoló szintű szimulációjával foglalkoztak előadásukban. Az általuk ismertetett eljárás az ismert módszereknél lényegesen gyorsabb analízist tesz lehetővé.

A konferencia munkájában jelentős szerepet kapott a nemlineáris hálózatelmélet kérdéseinek tárgyalása. Két önálló szekcióülés foglalkozott az elektronikus áramkörökben fellépő káosz jelenségekkel. A kaotikus hálózatok témakörében a konkrét áramköröket tárgyaló esettanulmányok mellett az előadások foglalkoztak a kaotikus viselkedést mutató áramkörök osztályozásával és vizsgálták a káosz elkerülésének, a rendszer stabilizációjának lehetőségeit. Az előző évben tartott ECCTD'87 konferencián az M. Hasler professzor által szervezett — a nemlineáris rendszerek kaotikus működésének problémáival foglalkozó — szekció keretében élénk vita folyt a numerikus és analitikus módszerek alkalmazásának lehetőségeiről. A vitában kialakult vélemény szerint a numerikus módszerek alkalmazhatósága a véges kerekítési hiba miatt elvileg is kétségbe vonható. Valószínűleg ez a vita is hozzájárult ahhoz, hogy a kaotikus jelenségek vizsgálatában az analitikus módszerek szinte egyeduralmukodóvá váltak.

Nagy érdeklődést váltott ki R. Liu és V. Raman előadása, mely azt a kérdést vizsgálta, hogy egy adott kaotikus viselkedést mutató nemlineáris rendszerhez milyen feltételek mellett rendelhető hozzá olyan kompenzáló hálózat, mellyel a kaotikus működés egyértelműen elkerülhető. Érdekes volt Z. Liu és társainak előadása, akik egy kaotikus jellegű mutató leképezést használtak fel bináris, álvéletlen sorozatok generálására. A. Azzouz és M. Hasler olyan új módszert mutattak be, mellyel a másodrendű, nemlineáris, nemautonom rendszerek megoldásainak konvergenciatartománya határozható meg, a megoldás zárt alakban történő előállítása nélkül.

Külön szekció foglalkozott a fáziszárt hurkok témakörének kutatási eredményeivel. J. Gridniewicz és munkatársai a varsói egyetemen évek óta foglalkoznak az elsőrendű mintavételező fáziszárt hurkok autonóm modelljének vizsgálatával. Előadásukban a korábbi években elért eredményeiket tekintették át és azokat egy megépített, a 0,2 — 2 KHz sávban működő mintán végzett mérésekkel igazolták. Ugyanehhez a munkacsoporthoz tartozik B. Swidzinska, aki előadásában elsőrendű, ideális

mintavételező fáziszárt hurkok szinkronizációs tartományait határozta meg az ún. rotációs szám felhasználásával. Ebben a szekcióban hangzott el Kolumbán G. előadása, aki a valóságos mintavevő-tartó áramkör tulajdonságait is figyelembe véve dolgozta ki a mintavételező fáziszárt hurkok frekvenciatartománybeli analízisét. Eljárása lehetővé teszi az SPLL áramkörök modulációs és zaj jellemzőinek meghatározását. A Sklorz a fázis/frekvencia detektort és töltéspumpa áramkört tartalmazó fáziszárt hurkok állandósult állapothoz közel eső viselkedését újszerű linearizált differenciaegyenleten alapuló modell alapján vizsgálta. Az áramkörnek a pozitív és negatív fázishibára mutatott eltérő viselkedését kiegészítő függvénnyel vette figyelembe. T. Endo és L.O. Chua egy katalógus alapján megépített PLL FM demodulátor áramkörben vizsgálta a káosz jelenségének kialakulását. A szerzők Melnyikov módszerére támaszkodva elméletileg bebizonyították és mérésekkel is igazolták, hogy a kaotikus állapot a gyakorlatban is felléphet az áramköri paraméterek széles tartományában. Az előadás legnagyobb értéke abban áll, hogy első ízben sikerült a kaotikus állapot fellépését kimutatni, nem a káosz generálására tervezett áramkörben. H. Hikawa és S. Mori egy újfajta fázisakkumuláción alapuló fázis/frekvencia detektort és az ezzel megépített, 10 MHz-es frekvenciasávban működő frekvenciaszintetizátort ismertetett. A digitális elven működő fázisdetektor a szokásosnál rövidebb átkapcsolási időt és alacsonyabb zavarsszintet eredményez. O. Nakajima S. Mori professzor vezetésével új adaptív többszintű kvantált fázisdetektort (AMPC) fejlesztett ki digitális fáziszárt hurkokhoz. Az új detektor a szokásos áramkörökhöz képest jóval nagyobb befogási tartományt és kedvezőbb dzsitter elnyomást biztosít. W.J. Jones előadásában egy X-sávú direkt működésű digitális és analóg szintetizátor elemekből felépülő frekvenciaszintetizátor rendszert ismertetett, mellyel igen rövid (5 usec-nál kisebb) frekvenciaváltási idők érhetők el.

