

# HÍRADÁS- TECHNIKA

---

---

---

**A HÍRADÁS-  
TECHNIKAI  
TUDOMÁNYOS  
EGYESÜLET  
LAPJA**

**11**

# HÍRADÁS- TECHNIKA

1975. november XXVI. évfolyam 11. szám

A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET LAPJA

## TARTALOM

ANTAL LÁSZLÓ: Szubjektív vizsgálatok diszkrét és mátrix kvadrofóniával .....	321
Dr. KEMÉNY ÁDÁM—KALMÁR GÁBOR: TTL sorozatú SSI digitális integrált áramkörök 100 millió eszközórás megbízhatósági vizsgálatainak újabb eredményei. II. rész. Vizsgálati eredmények és azok hibafizikai interpretációja .....	324
Környezetállósági vizsgálatok. Mechanikai hatások vizsgálata (Kesselyák Péter) .....	344
BNV-díjas termékek .....	345
Egyesületi hírek .....	350
Szemle .....	350
Tartalmi összefoglalások .....	351
Обобщения .....	351
Zusammenfassungen .....	351
Summaries .....	351
Résumés .....	352

Operatív szerkesztő bizottság: BOGLÁR GYULA szerkesztő, BALOGH PÁL, DR. FLESCHE ISTVÁN, MAY PÉTER, DR. RUPPENTHAL PÉTER, DR. SÁRKÖZY GÉZA. — Szerkesztőségi és kéziratokkal kapcsolatos ügyekben felvilágosítást ad: SZÖLLÖSI GYÖRGYNÉ, telefon: 495-098

### HÍRADÁSTECHNIKA

A szerkesztésért felelős: Boglár Gyula. Szerkesztőség címe: 1055 Budapest V., Kossuth Lajos tér 6—8. Telefon: 113-027. Kiadja: a Lapkiadó Vállalat, 1073 Budapest, Lenin krt. 9—11., telefon: 221-285. Levélcím: 1906 Budapest, Pf. 223. Felelős kiadó: Siklósi Norbert. Terjeszti a Magyar Posta. Előfizethető bármely postahivatalnál, a kézbesítőknél, a Posta hírlapüzleteiben és a Posta Központi Hírlapirodánál (KHI, 1900 Budapest, József nádor tér 1.) közvetlenül vagy postautalványon, valamint átutalással a KHI 215—96 162 pénzforgalmi jelzőszámra. Előfizetési díj: fél évre 36 Ft, egész évre 72 Ft. Egyes szám ára: 6 Ft. Megjelenik havonta. A folyóirat külföldre előfizethető: „KULTÚRA” Könyv- és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat, H—1389 Budapest. Postafiók 149 75.4091 Egyetemi Nyomda, Budapest. Felelős vezető: Janka Gyula igazgató

Index: 25 375

ANTAL LÁSZLÓ

## Szubjektív vizsgálatok diszkrét és mátrix kvadrofóniával

ETO 534.76:681.84.087.7

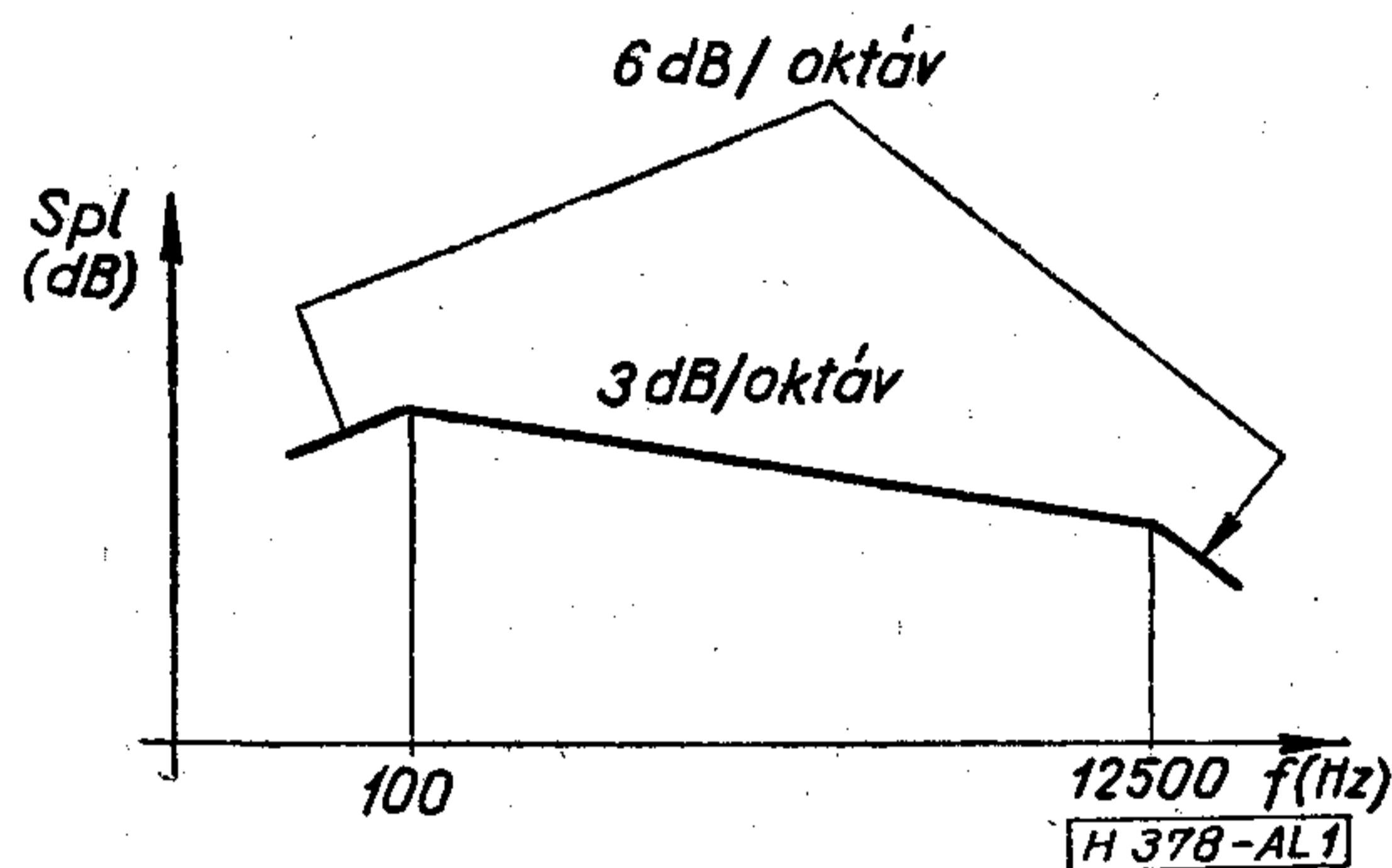
A kvadrofónia, ez a gyorsan növekvő új technika, sok ember érdeklődését kelti fel nálunk is. Az érdeklődés két oldalú: A művészek érdeklődése, akik új kifejezési formákat remélnek találni, és a műszakiak érdeklődése, amely részben az új, érdekes technikának szól, részben az újszerű hanghatásoknak, amelyekkel élethű vagy meglepő hangvisszaadást lehet létrehozni.

A kvadrofóniával felvételek formájában először a Magyar Rádió foglalkozott, ahol sok zenei témát és még több hangjátékot vettek fel négycsatornás technikával. A hangjátékok kapcsán a lokalizálási igény hangsúlyozottan merült fel, mivel a művészi kifejezésnek lényeges eleme a szereplők helye és mozgása. A hangjáték szempontjából tehát csak a jó lokalizációt biztosító rendszerek jöhetnek szóba.

A hangvisszaadás célja kétféle lehet: az eredeti hangtér élethű visszaadása, vagy a kellemes benyomást keltő visszaadás, még ha ez az eredetitől el is tér. Az első tulajdonképpen nehezen teljesíthető, mivel a felvételi technika módosítja az eredeti hangeseeményt, az átviteli lánc útján pedig ez még tovább módosul. Így feltétlenül a következő kérdés merül fel: melyek a hangeseemény fontos tulajdonságai, amelyeket a kvadrofón technikával vissza kell adni. Az igényeket ismerve felvettünk néhány jellemzőt és megvizsgáltuk a különböző rendszerek hatását e jellemzőkre. A jellemzőket általában a hangtérértékelés szempontjából választottuk meg, mivel ennek visszaadását kívántuk vizsgálni.

### Lokalizációs vizsgálatok

A lokalizációs vizsgálatokat a leggyakrabban használt SQ és QS mátrixolt és a diszkrét rendszerekkel végeztük, a rendszert zajjellel táplálva. A felhasznált zaj rózsaszín zaj volt a sáv elején és a végén 6 dB/oktáv meredekséggel vágva, a sávhatárok 100 Hz és 12 500 Hz voltak (1. ábra). A vizsgálojel időtartama 15 mp volt, ez idő alatt kellett a hallgatóknak az irányt megítélni és az elkészített tesztlapokon megjelölni. A statisztikus egymás utánban megszólaltatott vizsgálójel nyolc irányból hangzott fel. A hallgatóknak ezzel szemben 16 irány közül volt lehetőségük a legvalószínűbb irány kiválasztására.



1. ábra

tott vizsgálójel nyolc irányból hangzott fel. A hallgatóknak ezzel szemben 16 irány közül volt lehetőségük a legvalószínűbb irány kiválasztására.

A vizsgálat 20 emberrel történt, akik négyes csoportokban a hangszórók által meghatározott négyzet középpontja körül ültek. A szoba 60 m<sup>3</sup> légterű volt, szekrényekkel, polcokkal, íróasztalokkal bútorozva. Az ablakokat vastag függöny borította és statisztikus elrendezésű elnyelők gondoskodtak az utószengés 0,5–0,6 mp körüli beállításáról a 250–5000 Hz-ig terjedő tartományban.

Az elektroakusztikai lánc egy négycsatornás magnóból (Sony TC 654–4), egy SQ–QS kóderből (Videoton), egy 20–40 blendelt SQ dekóderből (Videoton), egy QS dekóderből (Videoton), egy 160 W-os négycsatornás erősítőből (Scott) és 4 db 70 W-os hangszugárzóból (Videoton, D402) állott (2. ábra).

