

# 8. Nemzetközi Konferencia a Fizikai Rendszerek zajairól

DR. AMBRÓZY ANDRÁS

BME Elektronikai Technológiai Tanszék

## 4. Nemzetközi Konferencia az 1/f zajról

### 1. Előzmények

Az elektronikus, majd később a fizikai rendszerekre általánosított zajok kutatása nem most kezdődött. Az elektronikában az első felismerések a húszas évekre tehetők, sőt a még ma is sok fejtörést okozó 1/f (flicker-, villódzási, járulékos) zaj is fenomenologikusan ismert a harmincas évek közepétől. Sem a pontos fizikai ok, sem pedig a frekvenciament általános magyarázata nem ismeretes.

A 60-as évek végefelé világszerte felélénkültek a zajkutatások és egyre szélesedett a vizsgálódások köre: kezdetben inkább az aktív eszközök, később a szélesebb értelemben vett fizikai rendszerek zajával foglalkoztak. Konferenciasorozat keletkezett, melynek jelenlegi címe: International Conference on Noise in Physical Systems. Az egyes konferenciák helye és ideje:

Nottingham, Nagy-Britannia	1968
Toulouse, Franciaország	1971
Gainesville, USA	1973
Noordwijkerhout, Hollandia	1975
Bad Nauheim, NSZK	1978
Wahington, USA	1981
Montpellier, Franciaország	1983
Róma, Olaszország	1985

A 70-es évek végefelé ugrásszerűen nőtt az érdeklődés az 1/f zajok iránt. Párhuzamos sorozat keletkezett International Conference on 1/f Noise címen az alábbi helyeken és időpontokban:

Tokió, Japán	1977
Orlando, USA	1980
Montpellier, Franciaország	1983
Róma, Olaszország	1985

A római konferencián a Nemzetközi Tanácsadó Bizottság ajánlásokat fogadott el. Ezek szerint a további konferenciák már egy címmel (Nemzetközi Konferencia a Fizikai Rendszerek Zajairól), de mindkét irányú tartalommal kerülnek két évenként megrendezésre. Színhelyül 1987-re Montrealt, 1989-re Budapestet javasolták.

### 2. Előkészítés

Már hagyomány, hogy a beküldött előadásokat a nemzetközi tanácsadó bizottság véleményezi. E bizottságnak négy USA, két-két francia, holland, NSZK és egy-egy brit, japán, kanadai, magyar, olasz, svájci

tagja van. A véleményezett és programba iktatott előadások száma 122; ezeken kívül még 12 meghívott előadás hangzott el. Az előbbieket megosztása a következő:

— Elméleti eredmények	16 előadás
— Kvantumzaj	8 előadás
— Biológiai rendszerek	4 előadás
— Elektronikus eszközök	16 előadás
— Különbféle fizikai rendszerek	14 előadás
— Alkalmazások és metrológia	6 előadás
— 1/f elmélet	10 előadás
— 1/f kvantumzaj	8 előadás
— 1/f zaj elektronikus eszközökben	8 előadás
— 1/f zaj különféle rendszerekben	18 előadás
— 1/f zaj mérése és alkalmazásai	7 előadás
— Egyéb	7 előadás

Ennyi előadás lebonyolításához természetesen szükség volt két szekcióra és a konferencia mind az öt napjára (1985. szeptember 9—13.). Mint mindig, most is elmaradt néhány előadás; volt olyan ország, ahonnan egyetlen előadó sem érkezett, bár előzetesen jelentkeztek.

### 3. Előadások

Nincs mód mind a 134 előadásról beszámolni, ezért először általános tendenciákról lesz szó, majd mintegy 25 előadást elemzünk; ez az elemzés óhatatlanul tökérsői a szerző szubjektív válogatását.

Jellemző volt a témák kiegyensúlyozottsága, ez a korábbi konferenciákon nem volt mindig így. Az 1/f zajjal foglalkozott az előadásoknak mintegy a fele. Általános tendencia volt a zajspektroszkópia hangsúlyozása: valamely fizikai rendszerben fellépő ingadozásjelenségek olyan felvilágosítást is adhatnak a rendszerről, amihez más úton aligha juthatnánk hozzá — pl. új félvezető eszközök, passzív alkatrészek, biológiai rendszerek működése tanulmányozható ilyen módon.