A szélessávú illesztés témakörében négy előadás hangzott el különböző szekciókban. H.J. Carlin és P.P. Civalieri az erősítés-sávszélesség szorzatra vonatkozó felső korlátot vizsgálta nem unilaterális tervezérlésű tranzisztoros erősítő esetén. Ha a visszacsatolás negatív, az erősítés-sávszélesség szorzat felső korlátjának maximuma van az eszköz egyenáramú meredekségének függvényében. Pozitív visszacsatolás esetén az erősítés-sávszélesség szorzatot semmi sem korlátozza. Ez az instabilitás lehetőségére utal. A tervezérlésű tranzisztort három kapacitással és egy vezérelt áramgenerátorral modellezték, a pontosabb korlátok megadásához részletesebb modell szükséges. Y. Zhu és W.K. Chen veszteségmentes, lezárt kétkapu bemeneti

reflexiótényezőjére vonatkozó tételeket közölt, amelyek a szélessávú illesztés analitikus és számítógépes megoldásában lehetnek hasznosak. B.S. Yarman és A. Fettweis komplex generátor- és terhelőimpedancia szélessávú illesztésének problémáját oldotta meg a Brune-függvények részlettörtekre bontott kifejezésének felhasználásával. A módszer a korábban H.J. Carlin által kidolgozott „real frequency” módszerrel azonos előnyökkel rendelkezik közvetlenül a mért adatokból kiindulva, szélessávú illesztőhálózatok topológiáit és ellenértékeit szolgáltatja.

Y. Wu, Y. Su és P. Zhang a veszteséges szélessávú illesztőhálózatok analitikus elméletének alapjait dolgozta ki. Feltételezték, hogy az illesztőhálózat minden kapacitása (induktivitása) egyenletes veszteségű. A feladatot új frekvenciaváltozó bevezetésével oldották meg. Módszereik lényegében Youla analitikus módszerének továbbfejlesztése, ezért az abban fellépő modellezési és approximációs problémák itt is felmerülnek.

Két teljes szekció foglalkozott a nagyfrekvenciás eszközök modellezésével, ezekből csak néhány előadást ragadunk ki.

J. Zimmermann és társai mikrohullámú távvezérlésű tranzisztorok modellezéséről készítettek áttekintést. Három féle csoportba tartozó modelleket vizsgáltak, a Monte Carlo v. részecske-modellt, a Poisson és a folytonossági egyenletek kétdimenziós megoldását és az egyszerű, analitikus modelleket. A részecske-modellnek nagy előnye, hogy eddig figyelembe nem vett fizikai jelenségeket is könnyen lehet kezelni a segítségével. Figyelemre méltó az előadás írott változatának végén található 48 referencia, amely az elmúlt három év minden jelentős, idevonatkozó eredményét tartalmazza.

R.R. Pantoja és társai GaAs térvezérlésű tranzisztorok egyenáramú és nagyfrekvenciás szimulációjára kidolgozott módszerüket ismertették. A módszer a kétdimenziós analízisen alapszik, ügyes egyszerűsítésekkel, melyek a felhasznált gépidő 1000-szeres csökkentését tették lehetővé. Alkalmazási példaként 0,5 μm -es gate hosszúságú térvezérlésű tranzisztor reflexiós mátrixelemeit számították ki, amelyeket (amint azt az egyik szerző, M. Howes professzor budapesti előadásaiból megtudtuk) GaAs monolit IC tervezésében használtak fel.

A harmonikus egyensúly elvének a mikrohullámú, nemlineáris áramkörök analízisében történő felhasználásával három előadás is foglalkozott, közülük kiemeljük E. Ngoya és társai előadását, melyben az analízist érzékenység-számítással és optimalizálással egészítették ki. Figyelemre méltó, hogy ebben a témakörben, amely jelenleg az érdeklődés előterében van, a TKI-ban is komoly eredmények születtek (ANAL-13 program).

A konferencia sokszínű programjában a mikro-hullámú áramkörök tervezési problémáival két szekció foglalkozott. Előadást hallhattunk az X-sávú minimális fázistolású PIN diódás csillapítók tervezési és realizálási kérdéseiről, az N-kapu szórás mátrixok általánosításáról és a különböző hosszúságú veszteséges tápvonalszakaszokból felépített hálózatok analíziséről. E. Keppinen és társai L-sávú, GaAs hordozón kialakított kismeghajtású monolit vevőáramkör tervezését és szimulációs eredményeit mutatták be. Az MMIC áramkör RF és KF előerősítőt, aktív keverőt és a lokáljelek fogadására kialakított leválasztó erősítőt tartalmaz. A mikro-hullámú szűrőkkel foglalkozott I.H. Zabalawi, aki járulékos rezonátorokat tartalmazó kerülő ág beépítésével érte el, hogy felfüggesztett tápvonalszakaszokat tartalmazó szűrője kitűnő futási idő paraméterekkel rendelkezzenek.