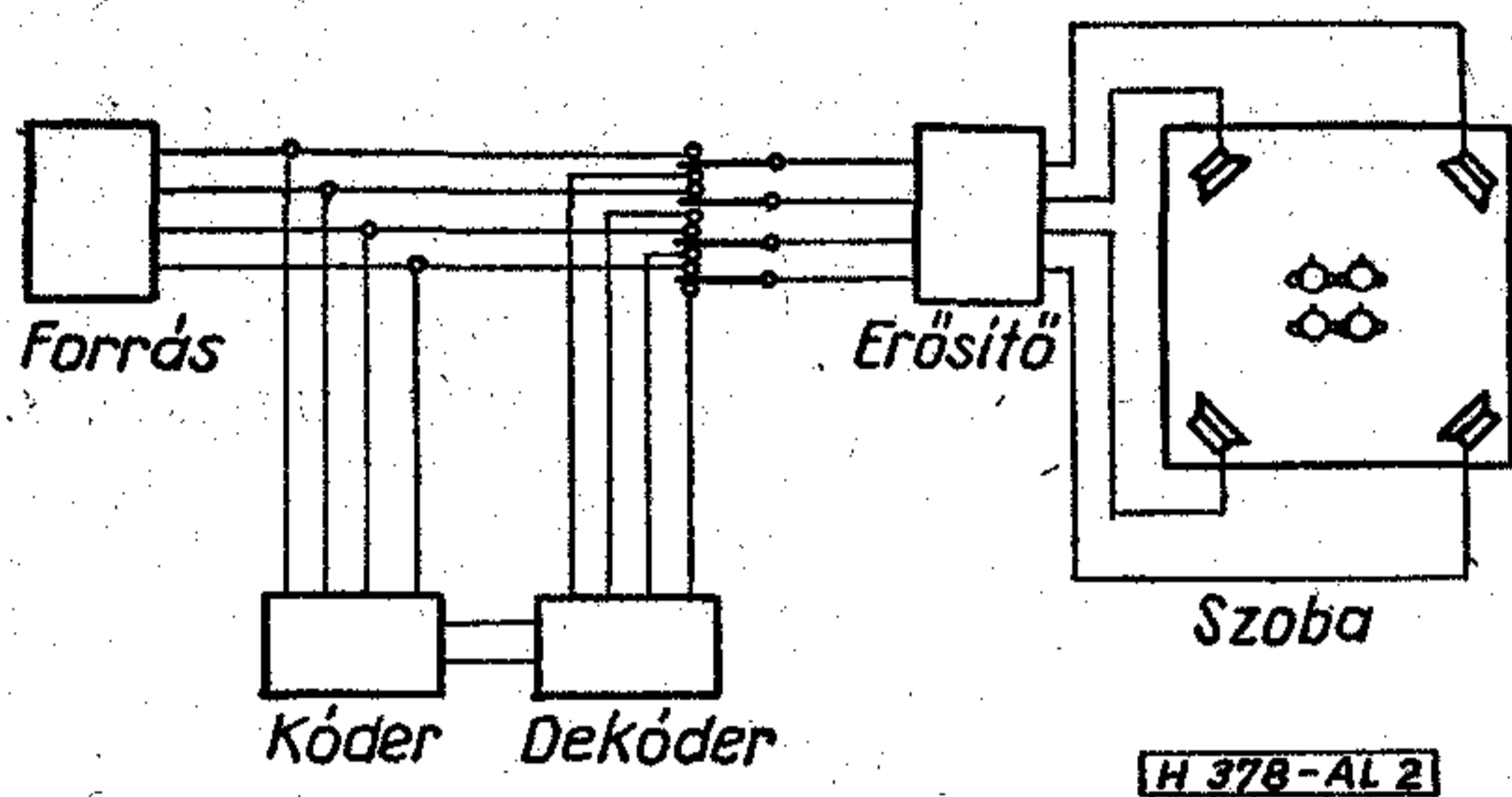
A hangszórók egymástól való távolsága 4 m volt; a hangnyomás 90 dB volt a négy hangszóró sugárzási terének középpontjában, a hallgatók helyén. Minden 15 mp-es zajjel után 5 mp szünet következett. A hallgatók fele zeneileg művelt volt, és a férfi–nő arány 12/8 volt, a hallgatók kora 17–38 év között változott.

A lokalizációs vizsgálatok értékelése az egyes irányokhoz tartozó igen szavazatok összeadásából és grafikus ábrázolásából állt. Az eredmények a 3., 4., 5. ábrán láthatók.

Az ábrákon a 8 négyzetben elhelyezett 8 kör a megszólaló hangok tényleges irányát jelenti, a körök kö-

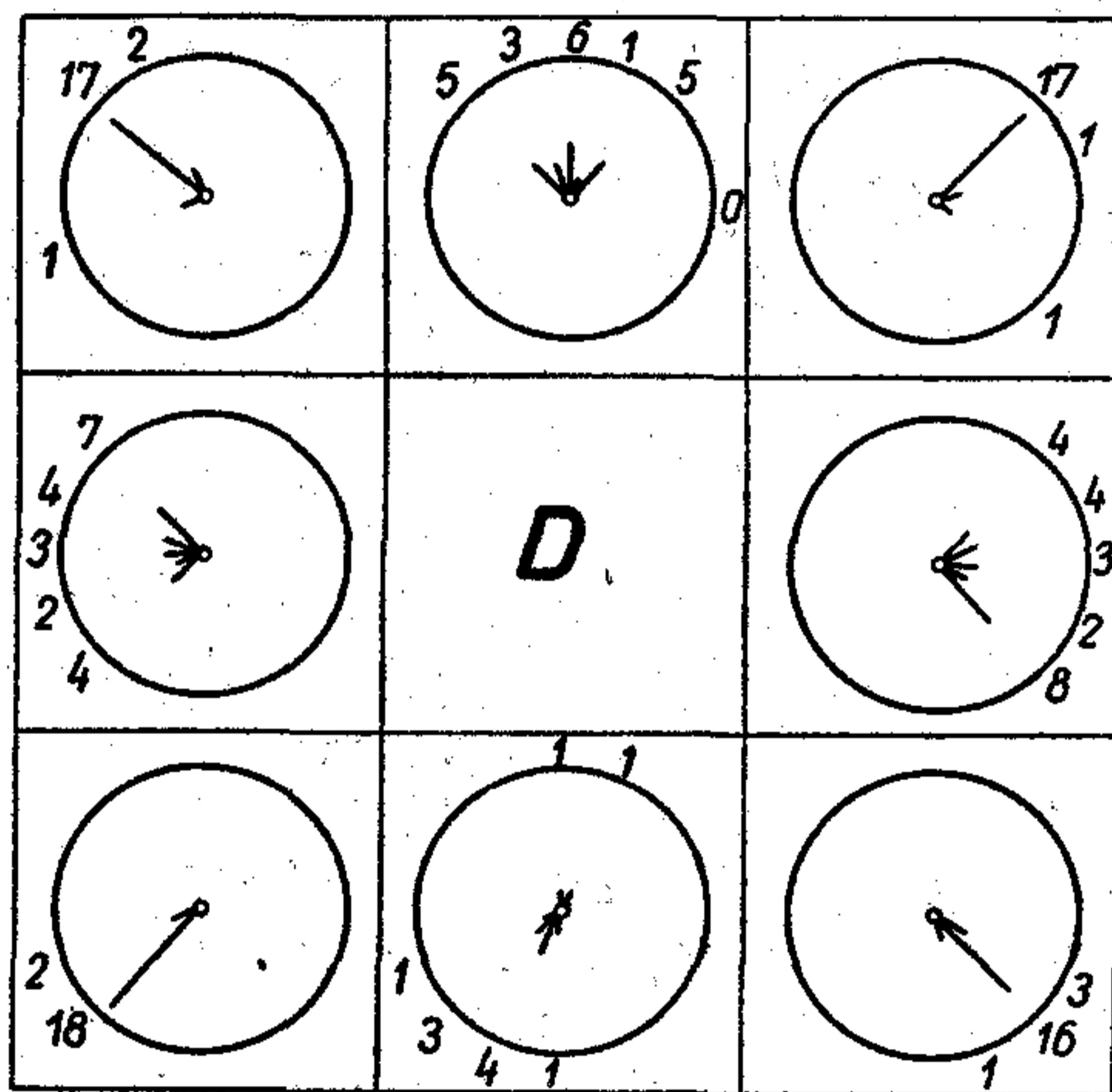
zépéből kiinduló vonalak a hallgatók által megjelölt irányokat; a vonalak hosszúsága arányos az adott irányba történő lokalizálás gyakoriságával; ugyanezt jelzi a kör kerületén a 16 irány valamelyikéhez írt szám is. A maximális elérhető szám 20 volt (az összes hallgatók száma), a vonal ekkor éppen a kör kerületéig ért volna (tökéletes lokalizálás).

A 16 irány lehetővé tette a finom iránymeghatározást. Az első megállapítás az, hogy a fő irányok (a „sarkok”) nagyon jól felismerhetők a diszkrét átvitelnél (17, 17, 18 és 16 helyes válasz 20-ból) míg az első középirány gyengén (6), az oldalközépek még