A régebbi diszkussziók folytatásaként most is nagy viták voltak az 1/f zaj esetleges kvantummechanikai eredetéről: az elmélet szerzője nem tudta meggyőzni ellenfeleit és viszont.

Három területen érezhetően csökkent az előadások száma: a Josephson effektusról, a kvantumzajról és a káosz-jelenségekről kevesebb szó esett, mint régebben.

#### 3.1. Ingadozásjelenségek homogén anyagokban

Fémek szerkezetét analizálta egy USA előadás: a bizmut és a niób például egészen különbözőképpen viselkedik. Feltehetően nagy szerepe van a hibahelyeknek.

Egy gázatmoszférában kifeszített fémhuzalnak nemcsak Johnson-zaja van, hanem a gáz spontán hőmérséklet-ingadozásai  $1/f$  spektrumú ellenállásingadozásokat váltanak ki.

Különleges anyagok a szuperionos vezetők; ezek egyikét, a nátriumot és alumíniumoxidot tartalmazó  $\beta$ -aluminát főként nagy energiasűrűségű akkumulátorokban használják, s ilyen minőségben a zaja érdektelen. Minthogy azonban anyagszerkezete nem tökéletesen ismert, a zajspektrószkópia hasznos felvilágosításokkal szolgálhat.

Homogén anyagok  $1/f$  zajának mérését nehezíti, hogy a kontaktusok rendszerint zajosabbak, mint a vizsgálandó anyag. Indukciós úton kontaktus nélkül megvalósítható a mérés, akár elektrolitokra is.

### 3.2. Egykristályos eszközök

A régebbi időkhöz képest csökkent az ilyen tárgyú előadások száma: az elméletileg számítható és gyakorlatban sokszor kimért fehérzaj-összetevők ma már nem számítanak tudományos újdonságnak. Annál inkább kutatás tárgya az  $1/f$  zaj összetevőinek eredete. Egy USA előadás a bipoláris tranzistorban lokalizálta a zajforrásokat, míg egy holland az egyes áramösszetevőket vizsgálta. Nem lezárt kérdés a MOS tranzistorok inverziós rétegében keletkező  $1/f$  zaj eredete.

Az új mikrohullámú aktív eszközök (GaAs MES-FET, heteroátmenetű GaAlAs bipoláris tranzistor) alacsonyabb frekvenciákon eddig még nem megmagyarázott zajösszetevőket mutatnak. Ezek mind fehér, mind  $1/f$  spektrumúak lehetnek. Keletkezési helyük például a csatorna-hordozó, vagy az emitter-bázis heteroátmenet lehet. Ismertetésre került a kettős heteroátmenetű félvezető lézer zaja is. Ez az optikai jelátvitel szempontjából érdekes vizsgálat.

### 3.3. Szemcsés szerkezetek

Az elektronikában sokféle — főként passzív — alkatrész szerkezete szemcsés. Ezek működési mechanizmusa korántsincs annyira feltárva, mint az egykristályos szerkezeteké. Így azután minden hozzájárulás tartalmazhat értékes információkat.

Egy NSZK előadás például a szilícium bikristály zaját vizsgálta. Ez azért érdekes, mert itt mindössze egyetlen szemcsehatár van, tehát viszonylag egyszerűen nyerhetők információk a szemcsehatár — egyébként bonyolult — viszonyairól. Nagy gyakorlati jelentőségük van a vastagrétegekről tartott előadásoknak: egy lengyel, egy belga és egy olasz foglalkozott ilyen kérdésekkel. Vizsgálataik megerősítették a kialakulóban levő konszenzust: vastag rétegekben a zajok forrása részben a szemcsék közti szűkületi ellenállás, részben az üvegfázisban levő megengedett állapotok közötti alagút-áthaladás.

Mesterséges rendezetlen struktúrát hoztak létre olasz kutatók arany és alumíniumoxid egyidejű porlasztásával. Ez is flickerzajt mutat, aminek nagysága erősen függ a réteg aranytartalmától.

E beszámoló szerzője meghívott előadást tartott a vastagréteg ellenállások zajának mérési stratégiájáról és egyes érdekesebb megfigyelésekről.