Külön szekció tárgyalta az 1991-re tervezett össz-európai mobil rádiókommunikációs rendszer megvalósítására irányuló áramkörtechnikai kutatásokat. A rendszer megvalósításához a digitális feldolgozás és a VLSI realizáció lényeges problémáit kell megoldani. Kritikus áramköri problémaként jelentkezik az adaptív csatorna kiegyenlítő, a Viterbi dekóder és a beszéd kódoló/dekódoló áramkör kialakítása. A kis teljesítmény fogyasztás és a specifikációk módosítását lehetővé tevő rugalmas kialakítás igényes feladat megoldásokra készíti az áramkörtervezőket.

Az előadásokon kívül a konferenciához kapcsolódó két rögtönzött laboratóriumi látogatáson vehettünk részt. A Helsinki Egyetem áramköri laboratóriumában számítógéppel vezérelt időtartománybeli reflexiómérő berendezést mutattak be, melyet jelenleg mobil adó-vevő tranzisztoros végfokozatnak tervezésére használnak kb. 1 GHz-es frekvenciáig. Megmutatták automatikus hálózat analízátorukat is, melyet a HP 8409 berendezés mintájára házilag állítottak össze HP műszerekből. A másik

látogatásra az egyetem és a VDE elnevezésű állami kutató központ közös félvezetőtechnikai laboratóriumában került sor. A laboratórium $1\mu\text{m}$ körüli gate-hosszúságú távvezérlésű tranzisztorok és az ezekből felépített áramkörök fejlesztésével foglalkozik, emellett új anyagok alkalmazásával kapcsolatos kísérleteket is folytatnak.

Összefoglalva megállapítható, hogy az ISCAS'88 konferencia előadásai és konzultációs fórumai kiváló lehetőséget adtak a kiemelkedő kutatási eredmények megismerésére, az alkalmazásokban is jól használható modellezési eljárások, analízis és tervezési módszerek elsajátítására.

Az elmúlt évtizedekben a hálózatelmélet témakörében dolgozó magyar kutatók tevékenysége elismerést szerzett. A Helsinkiben tartott viszonylag nagyszámú előadásunk és aktív szereplésünk jó visszhangot keltett, tovább szélesítette nemzetközi kapcsolatainkat.

A konferencia részletes ismertetésében említett előadásokon kívül magyar részről Abos I. komplex huzalozású problémák megoldására szolgáló algoritmust ismertetett, Roska T. előadásában neurális hálózatok kvalitatív jellemzőivel foglalkozott. Ladvánszky J. kis nemlinearitású hálózatok teljesítmény illesztésére adott megoldást. Baranyi A. AM-PM konverzió és AM kompresszió csökkentésére szolgáló újszerű nemlineáris korrektort ismertetett. Fülöp T. SC hálózatok realizációjánál használható kis érzékenységű másodfokú alaptag kialakításáról számolt be. Papp Z. és társai EEG rendszer számítógépes megvalósításához kapcsolódó eredményeiket ismertették. Péceli G. digitális szűrők struktúrálisan passzív rezonátorokra alapozott megvalósulásával foglalkozott.

Részvételi lehetőségünk biztosításáért ehelyütt is köszönetet szeretnénk mondani a kiküldetésünket támogató szervezeteknek.

Dr. Baranyi András

Precipitációs folyamatok és termikus donorképződés a szilícium alapú integrált áramkörgyártási technológiában

SALLAH NOUREDDIN
DR. KORMÁNY TERÉZ
BME Elektronikus Eszközök Tanszék



ÖSSZEFOGLALÁS

Szilícium egykristály-szeletekben a precipitációs folyamatokat és a termikus donorképződést vizsgáljuk, különböző hőkezelési sorrendek esetén. Közepes kiindulási oxigéntartalom esetén magashőmérsékletű 1200 °C előhőkezelés és a hosszantartó 650 °C-os hőkezelés a precipitációt segíti elő.

A termikus donorok és új donorok kiküszöbölésére a technológiai sorban célszerű 1000 °C-os hőkezélést alkalmazni 450 °C-os, 600 °C-os és 800 °C-os hőmérsékletű lépések után.

1. Bevezetés

A jelenlegi monolit integrált áramkörgyártás alapanyaga a Czochralski módszerrel előállított szilícium egykristály. Az előállítási körülményektől függően ez az alapanyag $\leq 10^{17} - 2 \cdot 10^{18} \text{ a cm}^{-3}$ intersticiális oxigént és $\leq 5 \cdot 10^{15} - 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ szubszticionális szenet tartalmaz. A kiindulási szén és oxigénkoncentráció meghatározza a keletkező SiO_2 alapú precipitátumok koncentrációját, valamint a precipitátumok keletkezésének helyét felületi rétegben ill. a kristály belsejében.^{[1], [2]}

A monolit integrált áramkörgyártási technológiákat különböző hőmérsékleti sorrendek jellemzik és ennek megfelelően azonos kiindulási oxigén és szénkoncentrációk esetén is eltérőek lehetnek a precipitációs folyamatok attól függően, hogy nMOS, CMOS; vagy bipoláris technológiát, ill. azok valamely speciális megoldását alkalmazzuk.