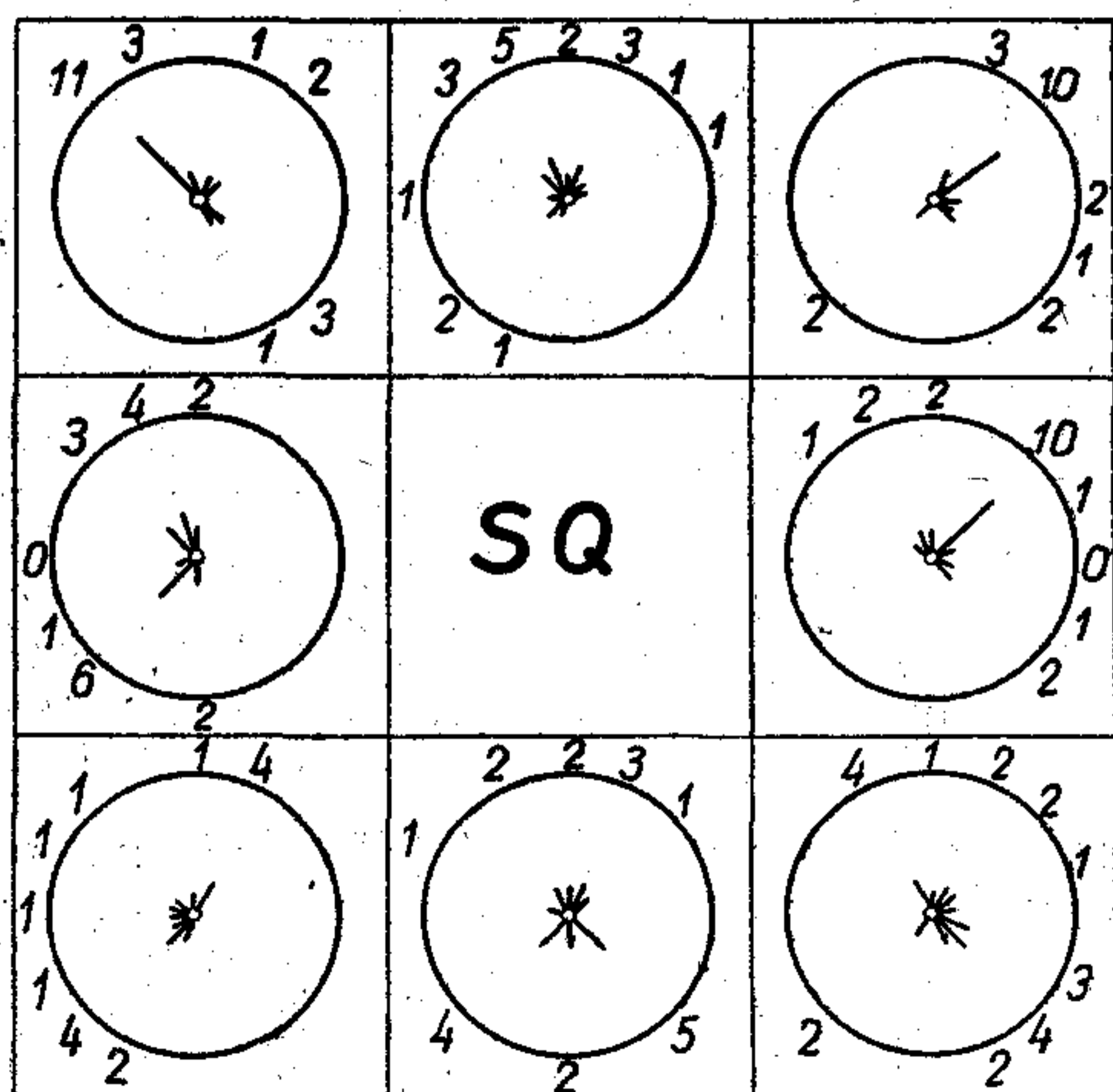
2. ábra

Diszkrét csatornák



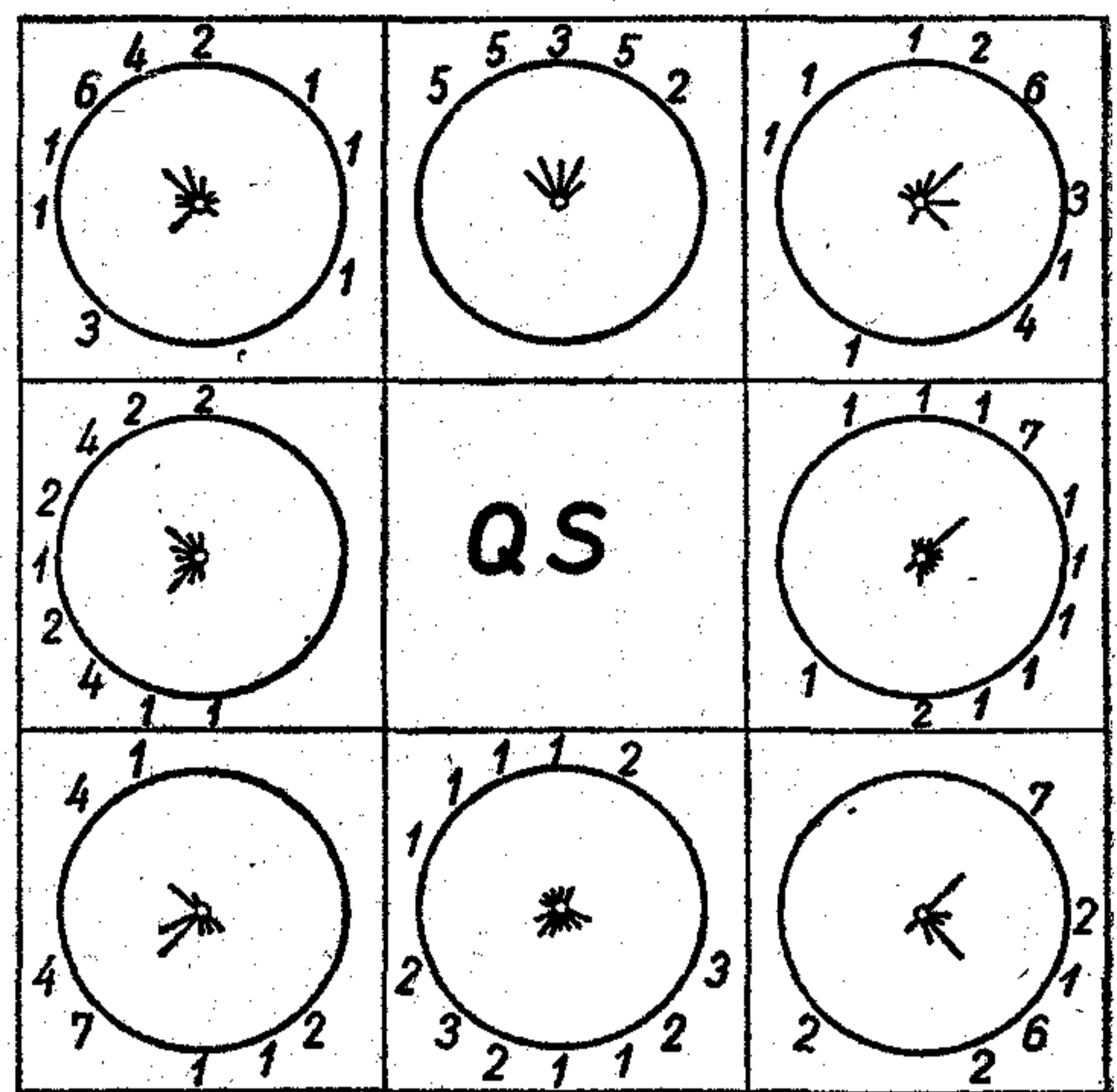
3. ábra

SQ mátrixolt csatornák



4. ábra

QS mátrixolt csatornák



5. ábra

D	SQ	QS
17 6 17	11 2 10	6 3 6
3 3	0 0	1 1
18 1 16	4 2 4	7 1 6

6. ábra

D	SQ	QS
17 10 17	11 10 10	6 13 6
9 9	1 2	5 3
18 5 16	4 2 4	7 4 6

7. ábra

gyengébben (3–3) lokalizálhatók, a leggyengébben pedig mindegyik közül a hátsó közép (1). A fő irányok közötti virtuális irányokat, illetve az ezekre adott szavazatokat összevonva jobb értékeket kapunk, de a kapott értékek még így is gyengék, különösen a hátsó középirány. A virtuális hangforrások gyenge lokalizálhatósága csak részben meglepő, mivel az oldalsó és hátsó hangforrások esetén a fül lokalizációs képessége alacsony, de az alacsony értékek hangsúlyozzák a fő irányok fontosságát a kvadrofón hangbenyomásban.

Az SQ mátrixrendszerek a két első fő irányban adják a legjobb lokalizálási értéket (10, 11). Az első közép és a hátsó közép igen gyenge (2, 2), az oldalirányok pedig teljesen lokalizálhatatlanok (0, 0). Az irányösszevonás igen magas lokalizációs értéket ad az első virtuális hangforrásokra (10); az oldalsó és hátsó hangforrások lokalizálása gyenge, de nem zérus. A hátsó fő irányok lokalizálhatósága csak feleakkora értékű, mint az elsőké.

A QS mátrixrendszer a fő irányok szimmetriáját mutatja (6, 6, 7, 6), de az értékek alacsonyak. Az ol-

dalsó és hátsó virtuális hangforrások lokalizálása nagyon gyenge (1, 1, 1), az első valamivel jobb (3). Az összevont irányoknál az első virtuális hangforrások lokalizálhatósága viszonylag magas (13) és a többi virtuális irány is jobban lokalizálható, mint az SQ rendszer esetén.

Az eredményeket összegezve megállapítható, hogy a fő irányok jó lokalizálhatósága a fő különbség a diszkrét és mátrixrendszerek között.

Az SQ összehasonlítva a QS rendszerrel jobb eredményt ad az első sarkokra, de a hátsó irányok alig lokalizálhatók. A virtuális hangforrásokra a diszkrét rendszer is gyenge lokalizálási eredményt ad; a mátrixrendszerek közül pedig a QS jobb eredményt szolgáltat, mint az SQ (6., 7. ábra).

### Szubjektív meghallgatási vizsgálatok

A vizsgálat e részében háromfajta programot játszottunk le három rendszeren. A három programanyag a következő volt:

1. Mozart: Jupiter Szimfónia k. sz. 551 3. tétel (3 perc)
2. Ibsen: Peer Gynt: Peer álma (3 perc)
3. Viktor Máté: Talán

Az 1. és 2. a Magyar Rádió 6-os stúdiójában volt felvéve; térfogata 2140 m<sup>3</sup>, utözengési ideje 1,6 sec. 1000 Hz-en; a használt mikrofonok Neumann 4 KM 84 típ. mikrofonok voltak, 4×4 méteres négyzet sarkain elhelyezve. A 3. téma egy kis stúdióhelyiségben volt felvéve egy mikrofonnal, a négy csatornát külön-külön felvéve.

A vizsgálatokat A—B teszt formájában végeztük, a diszkrét átvitelt először az SQ-val, majd a QS rendszerrel összehasonlítva.

A részleteket először az A, majd a B rendszerrel játszottuk le; az átkapcsolás fél perc hallgatás után történt; lámpa jelezte, hogy melyik rendszer működik.

A vizsgálat célja volt a három rendszer által visszaadott hangtér szubjektív sajátosságainak a felderítése. E célból az alábbi kérdéseket tettük fel a hallgatóknak:

- Melyik rendszer helyezi inkább a hangokat a sarkokba? (1)
- Melyiknél érzi a hangteret maga körül? (2)
- Melyik esetén érzi a hangokat bizonytalan eredetűeknek? (3)
- Melyiknél érzi a termet megnagyobbodni? (4)
- Melyiknél tudja jobban megfigyelni a szereplők mozgását? (5)

(Ez utóbbit csak a rádiójáték-programnál kérdeztük.)

A kísérleti eredményeket a 8. ábra mutatja. A sötét és világos részek aránya mutatja az A—B teszt során a kérdéses jellemzőre vonatkozó szavazatarányt.

Az eredményeket részletezve az alábbiakat kapjuk:

- (1) a sarokból jövő hangeffektus legjobban a diszkrét rendszerrel jelentkezik; az SQ esetén ez jóval kisebb a QS-nél pedig kifejezetten alacsony érték. Ez a lokalizálási vizsgálatokkal jól egyezik, mivel ott az SQ sarkok jól lokalizálhatóak voltak, a QS

	Klasszikus zene		Könnyű zene		Rádiójáték		Átlag	
	D/SQ	D/QS	D/SQ	D/QS	D/SQ	D/QS	D/SQ	D/QS
Hangok a sarokból	●	●	●	●	●	●	●	●
Ember a hangban	●	○	●	○	●	○	●	○
Bizonytalan eredetű hang	●	○	○	○	○	○	○	○
Szoba megnagyobbodása	●	●	●	●	●	●	●	●
Mozgás érzékelhetőség					●	●	●	●

H 378-AL 8

8. ábra

esetén viszont jóval gyengébb értékek adódtak. (2) Az „ember a hangban” effektus leginkább a QS-nél volt érezhető, míg az SQ kissé alacsonyabb értéket adott.

(3) A hangok bizonytalan eredete a QS és SQ esetén azonos mértékű volt, a diszkrét érték 3—4-szerese.

(4) A terem megnagyobbodás a diszkrét esetén volt a legkifejezettebb, az SQ és QS esetén feleakkora érték adódott.

(5) A mozgás észrevehetősége 3—4-szeres értékű volt diszkrét esetben, mint az SQ vagy a QS esetén.

Az egyes jellemzők a vizsgálat számadatai alapján két csoportra oszlanak: az egyik csoport az (1), (4), (5) jellemzőt tartalmazza, a másik a (2), (3) jellemzőt. Úgy tűnik, hogy a hangok sarokból történő hallása a terem látszólagos megnagyobbodását adja és a mozgás jobb érzékelhetőségét. Ugyanakkor a hangok bizonytalan eredete és a hangtérben való bennlét érzése (mintegy a „hangok tengerében” való tartózkodás) ugyancsak hasonló élmény. Tekintve, hogy a diszkrét rendszer viszonylag gyenge virtuális hangforrás, lokalizációja ellenére igen meggyőző térélményt nyújt, úgy tűnik, hogy a pontos lokalizáció a „kvadrofón érzetben” nem annyira fontos, mint eddig gondoltuk. Ezen érzet legnagyobb részét a sarokból jövő hangok adják és különösen fontosak a hátsó sarokból jövő hangok, talán mert ezek teljesen különböznek az eddig megszokott hangeffektusoktól. Ha hangsúlyozzuk (azaz megfelelő technikával), a sarokból jövő hang nagyon erőteljes benyomást kelthet, különösen drámai helyzetekben, ahol a hangsúlyozás a művészi kifejezés fontos eszköze lehet.

### Összefoglalás

A vizsgálatok során a diszkrét, valamint az SQ és QS mátrixrendszerrel végeztünk lokalizálhatósági és meghallgatási teszteket. A vizsgálatok eredménye azt mutatja, hogy a diszkrét átvitel a fő irányok igen jó lokalizációját teszi lehetővé, míg a virtuális irányok rosszul lokalizálhatók. Az SQ rendszerrel az első térfél lokalizációja lényegesen jobb, a QS-nél az első és hátsó egyforma, de alacsony szintű. A meghallgatási tesztek szintén a fő irányok szerepét emelik ki, amelyek így a kvadro térélmény alapvető meghatározóiá válnak.