### 3.4. A zaj matematikai tulajdonságai

Noha a sávkorlátozott zaj nullátmeneteinek várható száma évtizedek óta ismert, a tetszőleges szint átlépéseinek időbeli eloszlása sok vonatkozásban még ismeretlen. Egy NSZK-beli előadás az ezzel kapcsolatos többévi munka jelen fázisáról számol be.

Magyar szerzők felvetették a nullátmenet-számlálás lehetőségét időmérésre. Kellően hosszú számlálás pontosabb időmérést tesz lehetővé, mint egy azonos veszteségi tényezőjű rezgőrendszer közvetlen megfigyelése.

Egy régebbi konferencián nagy viták tárgya volt az  $1/f$  zaj varianciája. Akkor nem sikerült megállapítani, hogy ez divergál-e a mérési idő megnövelésével. Most holland kutatók megállapították, hogy  $10^{-5}$  Hz környékén a divergencia még fennáll.

Egy angol kutató ismét felvetette azt az egyébként régi kérdést, hogy az  $1/f$  zaj felfogható-e sok generációs-rekombinációs folyamat eredőjeként? Ugyanebből a gondolatból kiindulva olasz és lengyel kutatók két különböző úton  $1/f$  zajgenerátorokat szerkesztettek.

E beszámoló szerzője — társával együtt — egy másik elven működő  $1/f$  zajgenerátort ismertetett. Egy egyszerű differenciálegyenlet analóg számológépes megoldása — sztochasztikus gerjesztés esetén, ami véletlen távirójellel megoldható — több dekádos frekvenciasávban  $1/f$  spektrumú jelet eredményez.

### 3.5. Metrológia

NSZK-beli kutató többéves munkájáról számolt be; nagy pontossággal megoldható a hőmérsékletmérés zaj segítségével és meghatározható többek között a Boltzmann állandó.

## 4. Összefoglalás

Az 1968-ban, illetve 1977-ben indult két konferenciasorozat összevont formában immár másodszor került megrendezésre, ezúttal Rómában, 1985. szeptember 9—13. között. Megrendezését az indokolta, hogy valamely fizikai rendszerben fellépő ingadozásjelenségek olyan felvilágosítást is adhatnak a rendszerről, amihez más úton aligha juthatnánk hozzá — pl. új félvezető eszközök, passzív alkatrészek, biológiai rendszerek működése tanulmányozható ilyen módon.

Az  $1/f$ , más néven flicker zaj — bár kerekén fél évszázada ismert — még mindig fejtörés elé állítja a kutatókat. Sem a pontos fizikai ok, sem pedig a frekvenciament általános magyarázata nem ismeretes. A jelen konferencia és várhatóan a jövőbeliek is, számos részletkérdés tisztázására alkalmasak és egyszer talán meghozzák a végleges választ.

# „High-tech” kutatása és bemutatása csúcstechnikával

## Egy laborlátogatás reflexiói

A Fujitsu Laboratories Ltd. a Fujitsu Ltd. leányvállalataként 1968 óta működik és két intézetével az elektronikai óriáscég kutató-fejlesztő bázisát adja. A szervezeti különállásra a sajátos japán ipari, illetve tudományos-műszaki fejlesztéspolitikája miatt van szükség, hiszen a kormány, nevezetesen a nagyhatalmú Ipari és Külkereskedelmi Minisztérium (MITI) tetemes kutatás-fejlesztési alapjából nem támogathat iparvállalatot. Szerződéses kutatási megbízást csak kutató-fejlesztő intézményeknek adhat. Így pl. *egy-egy támogatott kutatás eredményes befejezése után a gyártásbavitel csak úgy történhet meg a fejlesztők által, ha az érintett néhány kutatót állományilag is a gyártóhoz helyezik, majd feladatuk teljesítése után visszatérnek a kutatóintézet kebelébe.* Ezen formákhoz való ragaszkodás általában jellemző a japán gazdaságirányításra, melynek nyomán a kedvezményezettek, ha közvetve is, mindig az iparvállalatok, a japán gazdaság.

A kilenc japán mikroelektronikai óriás között termelési értékét tekintve a Fujitsu csak a negyedik az NEC, a Hitachi és a Toshiba mögött, de félvezető eszközadásaival megelőzi a Toshiba-t. Csak őket követi a Mitsubishi, a Matsushita, a Sanyo, OKI Electric és a Sharp.