Kísérleteink azt célozták, hogy megállapítsuk milyen szerepe van a technológiák különböző hőmérsékleti sorrendjének a precipitációs folyamatra. Ennek alapján lehet ugyanis dönteni, hogy milyen sorrendhez, milyen kiindulási oxigén és szénkoncentrációk engedhetők meg. Tekintettel arra, hogy a legáltalánosabban ma közepes oxigéntartalmú ($5 - 7 \cdot 10^{17} \text{ Acm}^{-3}$) szilícium egykristályokat használnak fel monolit IC-k alapanyagául ezért kísérleteinkbe ilyen Si-szeleteket vontunk be.

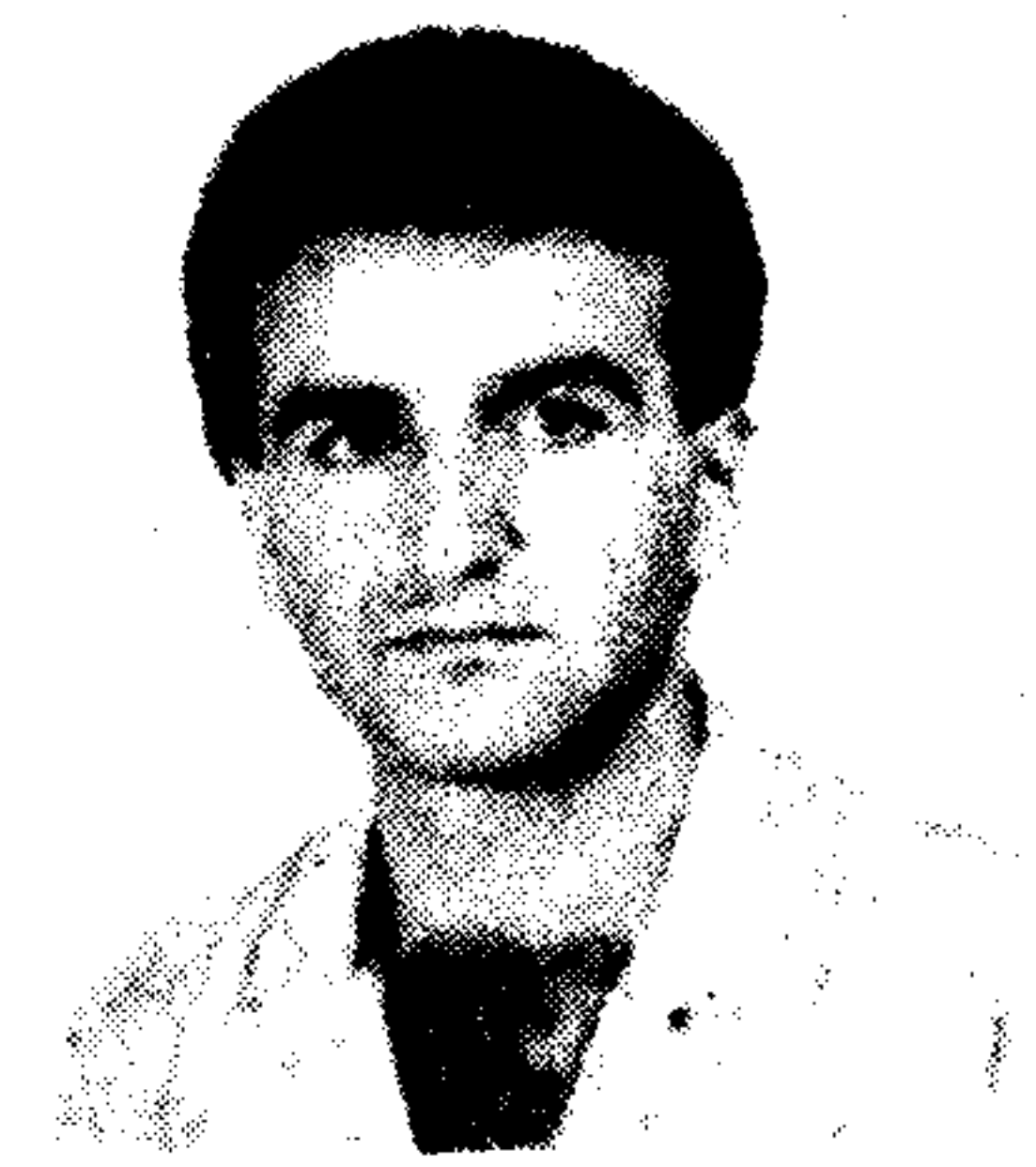
DR. KORMÁNY TERÉZ

Az Eötvös Lóránd Tudományegyetemen szerzett vegyész oklevelet. 1958—1982 között a Távközlési Kutatóintézetben dolgozott. 1982 óta a BME Elektronikus Eszközök Tanszékén docens. Puskás-, Pollack—Virág- és MTESZ díjas. A HTE és a MTSZ elnökségi tagja, részt vesz több egye-

sületmunkájában. Kutatási területe az elektronikus anyagok vizsgálata és a mikroelektronikai technológia. Vendégkutatóként dolgozott Bécsben a Műszaki Egyetemen, Berlinben és Stuttgartban a Max Planck-intézetben Novoszibirszkben a Félvezető Fizikai, valamint Szervetlen Kémiai Intézetekben.