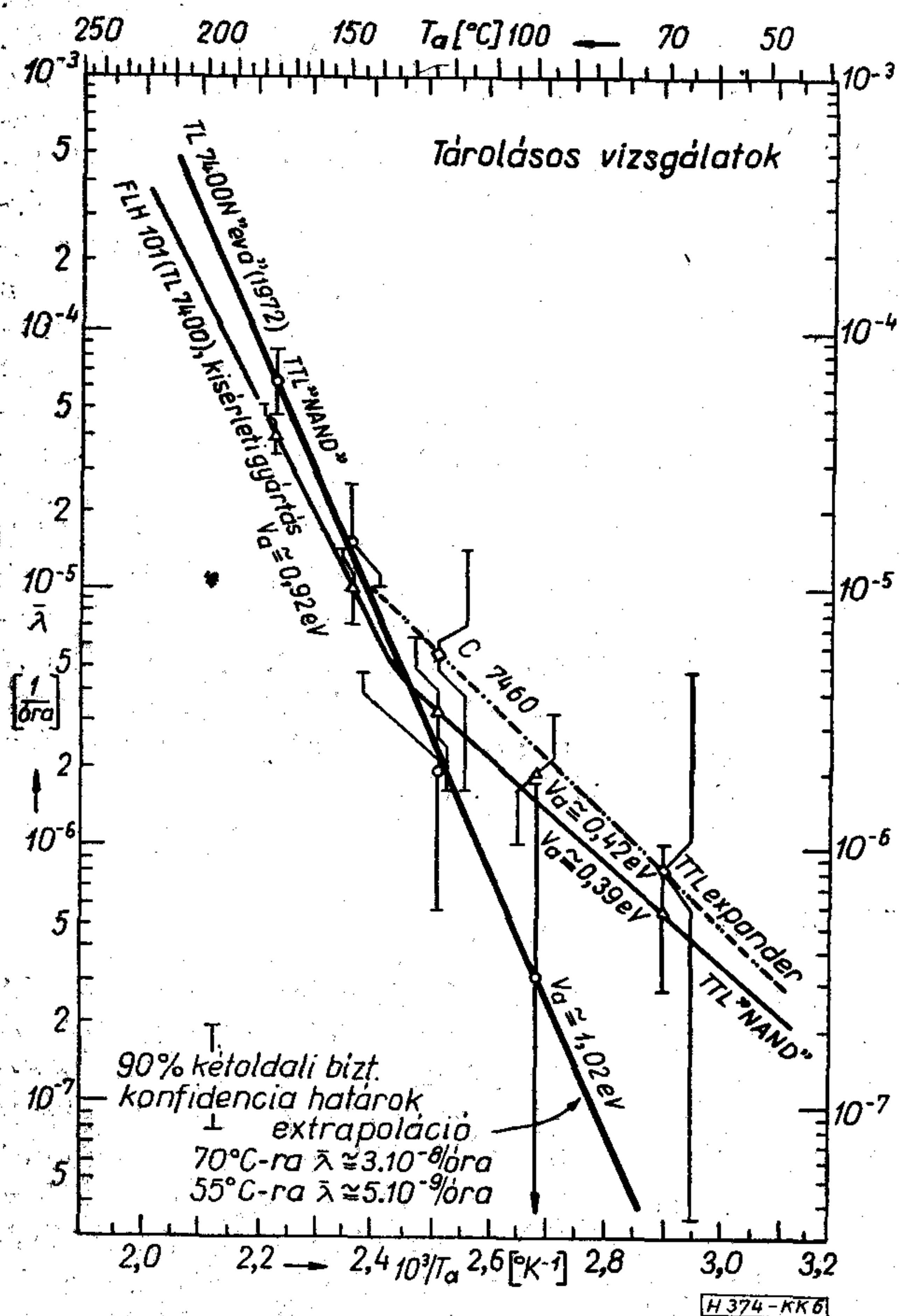
# TTL sorozatú SSI digitális integrált áramkörök 100 millió eszközórás megbízhatósági vizsgálatának újabb eredményei

## II. rész. Vizsgálati eredmények és azok hibafizikai interpretációja

ETO: 620.199:621.3.019.3.621.3.049.771.14:681.325

A vizsgálati módszerek és azok várható hatásának ismertetése után a világviszonylatban is jelentős volumenű vizsgálati eredmény áttekintését és hibafizikai szempontból való kiértékelését végezzük el, korszerű pásztázó elektronmikrográfiai módszereket is alkalmazva.

Beérkezett: 1975. IV. 11.



6. ábra. A tárolásos vizsgálatok eredményei a  $\log \bar{\lambda}(1/T_a)$  gyorsítási egyenesek formájában

### 5. A tárolásos vizsgálatok eredményei [1, 13, 18]

A 4. táblázatban és a 6. ábrán szemléletesen összefoglaljuk az eddig összesen 45,6 millió eszköz-órás terjedelmet kitevő tárolásos vizsgálatok hibastatisztikáját. A külföldi ellenőrző minta (C 7460) eredményei nem vethetők össze minden további nélkül a bonyolultabb hazai NAND-kapuk két (korai kísérleti, és reguláris gyártásból származó) tételével, már csak az előbbi lazább előírásai miatt sem, nem is beszélve arról, hogy az itt vizsgált C 7460 expander meglepően nagy 0-órás selejtje miatt meglehetősen szerencsétlen, a valódi minőséget nem reprezentáló mintához jutottunk (a fenti, szocialista eredetű SSI sorozat kitűnő minősége az erős gyorsítású statikus módszerrel vizsgált NAND-kapuk és J-K flip-flop típusoknál mutatkozik meg, l. később). A hazai négyszeres NAND-kapuk két csoportja között a folyó gyártás minőségi javulása a kísérleti gyártáshoz képest kézenfekvő. Így a folyó „eva” jelölésű gyártás 70 °C-os mintájánál 15 000 óra alatt egyáltalán nem lépett fel hibásodás (70 °C különben az adatlapon megengedett maximális működési hőmérséklet), emiatt számszerűen csak az  $\bar{\lambda}$  faktor 60%-os felső konfidenciahatára adható ott meg. Nem lévén egyéb viszonyítási alap, a  $\bar{\lambda}(T_a)/\bar{\lambda}(70\text{ °C})$  gyorsítási tényező rubrikájában a magasabb hőmérsékletű vizsgálatok eredményeinek 60%-os felső konfidenciahatárát vettük figyelembe (zárójelben), de a  $V_a$  aktiválási energia számításánál, a 70 és 100 °C közötti vizsgálatpár 0,63 eV-os értékétől eltekintve (amely a 60%-os felső határok alapján van számítva), a többi vizsgálatpárnál a  $\bar{\lambda}$  tényleges kísérleti eredményeit vettük a (12) egyenlet szerint tekintetbe.

Alacsony hőmérsékletű vizsgálati lépcsőknél (70... 125 °C) a hibásodások elszórtan léptek fel, mert még nem — vagy csak alig — érték el a vizsgált tételek a kontaktuspestises elhasználódás fázisába, ahogy ezt a 7. és 8. ábrák  $\bar{\lambda}(t)$  függvényei is bizonyítják.

Ezzel szemben a két legmagasabb hőmérsékletű lépcsőben — 150 és 175 °C-on — megfigyelhető egyrészt a  $V_{out(0)}$  degradáció, másrészt a szakadáshibák tömeges fellépése. Ez a kétfajta hiba egyértelműen azonos okra vezethető vissza: a bondolt termokomp-

TTL IC-k tárolásos vizsgálatainak eredményei

Funkció Típus/eredet Texas ekvivalens	négyeseres, 2-bemenetű „NAND” kapu										kettős expander		Funkció Típus/eredet Texas ekvival.
	FLH 101 (= TL 7400 N), korai kísérlet SN 7400 N					TL 7400 N, „eva” folyó gyártás (1972) SN 7400 N					C 7460 ~SN 7460 N		
$N_0$ , induló dbszám	1000	400	250	250	200	500	200	200	200	100	250	130	$N_0$ [db]
$t_{tot}$ , vizsg. idő [óra]	15 000	15 000	10 000	10 000	6000	15 000	15 000	15 000	5000	5000	15 000	5000	$t_{tot}$ [óra]
$N_0 \cdot t_{tot}$ [ $10^6$ óra]	15,0	6,0	2,5	2,5	1,2	7,5	3,0	3,0	1,0	0,5	3,75	0,65	$N_0 t_{tot}$ [ $10^6$ óra]
$T_a$ [°C]	70	100	125	150	175	70	100	125	150	175	70	25	$T_a$ [°C]
$V_{out(0)} > 0,4$ V $V_{out(1)} < 2,4$ V	—	2	—	9	25	—	—	3	7	9	—	—	$V_{on} > 0,4$ V $I_{off} > 270$ $\mu$ A
$-I_{in(0)} > 1,6$ mA	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$-I_{in(0)} > 1,6$ mA
$I_{in(1)} > 40$ $\mu$ A	2	5	7	4	3	—	—	3	1	1	—	—	$I_{in(1)} > 90$ $\mu$ A
$I_{os} \leq \frac{18}{55}$ mA	2	—	—	1	—	—	—	—	—	—	1	—	$I_{on} <  -0,43$ mA
$I_{CC(0)} > 22$ mA	1	—	1	—	2	—	—	—	—	—	—	1	$I_{CC(off)} > 4$ mA
$I_{CC(1)} > 8$ mA	2	—	1	1	—	—	—	—	—	—	1	1	$I_{CC(on)} > 2,5$ mA
szakadás*** zárlat	— 1	5 —	— —	10 1	22 —	— —	— 1§	— —	10 —	22 —	1 —	2 —	szakadás zárlat
$\Sigma r$ összhiba [db]	9	12	9	27	53	—	1	6	18	33	3	4	$\Sigma r$ [db]
$10^5 \bar{\lambda}$ [1/óra]	0,060	0,202	0,36	1,08	4,40	—	0,033	0,200	1,80	6,60	0,083	0,58	$10^5 \bar{\lambda}$ [1/óra]
$10^5 \lambda_{max}$ 60% C. L. [1/óra]	0,070	0,230	0,42	1,16	~4,40	0,0125*	0,069	0,246	1,89	7,06	0,117	0,76	** [1/óra]
$\bar{\lambda}(T_a)/\bar{\lambda}(70^\circ C)$	1	3,37	6,0	18,0	73,2	?(1)	?(5,22)	?(21,2)	?(151)	?(565)	1	6,88	$\bar{\lambda}(T_a)/\bar{\lambda}(70^\circ C)$
$V_a$ , aktív-energia [eV]	0,45	0,30	0,64	0,92	(0,63)	0,92	1,28	0,85			0,42		$V_a$ [eV]
0-óránál hibás [db]	3	5	—	2	—	—	—	—	—	1	9	1	0-óránál hibás hibaok
Hibaok	$I_{CC(1)}$	—		$I_{CC(1)}$						$I_{CC(1)}$		$I_{CC(on)}$	

\* Nem lévén hibásodás, szabály szerint 0,95 „fiktív” hibát vettünk tekintetbe.

\*\* Felső határ 60% konfidenciaszintnél.

\*\*\* Túlnyomórészt az Au-Al bondolások szakadása.