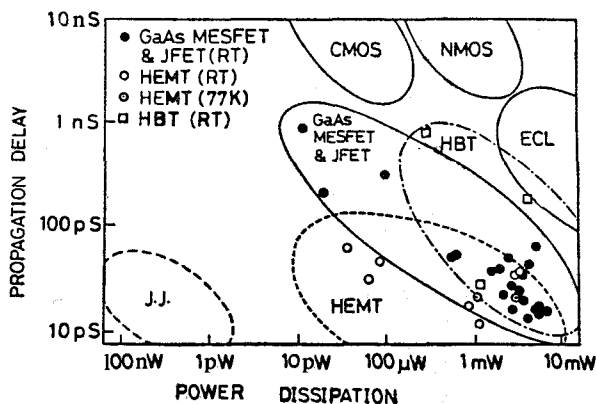
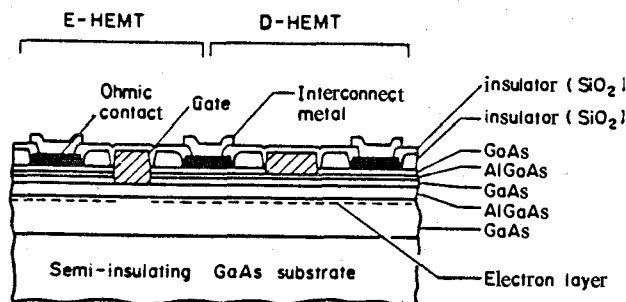
A Fujitsu teljes félvezető alkatrész gyártási volumenében versenytársainál nagyobb hányadot, 92%-ot képvisel az integrált áramkörgyártás. Az IC gyártmányok 63%-a MOS, 26%-a bipoláris logika, 3% lineáris IC szemben pl. az NEC 63—6—12%-os megoszlásával. Amiben viszont magasan vezet a Fujitsu Japánban, az a gate-array szintű fél-felhasználói áramkörök aránya, ami már 10%-os, persze 44%-os MOS memóriagyártási hányad mellett. Ezt az üzletet a Fujitsu Japánban két tervezőközpontjára építi és a felhasználókhöz kitélepített eddigi 80 körüli CAD terminálon a megrendelések mintegy felét tervezik máris.

Köztudomású, hogy a Fujitsu az információfeldolgozásban a világ egyik vezető cége, és a szupercomputer-gyártás egyik fő bázisa Japánban. Állításuk szerint FACOM M 382 típusú számítógépük a világ legnagyobb és leggyorsabb, általános célú computere 3 szintű hierarchikus memóriával. A napokban jelentették be egy azonos méretű, de még ennél is gyorsabb típus kifejlesztését. Az M 780-as sorozat várhatóan az IBM 3090-es „Sierra” sorozatának lesz nagy piaci vetélytársa, melynek „titka” a felhasznált VLSI-k kompakt szerelése. Az általában 3000—10 000 kapus VLSI-k kapunkénti késleltetési ideje 180 ps, és ezekből a chipekből 336-ot szereltek egy  $54 \times 49 \text{ cm}^2$  méretű áramköri kártyára. Memóriája természetesen 256 kbites SRAM-okból épül fel. Ilyen háttérrel aztán érthető, hogy nekik, a felhasználói IC tervezés számítógépes támogatásához megfelelő hardware és software biztosítása nem okoz gondot. Az említett öt elektronikai élővas cég saját félvezető gyártmányainak 15—20 %-át építi be saját készülékeibe, de 80—85 %-a a szabad bel- és külfőlcra, főleg az USA-ba kerül.

Japánban nagy súlyt helyeznek egy-egy cég image-ének kialakításában tevékenységük széles körű megismertetésére, népszerűsítésére még az ilyen „elvon” csúcstechnológiák művelői is. Ezért az utazási irodák programjaiban rendszeresen szerepelnek fél-egynapos gyárlátogatások külön, az iparvállalat által rendelkezésre bocsátott vezetővel. A mi esetünkben is ez volt a forma, de nemzetközi szakembergárdáról lévén szó, minőségileg módosult tartalommal. A Tokiótól dél-nyugatra egy-másfél órányira fekvő Atsugiba busszal érkezünk. A hegyek lábánál elterülő zöldövezetben csaknem valamennyi vezető *high-tech* cégnek van kutatólaboratóriuma, amit a főváros közelsége, a környezet, a levegő tisztasága indokol.