SALAH NOUREDDIN

1978-ban szerzett tanári diplomát a szíriai Tudományegyetemen. Ezt követően matematikát és fizikát oktatott. 1984 szeptemberétől aspiránsként dolgozik a BME Elektronikus Eszközök Tanszékén. A szilícium egykristályok hibastruktúráinak vizsgálatával foglalkozik. Eredményeiről nemzetközi konferenciákon számolt be.



2. A kísérleti munka ismertetése

A vizsgálatok kb. 40 Si-minta szeletekre vonatkoztak.

Az oxigéntartalom a legtöbb mintánál közepes volt, néhány szeleten elérte a $8,6 \cdot 10^{17} \text{ Acm}^{-3}$ -ert, széntartalmuk $5 \cdot 10^{15} - 9 \cdot 10^{16} \text{ Acm}^{-3}$ között változott. A széntartalom változás arra vezethető vissza, hogy a Si-kristályokat előállító cégek előállítási módszerüktől függően eltérő széntartalommal szállítják a Si-hordozókat.

A széntartalom precipitációt befolyásoló hatásának vizsgálata nemcsak a jelenség fizikájának megértése szempontjából fontos, hanem az integrált áramkör IC gyártási technológia reprodukálhatósága miatt is. Ezen közleményünkben azokat a vizsgálatokat tárgyaljuk, amelyekkel az IC-előállítási technológiát megelőző magas hőmérsékletű hőkezelés (1220 °C, 2^h) és a precipitáció közötti

Beérkezett: 1988. VIII. 31 (↑)

összefüggést kívántuk felderíteni. Az alkalmazott hőmérsékleti sorrend az 1. ábrán, a Si-szeletek jellemző paraméterei az 1. táblázatban találhatók.

Az SC5, S17, S18, S20, és S28_a jelű szeleteknél nem alkalmaztunk előhőkezelést. A SC6, SC7, SC8, SC16 jelzésűeknél viszont igen. A 2. táblázatban a precipitáció mértékére utaló intersticiális oxigén koncentráció értékek találhatók.

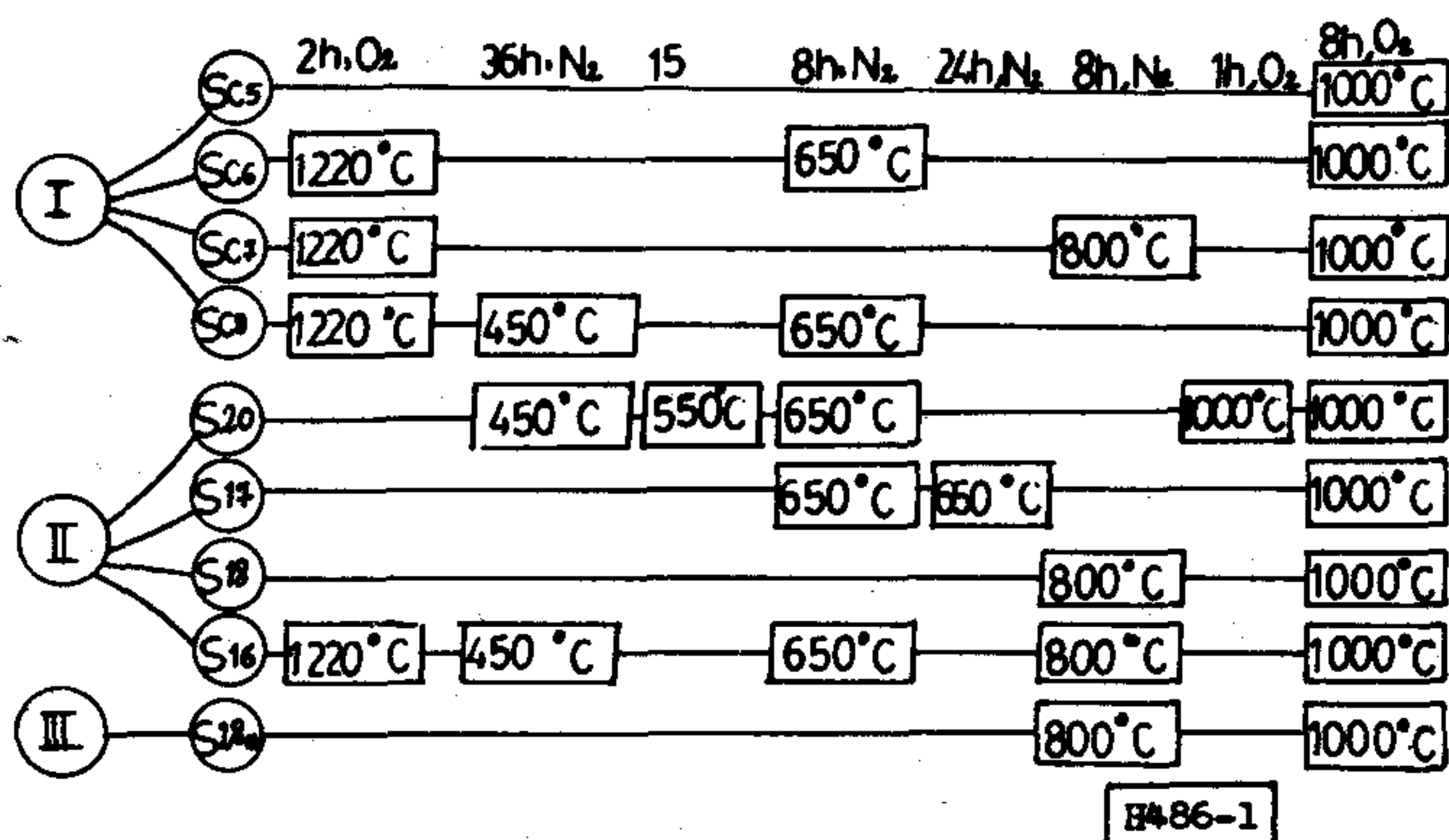
Az oxigén koncentrációcsökkenés precipitációra utal.