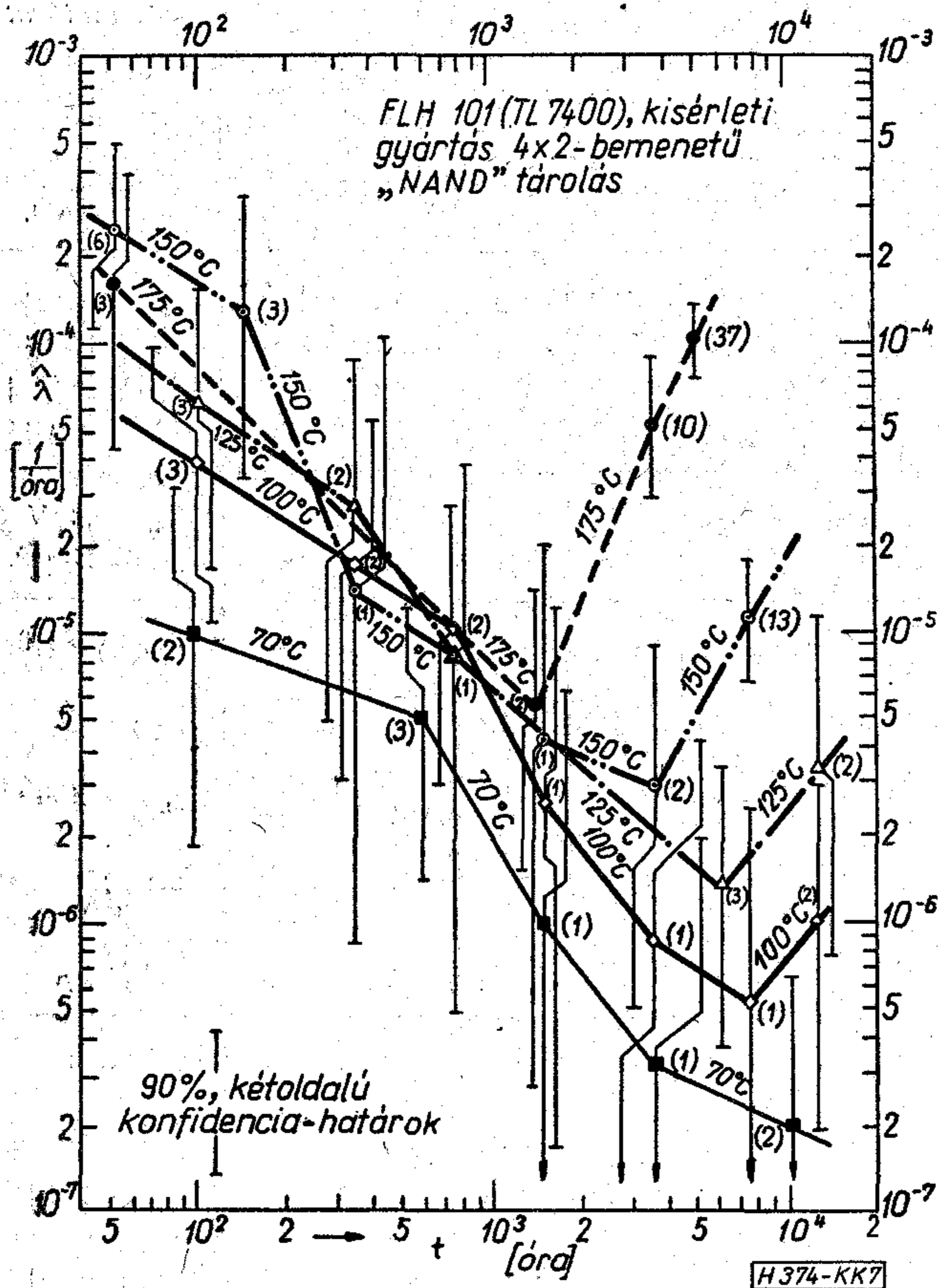
ressziós Au-Al kötések pestisére. A  $V_{out(0)}$  megemelkedése a 0,4 V-os adatlapi határon túl ennek a hibának a szakadás előtti, de már előrehaladott fázisát mutatja, mivel a  $V_{out(0)}$  mérésénél a kimenetbe befolyó, viszonylag nagyon nagy  $I_{sink} = -16$  mA előírt worst-case áram a pestis miatt nagy átmeneti ellenállású Au-Al kötésnél nagy feszültségesést okoz. A  $V_{out(0)}$  így a kontaktusromlásra jól rámutató előrejelző index. Tárolásos vizsgálatnál, ahol a magas hőmérséklet egyaránt hat az összes termokomprimált kötésre, a pestises romlás szempontjából nincs kiemelt kontaktus, és így, ha a  $V_{out(0)}$ -nál jelentős

hibásodás lép fel, ez nem azt jelenti, hogy a többi kontaktus nem romlott le hasonlóan, mint a  $V_{out(0)}$ -val kapcsolatos kimeneti (X) kontaktus, mindössze a többi paraméter nem mutatja ki olyan érzékenyen a pestises romlást, mint a  $V_{out(0)}$  a kimeneti kontaktusét. Ezt alátámasztja az is, hogy a fellépő összes szakadások közül milyen azok megoszlása az egyes elektródákra érte, amelyek a TL 7400 N „eva” tétel  $10+22=32$  szakadáshibás példányánál (lásd 4. táblázat) fellépő összesen 38 szakadt termokompressziós kötésre nézve az 5. táblázatban található. A 38 szakadt kötés a 32 szakadáshibás példányánál azt

5. táblázat

Szakadáshibák megoszlása az egyes bondolások közt a TL 7400 N „eva” minta tárolásos (150 és 175 °C) vizsgálatnál

$A_1$	$B_1$	$A_2$	$B_2$	$A_3$	$B_3$	$A_4$	$B_4$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$V_{CC}$	GND	Össz.
6	3	1	3	2	1	1	2	4	2	2	3	5	3	38



7. ábra. A hibásodási ráta időfüggése az FLH 101 kísérleti gyártású NAND kapunégyes tárolásos vizsgálatainál. 125 °C felett jól látható az erősen emelkedő elhasználódási szakasz, melyet kontaktuspestis okoz

jelent, hogy egyes daraboknál nemcsak egy, de 2–3 szakadás is fellépett.

A hibásodások fizikai okait tekintve, a 6. táblázatban tüntettük fel százalékos megoszlásuk szerint azokat mind a két vizsgált hazai mintánál.

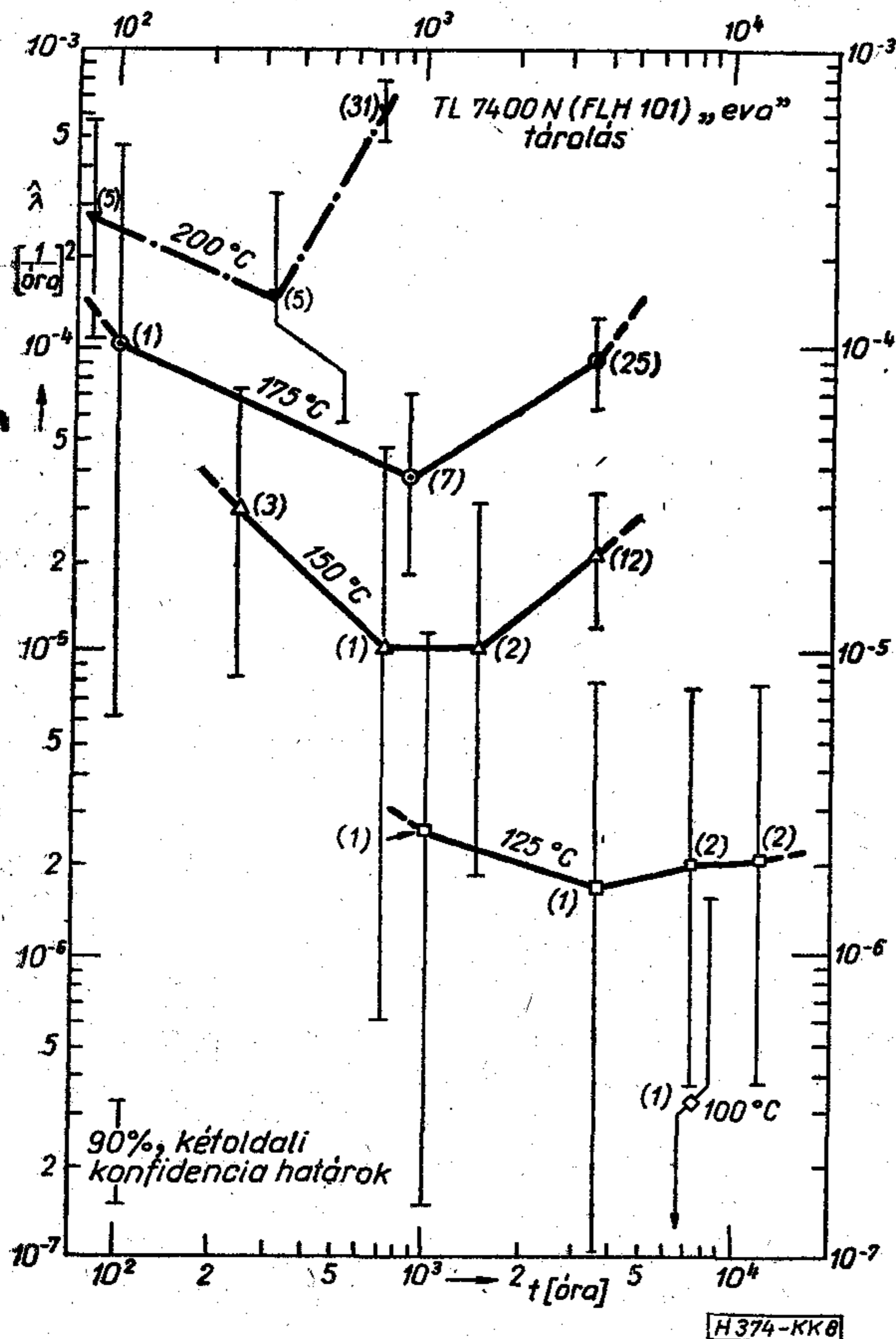
6. táblázat

A hibásodások okainak megoszlása a hazai TTL „NAND” kapuk vizsgálati mintáinál, 70...175 °C tárolás során

Vizsgált minta	FLH 101 kísérl. gyártás	TL 7400 N „eva”
Au-Al bondolások pestise és fémezéshibák		
[szakadások és $V_{out(0)}$ degradáció]	73 66,36%	50 89,29%
[ebből $V_{out(0)} > 0,4$ V degradáció]	(36) (32,73%)	(18) (32,14%)
Nagyszintű áramparaméter-határok túllépése*		
[ $I_{in(0)}$ , $I_{os}$ , $I_{CC(0)}$ és $I_{CC(1)}$ degradáció]	12 10,92%	— —
Nagy szivárgási áram (felületi állapotok) [ $I_{in(1)} > 40 \mu A$ ]*	21 19,09%	4 7,13%
Tranzisztorelemek zárlata (pl. „pinhole” stb.)	2 1,82%	1 1,79%
Egyéb [ $V_{out(1)} < 2,4$ V degradáció]	2 1,82%	1 1,79%
Összhiba a vizsgálat tartama alatt	110 100,00%	56 100,00%
Katasztrofális/összhiba arány	39/110 35,5%	33/56 59,0%
$N_{otot}$ összesített eszköz-óra szorzat	27,2 millió	14 millió

\* Nem funkcionális hiba; a határt enyhén túllépő példány működőképes marad.

A 6. táblázatból világosan kitűnik a reguláris gyártású („eva”) tétel jobb minősége két szempontból is. Először is nem lépett fel egyáltalán olyan degradációs hiba, amely a diffundált ellenállások eleve nagyobb 0-órás értékszórásával, ill. a határhoz közel eső mediánjával kapcsolatos, és a 4. ábra helyettesítő képei értelmében az  $I_{in(0)}$ ,  $I_{CC(0)}$  és  $I_{CC(1)}$  áramparaméterek határon túli növekedésében, ill. az  $I_{os}$  alsó vagy felső határainak túllépésében mutatkozik meg. Ezt