A Fujitsu laboratóriuma 1983-ban épült bunker-szerű, 6 emeletes, szürke épülettömbjétől alig kétszáz méterre áll pl. az NTT híres Atsugi Electronic Communication Laboratory-ja, megannyi innovatív félvezető és távközlési termék szülőhelye. A Fujitsu labor épületének alapterületén kétharmad részben „tisztamunkateret” találunk, ez a magyarázata az ablaktalanságnak.

Az ide érkező látogatót, egy előadóterembe tessékelik, ami az óriási, lépcsőházzal egybeépített fogadó-



I. ábra. A Fujitsu Laboratories növekményes/kiürítéses nagy elektron mozgékonyágú tranzisztorának (HEMT) szerkezete az LSI áramkörökben és a HEMT logika a kapunkénti késleltetési idő — teljesítmény disszipáció grafikonon ábrázolt összehasonlításban szobahőmérsékleten (RT) és cseppfolyós nitrogén hőmérsékleten (77K)

csarnokból nyílik. Itt az intézmény vezetője, dr. Kurokawa üdvözlöi a társaságot. Nyoma sincs már a tartózkodó feszélyezettségnek, elfogódottságnak, ami a külföldiekkel szemben a japánokat még pár éve is jellemezte. Az igazgató tökéletes angolsággal, fölényes magabiztossággal, imponáló tájékozottsággal informál az intézmény óriási profiljáról, technikai részletekbe menő pontossággal.

A Fujitsu Limited gyártmányspektrumát a távközlési rendszerek, számítógéprendszerek, perifériák és terminálrendszerek, valamint félvezető és egyéb elektronikus alkatrészek alkotják, egyszerűen minden, ami az integrált kommunikációs hálózatok kialakításához szükséges. Ezen területek kutatási hátterét biztosítja a Fujitsu Laboratories: a telekommunikáció, embergép kapcsolati rendszerek (CAD rendszerek, intelligens robotok, optikai érzékelés és felismerés, beszédfeldolgozás, kínai karakter-felismerés, szuper sebességű nyomtatók és faximile, képmegjelenítők és computeres orvosi diagnosztikai berendezések) és az információfeldolgozás vonatkozásában a Kawasakiban működő 600 fős intézet, ugyanakkor, az elektronikus eszközök és alapanyagkutatás vonatkozásában ez az Atsugi laboratórium. Természetesen mindez csak az óriáscég fejlesztő részlegeivel való szoros együttműködésben történhet.

Az Atsugi laboratóriumban is 600 alkalmazott dolgozik, és éves költségvetésük 40 M\$, ehhez jön a 20 M\$-nyi beruházás évente, főleg a központi szerződések teljesítéséhez. Mindenki előtt ott van az asztalon az intézményt ismertető színes pamflet, egy pohár hideg cola társaságában. Ezt egészíti ki egy filmvetítés, amit helyszíni látogatás követ. Mindenkinek felcsillan a szeme, amikor közlik: Természetesen szabad fényképezni. Később jövünk rá, hogy itt nemcsak szakmájukat művelik csúcshintén, de a publicity lélektanának csínját-bínját is ismerik. Lehet „high-tech”-et úgy is ismertetni, hogy minden részlet rejtve maradjon a konkurrencia szeme elől, pedig nekik aztán volt mit rejtegetniük. A „tisztá munkatér”-be természetesen belépni nem szabad.