A 2. táblázatból kitűnik, hogy a 650 °C végzett hosszantartó hőkezelés nagymértékben elősegíti precipitátumok képződését (maximális O_i csökkenés) a hatás még jelentékenyebbé válik ha előhőkezelést alkalmazunk.

Szállító cég	Szelet jele	Típus	Adalék	Orientáció	Vastagság (mm)	$\bar{\rho}_0$ ($\Omega\cdot\text{cm}$)	$[\bar{O}_i]$ ($\times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$)	$[\bar{C}_S]$
I	SC5, SC6, SC7, SC8	n	P	(100)	390	4,46	4,43	0,52
II	S16, S17, S18, S20	p	B	(111)	400	9,35	5,72	0,72
III	S28a	p	B	(111)	380	2,29	5,72	0,40

B486-1T

1. táblázat. A kísérleti Si-szeletek jellemző paraméterei



B486-1

1. ábra. A kísérlet hőmérsékleti sorrendje

A Si szeletek ellenállásértékei csak akkor mutatnak jelentős változást (ld. 3. táblázat), ha hosszantartó 36 órás 450 °C-os hőkezelést alkalmazunk (termikus donorok képződése) vagy a hőmérsékleti sorrendben a hosszantartó 20 órás 650 °C-os hőkezelést 800 °C-os és 650 °C-os hőkezelést követve (új donorok keletkezése). Termikus donorképződésre utaló fajlagos ellenállás növekedést tapasztaltunk akkor is, ha 450 °C-os és 650 °C-os hőkezelési lépések követték egymást.

Szelet jele	$[O_i]_0$ ($\times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$)	Eldők. [O _i] hők. után						$\Delta O_i = [O_i] - [O_i]_0$ ($\times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$)
		1220 °C	450 °C	550 °C	650 °C	800 °C	1000 °C	
S20	5,87	—	5,50	5,90	5,49	—	4,99	0,88
S17	5,82	—	—	—	5,59	2,95	2,91	2,91
S18	5,55	—	—	—	—	5,53	4,69	0,86
S28a	5,72	—	—	—	—	5,80	5,39	0,33
SC5	6,98	—	—	—	—	—	6,17	0,81
SC6	6,10	6,46	—	—	6,03	—	6,20	0,1
SC7	6,14	6,81	—	—	—	6,21	5,90	0,24
SC8	6,52	6,72	6,27	—	5,73	—	3,41	3,11
S16	5,64	5,54	5,51	—	5,44	2,50	1,58	4,06

B486-2T

2. táblázat. Oxigéntartalom hőkezelés után

Szelet jele	$\bar{\rho}_0$ ($\Omega\cdot\text{cm}$)	$\bar{\rho}_{\text{hők. után}}$ ($\Omega\cdot\text{cm}$)					
		1220 °C	450 °C	550 °C	650 °C	800 °C	1000 °C
S20	9,5	—	45,42	12,50	9,80	—	9,30
S17	9,50	—	—	—	10,70	23,70	9,21
S18	9,69	—	—	—	—	9,79	10,10
S28a	2,29	—	—	—	—	2,80	2,30
SC5	3,96	—	—	—	—	—	4,02
SC6	4,87	4,92	—	—	4,82	—	4,21
SC7	4,95	4,90	—	—	—	4,82	4,23
SC8	4,08	4,15	1,40	—	3,82	—	4,02
S16	9,27	14,30	54,80	—	11,30	20,60	10,90

B486-3T

3. táblázat. Ellenállásértékek hőkezelés után

3. Az eredmények értékelése

A vizsgálati adatokat részletesen elemezve megállapítható, hogy az IC technológiához általánosan felhasznált közepes kezdeti oxigéntartalmú szeleteknél az 1000 °C-os hőkezelést megelőző hőmérsékleti sorrendek csak akkor idéznek elő jelentős mértékű precipitálódást, ha a hőmérsékleti sorban a 650 °C-os hőkezelés időtartama meghaladná a 20 órát.