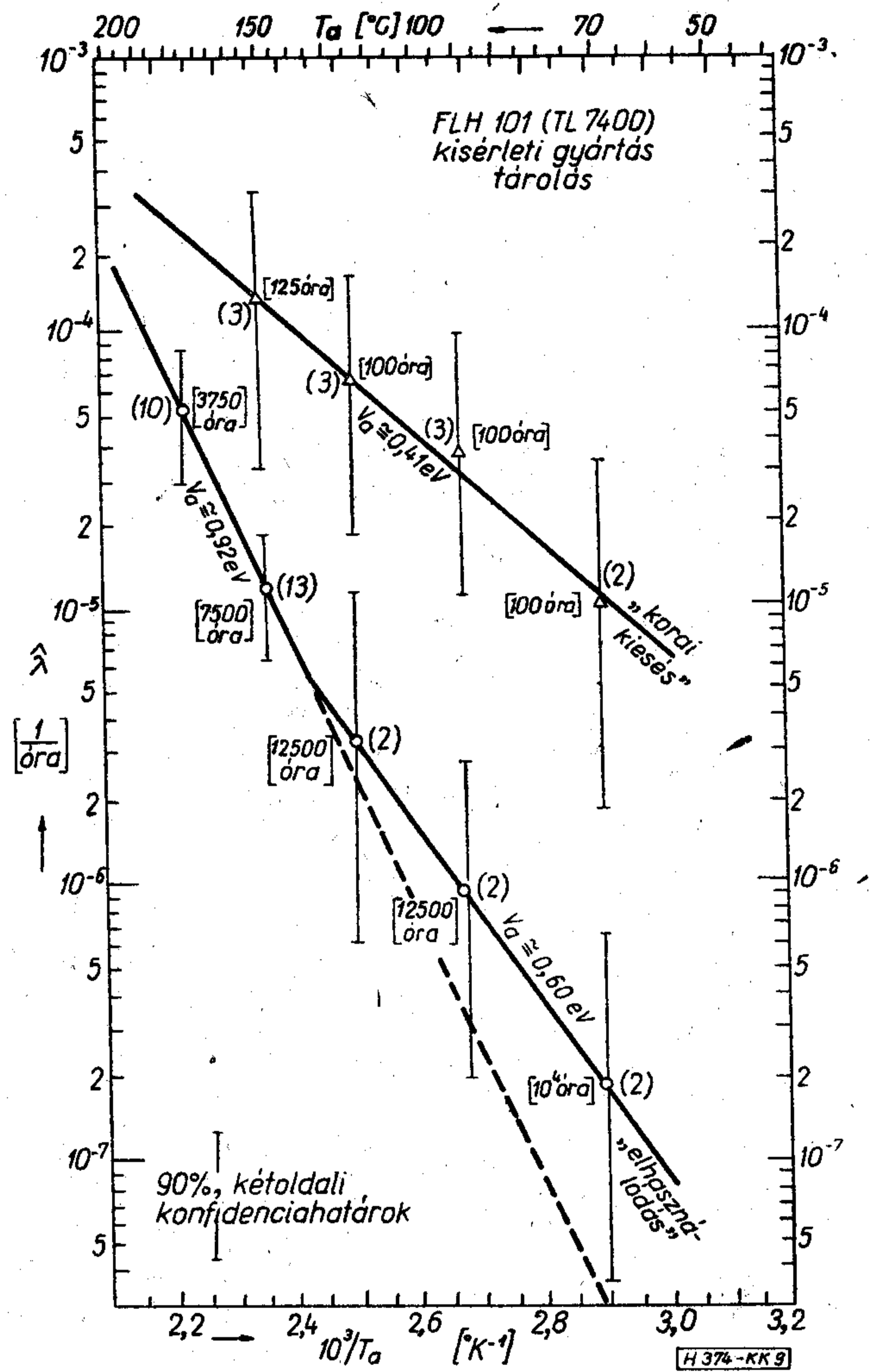
8. ábra. A TL 7400 N „eva” NAND kapunégyes  $\lambda(t)$  függvényei (1972. gyártás). Az elhasználódás 150 °C felett tendenciózusan megjelenik



igazolják egyrészt az előbbi áramparaméterek elosztásfüggvényeinek sokkal kisebb szórásai is (lásd Függelék) a sorozatgyártású „eva” változatnál. Másrészt lényegesen lecsökkent a folyó „eva” gyártásnál az  $I_{in(1)} > 40 \mu A$  degradáció részaránya: 19,1%-ról 7,1%-ra (közel a harmadára), ami sokkal kisebb felületi állapotosságra és konzisztensebb (szűkebb szórású) és kisebb szivárgási áramra mutat. Valóban ezt tapasztalhatjuk az  $I_{in(1)}$  elosztásfüggvényeinél (vizsgálat előtti és utáni állapotokat összehasonlítva), bár az „eva” minőség  $I_{in(1)}$  átlaga eredetileg valamivel magasabb, de értéke a tárolás folyamán gyakorlatilag nem változik, és szórása sokkal kisebb a kísérleti gyártású tétel szórásánál (lásd Függelék). Utóbbi hatás egyértelműen a foszforüveges morzsavédelem alkalmazásával magyarázható az „eva” minőségénél, amely magába gettetezi a  $SiO_2$ -ben levő és különben a  $SiO_2$  alatti Si felületén erős inverziót okozó alkálifém (pl. Na) ionokat és egyéb szennyezéseket. Mindazonáltal mindkét vizsgálati mintában a termokomprimált kötések pestises romlása, ill. szakadása játssza a főszerepet a hibásodásban (90, ill. 67%). Ezzel igazoltuk a bevezetés a) tézisében említetteket.

A (11) Arrhenius-összefüggésre vonatkozó  $\log \lambda(1/T_a)$  gyorsítási függvényeket az összes itteni vizsgálati tételekre a 6. ábrán mutatjuk be, amely a 4. táblázatban közölt eredményekre épül. A folyó gyártás (TL 7400 N „eva”) eredménye 100 és 175 °C közt meglehetősen egybehangzóan 1 eV aktiválási energiát ad. Az egyes eredmények pontjainak enyhe szórása az 1 eV aktiválási energiát képviselő gyorsítási egyenestől nem számottevő (vastag folytonos vonal). Ez az elkerülhetetlen statisztikai ingadozás okozza különben a 4. táblázat  $V_a$  értékeiben mutatkozó szórást (0,92–1,28–0,85 eV) is. Az FLH 101 kísérleti gyártású tételnél a helyzet már nem ilyen egyértelmű, bár a megbízhatóság számszerű értékében nincs lényeges eltérés a két gyártás közt: 130 °C közelében a két függvény átmetszi egymást. A vékony folytonos vonallal jelzett kísérleti gyártású tételnél magas hőmérsékleten 0,92 eV aktiválási energia adódik, amely nem tér el lényegesen az „eva” minta 1,0 eV-os értékétől, de alacsony hőmérsékletnél  $V_a$  0,39 eV-ra esik le virtuálisan, amelynek okairól a bevezetés e) pontjában már említést tettünk [1, 18]. Ezt a tényt tehát vizsgálati hibának tekinthetjük. Mindenesetre a  $V_a$  hőmérsékleti aktiválási energia jellemző értéke — legalábbis 100 és 200 °C közt — 1 eV-ra tehető, amely a diszkrét szilícium tranzisztorokéval egyezik meg [7, 8, 9, 10].

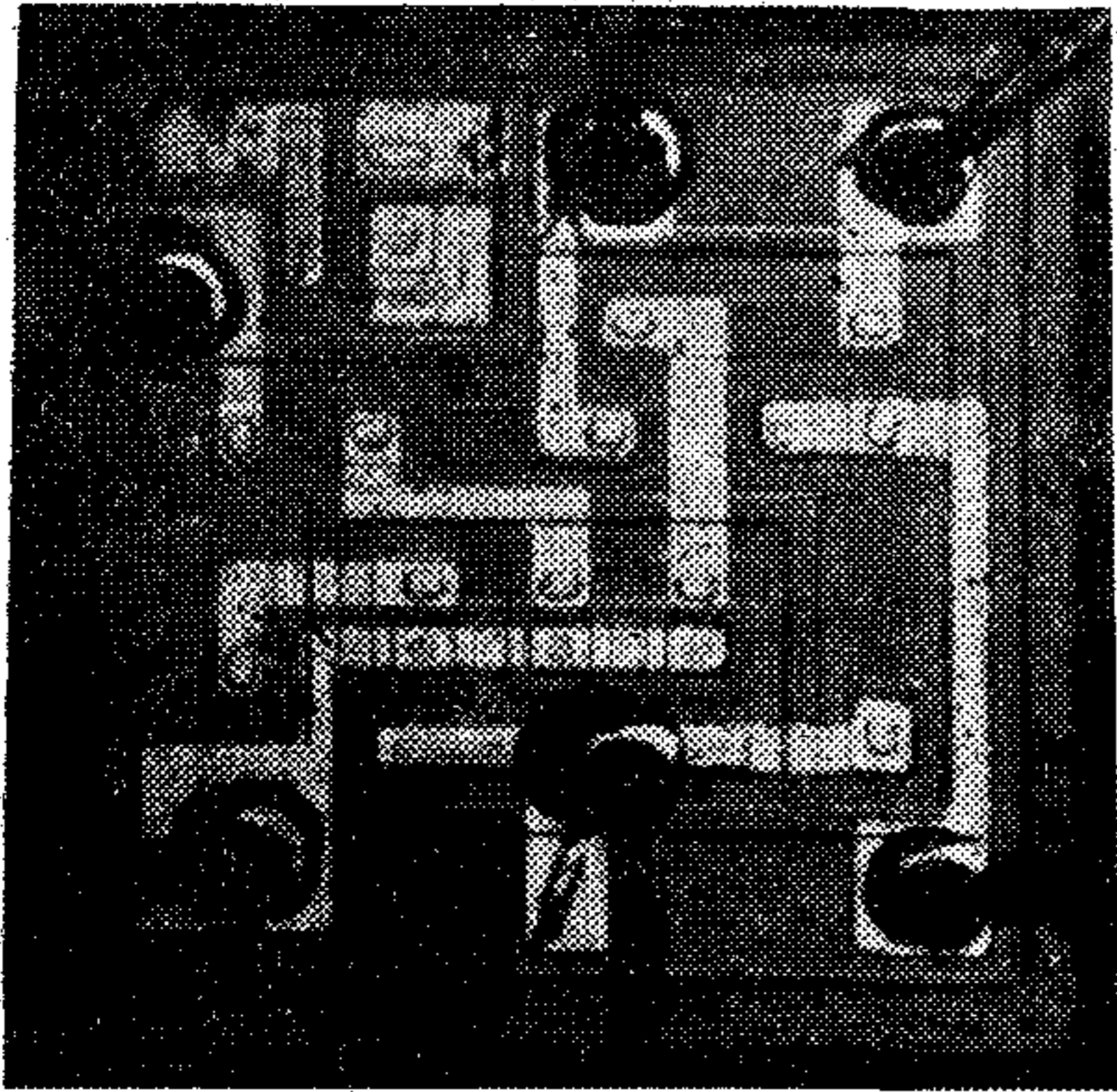
Érdemben a legtöbbet a  $\lambda(t)$  függvények lefutásáról kell mondanunk. Az FLH 101 kísérleti gyártású tételre vonatkozó ilyen függvények a 7. ábrán láthatók, bár ez a minta nem jellemző a sokkal konzisztensebb folyó gyártásra. A bevezetés c) pontjában foglaltaknak megfelelően a korai kiesés szakaszában a 100...175 °C-os görbék egy keskeny mezőben, összefonódva futnak, mintha a hibásodás jóformán független lenne a hőmérséklettől. Pusztán véletlenül ilyen nagy vizsgált mintáknál nem lehet szó, hisz hasonlóak a tapasztalatok az RTL NOR kaputípuson végzett közel 20 millió eszköz-órás vizsgálatainknál is [1, 18]. Megkockáztathatjuk tehát azt a kijelentést, hogy az aktiválási energia a korai kiesés szakaszában — leg-