A kutatás egyik súlyponti területe a szuper sebességű eszközök, nevezetesen a GaAs IC technológia. Annakidején a Fujitsu volt az a japán cég, amely az IBM-mel versenyben, nagy energiát fektetett a Josephson átmenetek kutatásába, de mára egyedül maradt. Az IBM jelenleg nem tartja elég aktuálisnak a témát. A Fujitsu folytatja, 2–5  $\mu\text{m}$  csíkszélességgel integrálnak. Nem is tehetnek mást, hiszen MITI szerződés köti őket. Meg aztán ki tudja..., hátha éppen ez az a tanánhéj, amin a konkurrencia elcsúszik. Jelenleg azonban a GaAs van előtérben. Vezetőnk, a GaAs eszközök kutatás főnöke és 60 mérnök, 21 PhD fokozattal rendelkező kutató, kb. 30 technikus tartozik hozzá. A laboratórium 1980-ban szabadalmaztatta a High Electron Mobility Transistor (HEMT) struktúráját. Ez az AlGaAs—GaAs heterostruktúrára épülő eszköz növekményes/kiürítési típusú logikában cseppfolyós nitrogén hőmérsékleten ( $-196^\circ\text{C}$ ), csaknem a Josephson-logika sebességével képes kapcsolni és jelenleg LSI szintű integrálása folyik. Ez természetesen feltételezi a teljes gyártástechnológiai háttér, házon belüli fejlesztését. A helyenként 9 rétegű (!) molekulasugaras epitaxiával (MBE) készülő áramkör rendkívüli

pontos műveletbeállítás, 10  $\text{\AA}$  alatti vastagság és fél nagyságrenden belüli adalékkoncentráció vezérlést igényel. A berendezésfejlesztésnek ezt kell biztosítania. Az áramkörök 1,5–0,5  $\mu\text{m}$ -es gate-hosszúságú HEMT-re épülnek, ez már közvetlen elektronsugaras szelet-litográfiát követel meg. De külön kutatási program foglalkozik a szereléstechnikával, hiszen a nagy kapcsolási sebesség csak alacsony hőmérsékleten érvényesül. A chipeket speciális, a többszintű vezetékeztést is tartalmazó többrétegű kerámia hordozóra szerelik és közvetlenül merítik a méretcsökkentett bipoláris Si eszközök is képesek lehetnek szobahőmérsékleten ekkora sebességre (pl. a szintén japán J. Nishizawa javasolta Bipolar Mode Static Induction Transistor (BSIT-logika), ezért a GaAs mellett folyik, a Si alapú eszközök kutatás is. A Fujitsu azonban elsősorban a HEMT alapú IC-vel reméli átfogni a  $\mu\text{m}$ -es vagy mm-es hullámtartományt a távközlési alkalmazásokban. (1. ábra)

A GaAs IC-gyártás zöme a versenytársakéhoz hasonlóan még a MESFET-re épül titán-wolfram-szilicid gates struktúrával, önillesztett technológiával. Folyik még exotikusabb heteroátmenetes eszközök fejlesztése is, mint a Heterojunction Bipolar Transistor (HBT) vagy a Hot Electron Transistor (HET).

Az előcsarnok melletti állandó kiállítóteremben a laboratórium valamennyi főbb eredményét mozgó, élő, kipróbálható minták szemléltetik. Itt egy félvezető technológusnak távoli, de érdekes területet mutat be dr. Ikeda, a lézeres holográfia alkalmazását. Egyik termékük az áruk csomagolásán már nálunk is fellelhető vonalkód kiolvasására szolgál.

Ilyen készülékeket már számos gyártó forgalmaz. A Fujitsu csak azzal tud betömi erre a piacra, hogy az USA és Japán-beli szokással ellentétben a „kényelmes” Európában a bolti pénztárosok ülve dolgoznak. Ezért ott csak az általuk fejlesztett lapos, kb. 15 cm-es készüléket lehet a pultba beépíteni úgy, hogy a pénztáros térde alatta elférjen. Ez is „high-tech” ha marketingnek is hívják!

Izgalmas terület az ujjlenyomat-azonosítás. Az ujjról készített hologramot egy regisztrátummal összevetve — megfelelő software — tévedésmentesen kideríti az adott személy kilétét.

A vezetés végén ismét az igazgató várt minket egy csésze japán zöld teára és meglepéssel nyugtázta az elismerő véleményeket, kerteles nélkül válaszolt az intim részleteket is firtató nyugatiak kérdéseire. Píllantás volt ez a jövőbe. Némi elégtételt jelentett az ámuló magyarnak, hogy az itt, ilyen széles körben alkalmazott holográfia, olyan Nobel-díjas tudós munkásságának eredménye, aki — legalábbis származását tekintve — honfitársa volt.

1985. november

Bársony István