Az irodalomból ismeretes^{[3], [4]}, hogy ezen a hőmérsékleten képződnek a SiO₂ precipitátumok göccsei, amelyek aztán a 800—1000 °C-os lépésekben tovább növekednek. Ez a hatás 1000 °C-os előhőkezeléssel tovább fokozható. A technológus számára ebből az a következtetés adódik, hogy ha a precipitálódás elősegítése a cél, pl. szennyezők ún.

belső getterezéssel való hatástalanítása miatt, akkor nagyon hasznos a teljes technológia folyamatot megelőző magashőmérsékletű előhőkezelés.

A 450 °C-os ill. a 650 °C—800 °C-os hőkezelések hatására termikus donorok és az ún. új donorok alakulhatnak ki. [5], [6], [7], [8]

Az 1000 °C-os hőkezelés hatására azonban mind a termikus, mind az ún. új donorokat meg lehetett szüntetni. Az IC-technológiában, tehát nagyon kritikusán kell szemlélnünk az egyéb szempontokból előnyös alacsony hőmérsékletű technológiai lépéseket, mert nem kívánatos ellenállásváltozást idézhetnek elő a szubsztrátumban. Ezek a lépések különösen akkor veszélyesek, ha nem követi őket egy magashőmérsékletű pl. 1000 °C-on elvégzett technológiai művelet.

Tekintettel arra, hogy az IC-technológiák befejező műveleteiben általában 400—480 °C-os hőmérsékletű lépések fordulnak elő, további kísérletekkel kell tisztázni a termikus donorképződés időfüggését. Ennek alapján lehet ugyanis megadni, hogy adott oxigén- és széntartalmú Si-szubsztrátumok alkalmazása esetén milyen időtartamúak lehetnek a befejező műveletek.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki Dr. Hild Erzsébetnek a kísérleti munkában nyújtott segítségért, valamint értékes tanácsaiért.

IRODALOM

- [1] P. Gaworzevski, E.Hild, F-G Kirscht and L. Vescernyész. Phys. Stat. Sol. (a) 85, 133 (1984)
- [2] T. Kormány, PROC. of GADEST 85. p.336
- [3] T. Izuka, Jap. J. Appl. phys. 21 (1) 1 (1982)
- [4] S.I.Somae, S. Aoki and K. Watanabe J. Appl. phys. 55(4) p.817 (1984)
- [5] John w.Cleland, J. Electrochem. Soc. 129 No9 p.2127 (1982)
- [6] W. Kaiser, H.L.Frisch and H.Ress Phys.Rev. No5 P.1546 (1958)
- [7] M.Reiche and W.Nitzsche PROC. of GADEST 87 P.98
- [8] A.Kanamori and M. Kanamori J. Appl.phys. 50 P. 8095 (1979)

СОДЕРЖАНИЕ

INHALT

CONTENTS

Арато, И.

Организация и вычислительная техника в заводе Телефондар

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт) 1989. №1.

Решение организационных задач управления производством с помощью ЭВМ на заводе является одной из самых сложных и труднейших задач. Тот факт, что реализация требует много времени, высокой стоимости, а также небольшое количество известных систем делают необходимым создание собственной концепции так в области базиса как в области методики введения.

Статья рассмотрит основные принципы действующей системы на основе опытов прилб. десятилетнего проекта.

Д-р Готвальд, П.:

Основы оптического управления микроволновыми полупроводниковыми средствами п.

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт) 1989. №1.

Спектральная чистота микроволновых источников осуществленных диодами INPATT, TRAPATT и BARITT не всегда является соответствующей с точки зрения их применения. Одним из самых современных методов уменьшения ЧМ шума является оптическая интеграция. Автор в первой части статьи за-

нимается механизмом светочувствительности упомянутых средств.

Во второй части статьи дает краткий обзор о светочувствительности других средств микроволновых полупроводников, как например, и варакторного диода и некоторых пассивных элементов, применяемых в монолитных микроволновых схемах. Исследование этой темы поддерживает Государственная Комиссия Технического Прогресса.

Шалах, Новредин—Д-р Кормань, Т.:

Пресипитация и образование термальных доноров в IC-технологии основанной на силиции

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт) 1989. №1.

Пресипитация и образование термальных доноров на подложках из силиция исследовалось при разных последовательностях температуры. При среднем значении начальной концентрации кислорода при различном содержании углерода пресипитация устанавливалась применяя тепловую обработку 1200 °C и продолжительное нагревание при 650 °C. Для уничтожения термических и новых доноров, образовавшихся при 450 °C, 650 °C и 800 °C в IC-технологии нужна термическая обработка при 1000 °C.

Arató, I.:

Organisation, computertechnik in der Telefongyár

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1989. Nr. 1.

Bei einer Unternehmung ist die organisations- und computer-technische Lösung der Produktionsführung eine der verwickelsten und schwersten Aufgaben. Die Zeitansprüche, die hohen Kosten der Realisierung und die bekannten Systeme von niedriger Anzahl machen die Ausgestaltung des eigenen Konzeptes für notwendig auf dem Gebiet der Gründe und die einführungstechnik. Der Artikel sieht die Grundprinzipien eines funktionierenden Systems aufgrund der Erfahrungen eines nahezu zehnjährigen Projektes über.