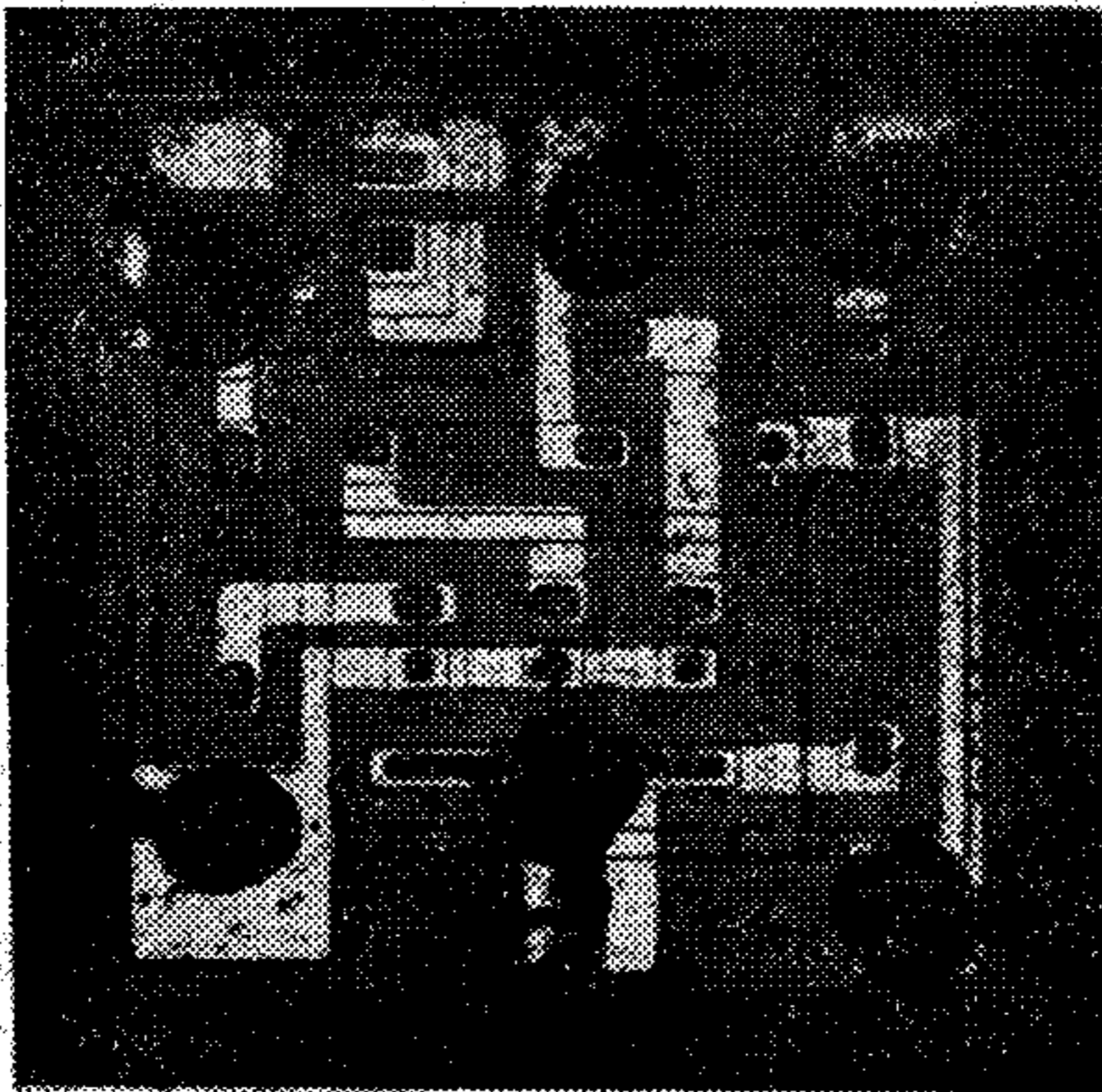
9. ábra. Gyorsítási egyenesek és aktiválási energiák az FLH 101 kísérleti gyártású tétel tárolásos vizsgálatainál a korai kiesés szakaszában, ahol igen kis aktiválási energia adódik (0,41 eV; fent) és a teljes eddigi vizsgálati időkre vetítve (lent)

alábbis ahol ez viszonylag erőteljesen jelentkezik, tehát még nem kiforrott technológiáknál — kicsi, pontosabban biztosan és lényegesen kisebb, mint a kontaktuspestis felléptére jellemző elhasználódási szakaszban. Beszédesen bizonyítja ezt a 9. ábra erre a vizsgálati tételre vonatkozó  $\log \lambda(1/T_a)$  gyorsítási diagramja, ahol a halmozott  $\lambda$  helyett egyrészt a 100 óránál adódó, a korai kiesésre jellemző  $\lambda$ , ill. az eddig végzett utolsó vizsgálati időpontokban az elhasználódási szakaszban adódó  $\lambda$  pillanatnyi hibásodási rátákat vettük figyelembe. A korai kiesés szakaszában átlagosan a nagyon kicsi 0,41 eV aktiválási energia adódott, míg magas hőmérsékleteken, jól benne járva az elhasználódási szakaszban, 0,92 eV és alacsonyabb hőmérsékleteken, ahol az elhasználódás (kontaktuspestis) még nem eléggé kifejezett, az átmeneti 0,6 eV átlagos értéket kaptuk. Ez is megerősíti azt a tézisünket, hogy a kontaktuspestises degradáció aktiválási energiája 1,0 eV körüli vagy ennél kevéssel nagyobb.

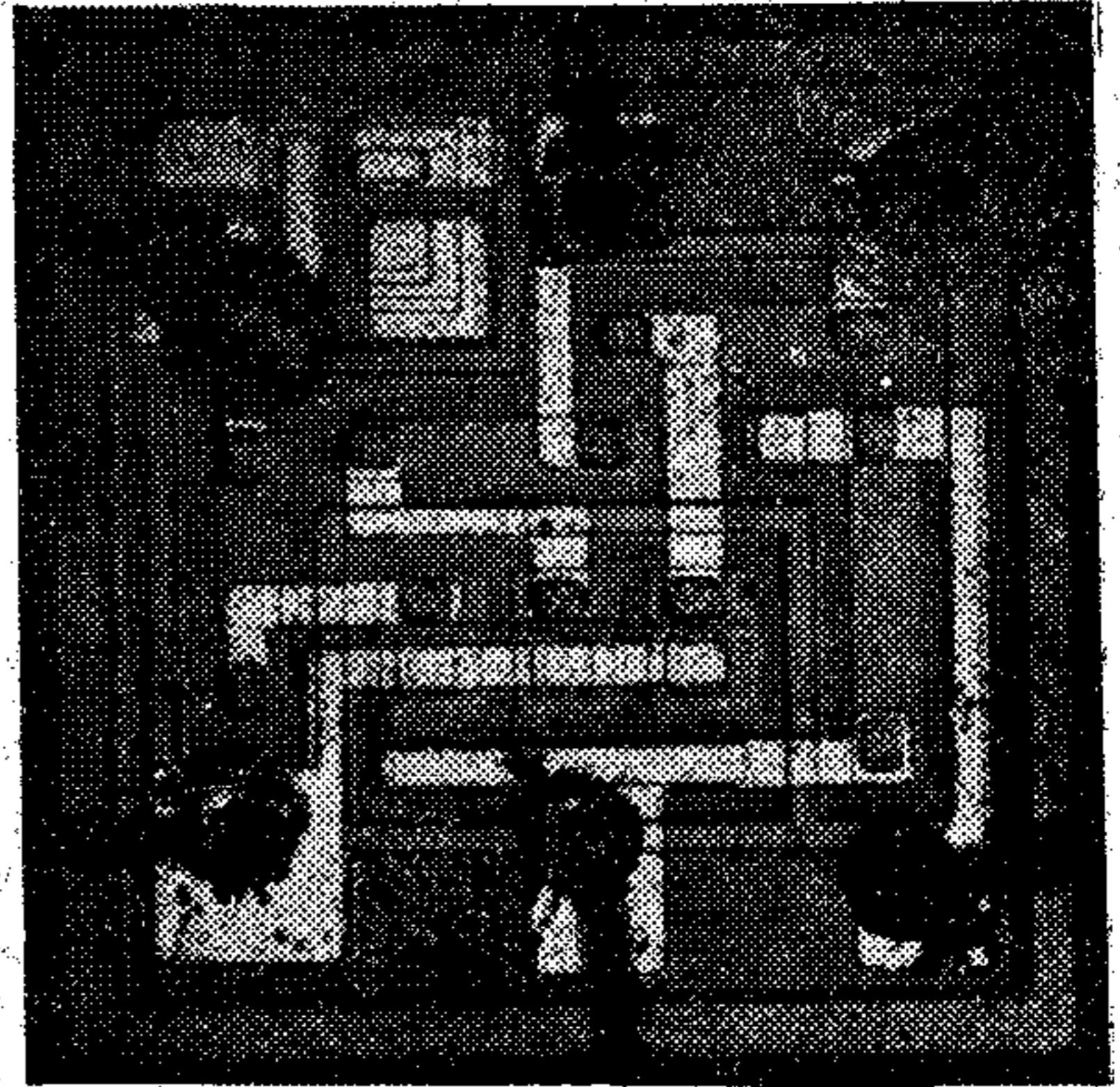
Problémamentesebbek a TL 7400 N „eva” folyó gyártás  $\lambda(t)$  függvényei (8. ábra). A 150 és 175 °C-os terhelésű lépcsők a teknőgörbére emlékeztetnek, míg



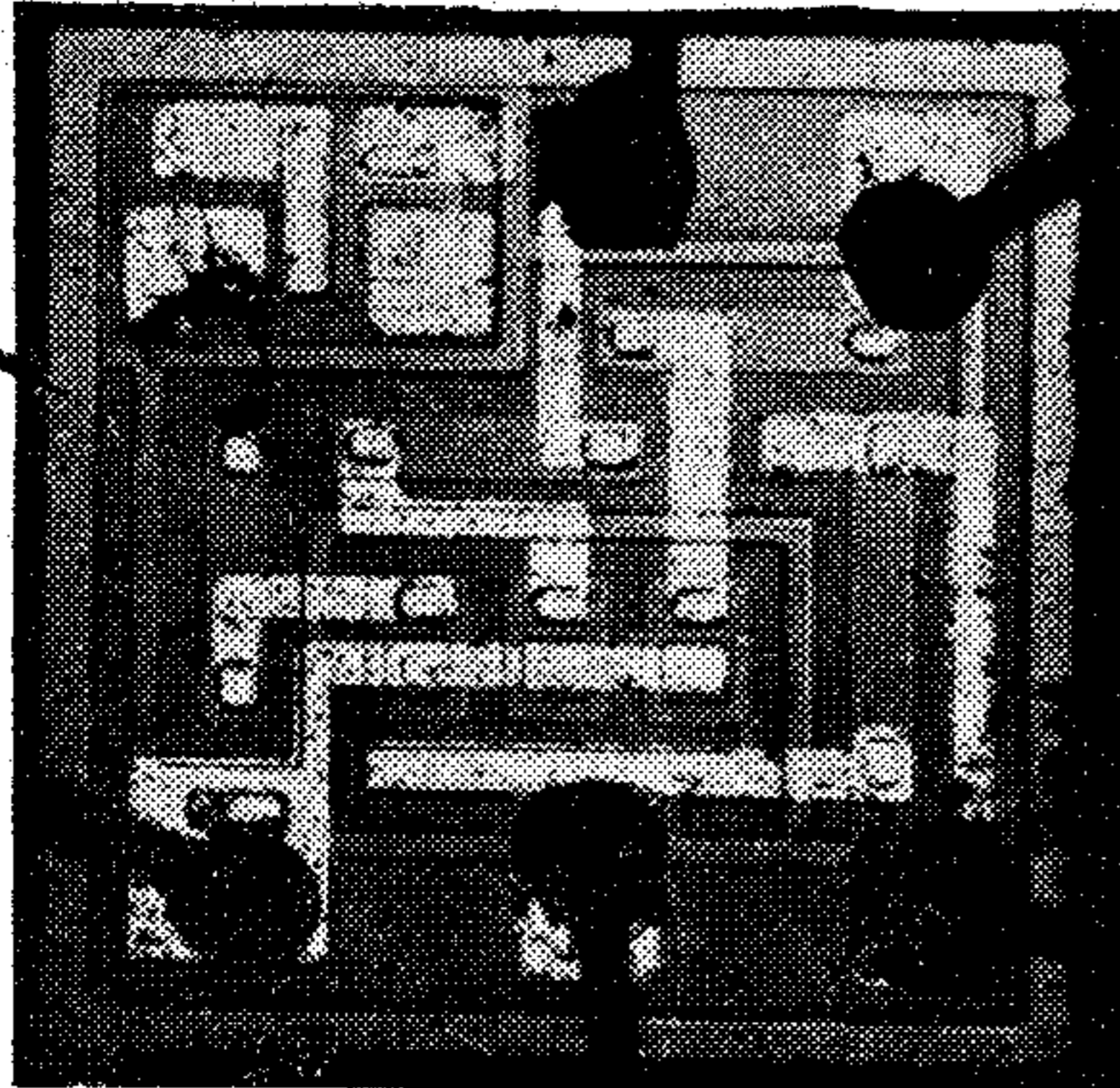
a)