Durch Behandlung bei 1000 °C können die bei 450 °C, 650 °C, 650 °C, 800 °C gebildeten termischen, bzw. neuen Donoren eliminiert werden.

Arató, I.:

Organization, computer technique at Telefongyár

HÍRADÁSTECHNIKA, (Budapest) 1989. No. 1.

Introduction of a computer laded manufacturing is one most difficult and complet task for a company. Since the implementation is time consuming and expensive, as well as anly some systems are know in practice, it is very important to create a new idea for introduction. The article below gives a reviw of an operation system based on a project of 10 years of experience.

Dr. Gottwald, P.:

Grundlagen von der optischen stenerung der mikrowellen halbleiterbauelemente II.

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1989 Nr. 1.

Die spektrale Reinheit von Mikrowellen-Oscillatoren die mit der Anwendung von IMPATT, TRAPATT und BARITT Dioden gebaut sind, ist für bestimmte Anwendungen nicht immer ausreichend gut. Eine der best-möglichen Methoden zu reduzieren den PMRauschen in der Oscillation ist die optische Injektion. In dem ersten Teil des Artikels werden die Mechanismen der Lichtempfindlichkeit dieser Bauelemente erörtert. In dem zweiten Teil aber wird es einen kurzen Überblick über die Lichtempfindlichkeit von anderen Mikrowellen-Halbleiterbauelementen gegeben, wie Z. B. von PIN und Veraktor-Dioden und von einigen der passiven Elemente der GaAs MMIC's.

Die Arbeit wurde von dem Staatskomites für Technische Entwicklung, OMFB unterstützt.

Dr. P. Gottwald:

Fundamentals of the optical control off the microwave semiconductor devices II.

HÍRADÁSTECHNIKA, (Budapest) 1989. No. 1.

The spectral purity of microwave power- sources using IMPATT, TRAPATT, and BARITT devices is generally not sufficiently good for certain applications. One of the most convinient methods to recude the oscillator FM noise is the optical injection.

In this paper the light sensitivity mechanisms of these devices are discussed firstly. In the second part however a short review is given about the light sensitivity of other microvave semiconductor devices, such as e. g. PIN and varactor diodes and some passive elements of monolithic GaAs MIC's.

The work was supported by the state office for Technical Development, OMEB.

Salah, Nouredin - Dr. Kormány, T.:

Precipitation und thermische donor bildung in der technologie von silizium-schaltkreise

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1989 Nr. 1.

Precipatation und Bildung thermischer Donoren sowie neuer Donoren in Silizium wurde untersucht bei verschiedenen Temperatur-Sequenzen. Die Vorbehandlung bei > 1200 °C und eine langzeitige Wärmebehandlung bei 650 °C bewirkt erhöhten Precipitationsgrad Si-Schreiben mit mittleren Sauerstoff und unterschiedlichen Kohlenstoff-Gehalt.

Salah, Nouredin - Dr. Kormány, T.:

Precipitaion and thermal donor formation in Si-based IC-technology

HÍRADÁSTECHNIKA, (Budapest) 1989. No. 1.

Precipitaion and thermal donor formation in silicon wafers has been investigated at different temperature sequences. In the case of medium initial oxygen concentration for different initial carbon concentration the precipitation was determined by the use of dispersive heat treatment > 1200 °C and long duration anneal at 650 °C. In IC-technology heat treatment at 1000 °C is needed to annihilate thermal donors and new donors which are formed at 450 °C, 650 °C and 800 °C.

HÍRADÁSTECHNIKA

A szerkesztésért felelős: Dr. Tófalvi Gyula. Szerkesztőség címe: Budapest V. Kossuth Lajos tér 6—8. 1055. Telefon: 531—027. Kiadja: a DELTA Szaklapkiadó és Műszaki Szolgáltató Leányvállalat, Budapest, Közraktár u. 4., 1093. Telefon: 175—200. Felelős kiadó: Budapesti Ferenc főigazgató. Terjeszti a Magyar Posta. Előfizethető bármely postahivatalnál, a kézbesítőknél, a Posta hírlapüzleteiben és a Hírlapelőfizetési és Lapellátási Irodánál (HELIR, Budapest, József nádor tér 1. 1900) közvetlenül vagy postautalványon, valamint átutalással a HELIR 215—96162 pénzforgalmi jelzőszámra. Előfizetési díj: fél évre 180,- Ft, egész évre 360,- Ft. Egyes szám ára 30,- Ft. Megjelenik havonta. A folyóirat külföldre előfizethető: a „KULTÚRA” Külkereskedelmi Vállalat, H-1389 Budapest, Postafiók 149. és a Magyar Média, 1392 Budapest, Pf. 279. 86—253.

Szedte: „EDITOR” Kisszövetkezet Szekszárd, JFKR 261/89

HU ISSN 0018—2028

Index: 25 375