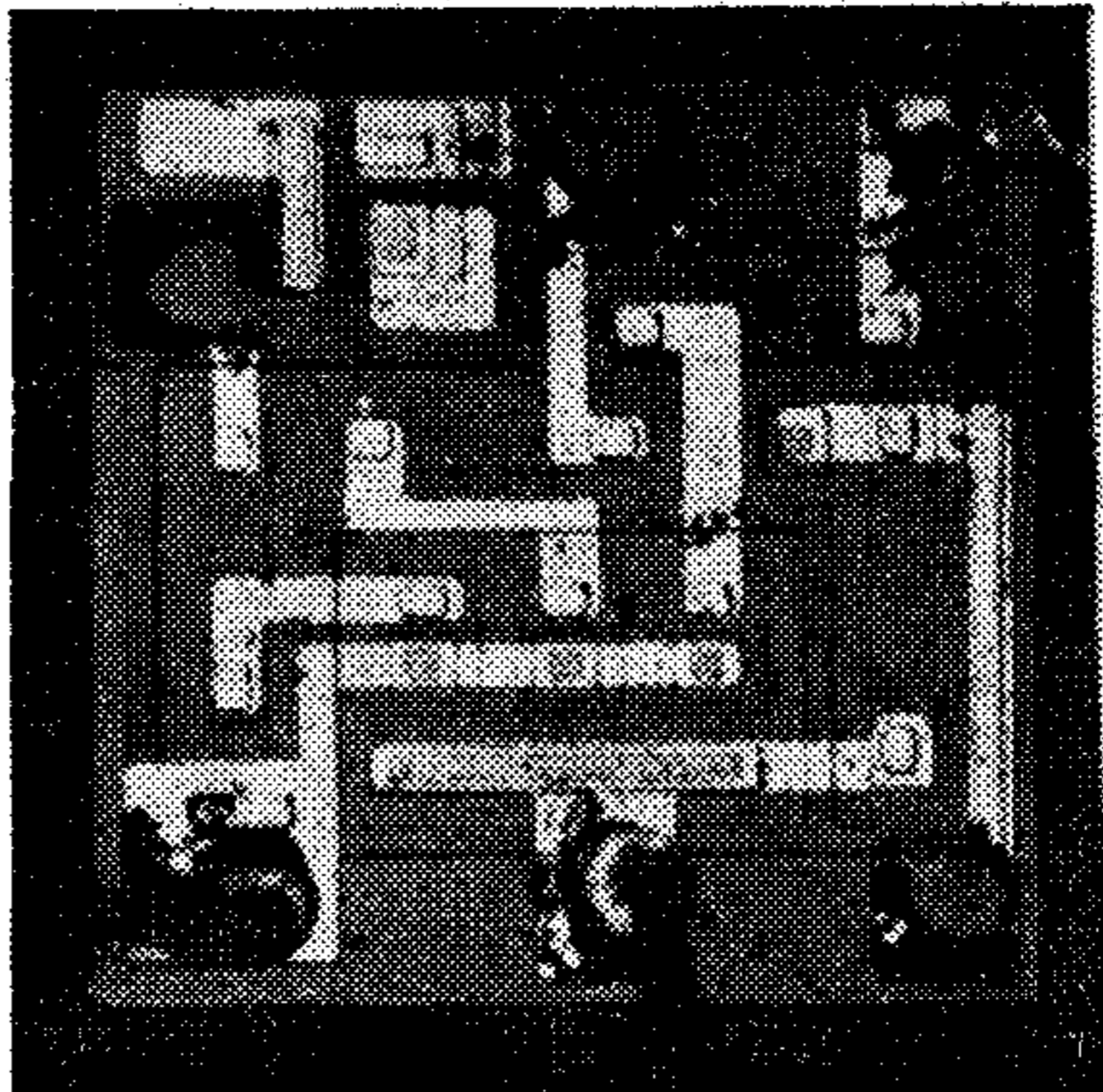
b)



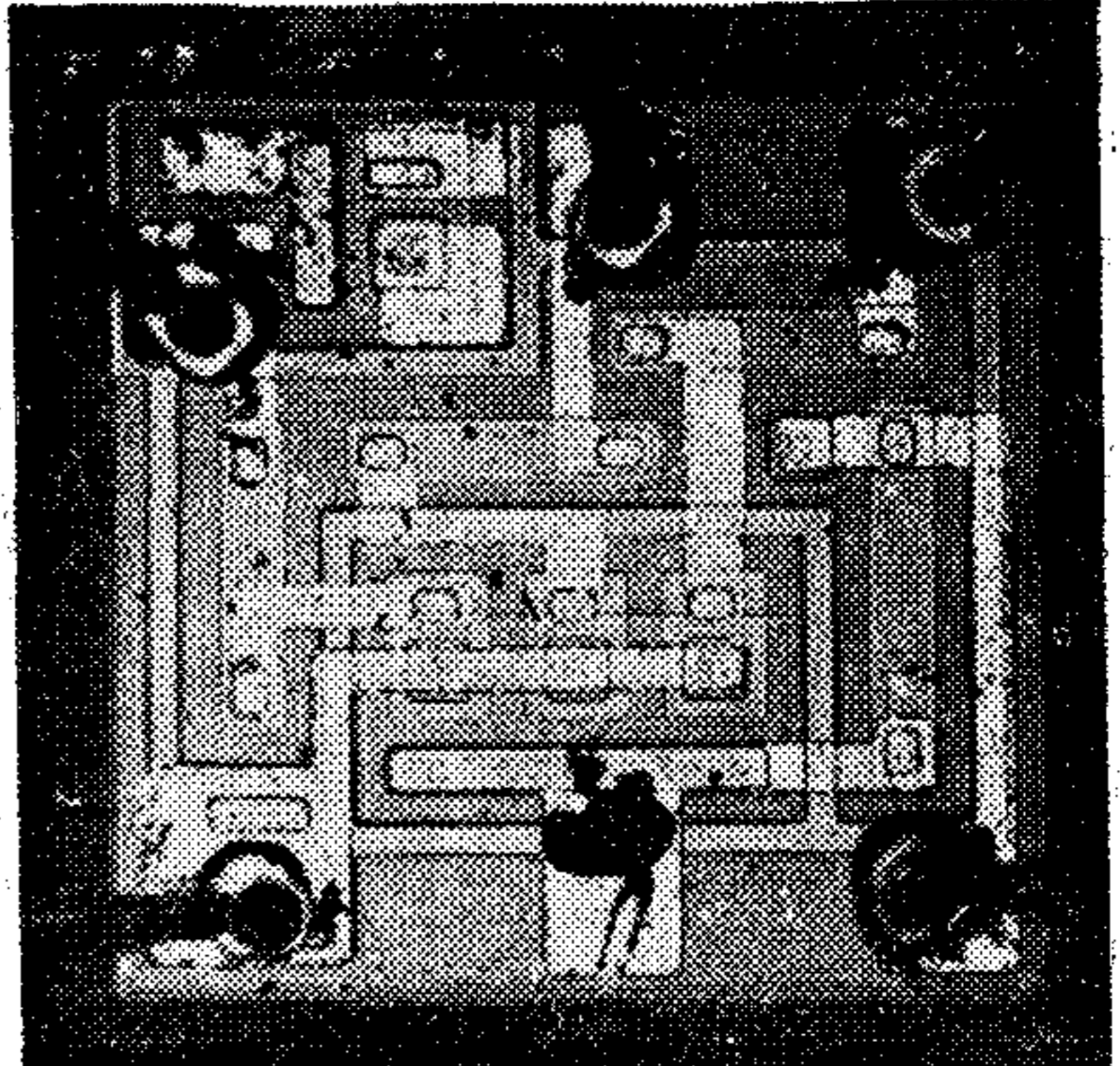
c)



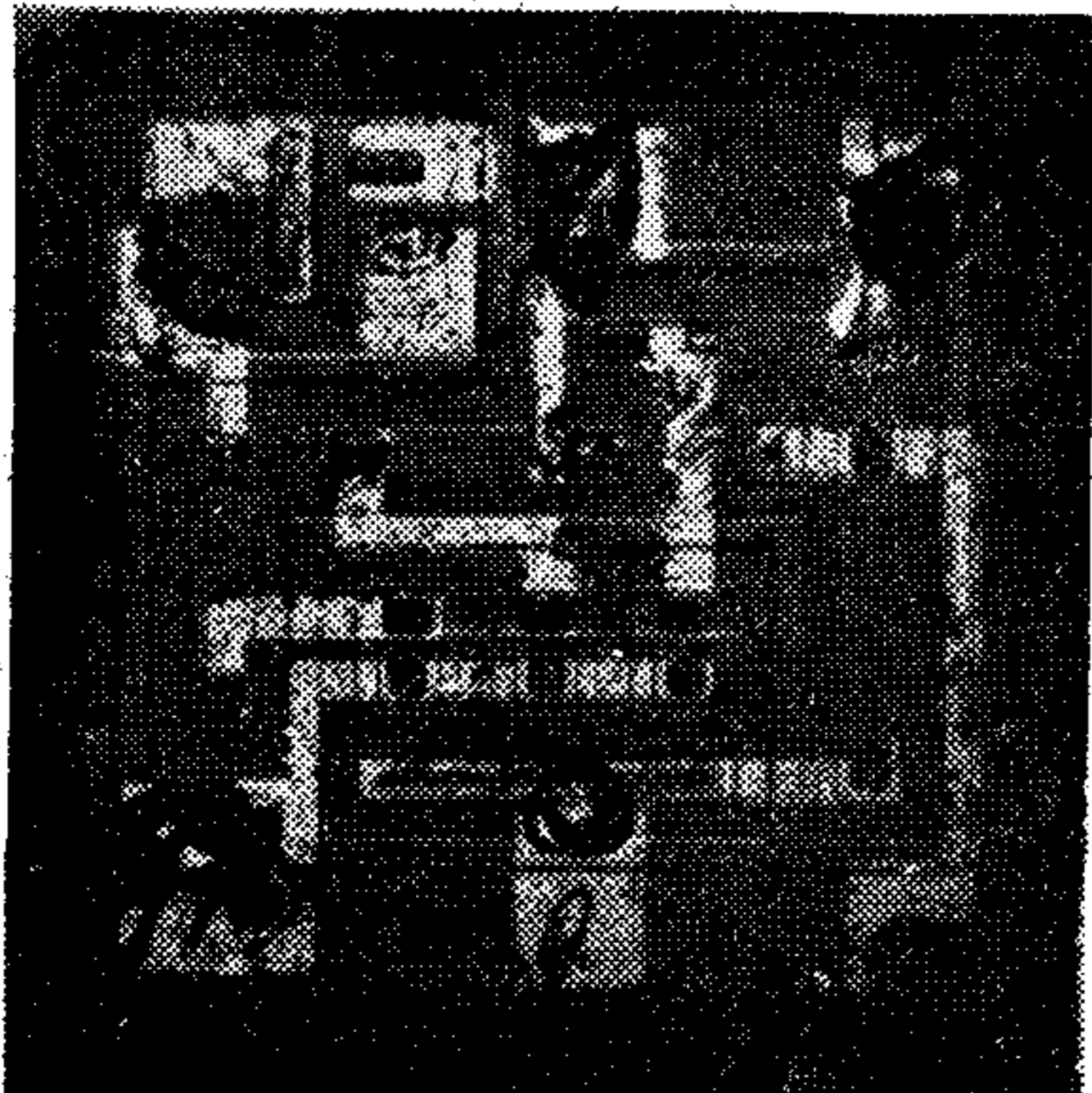
d)



e)



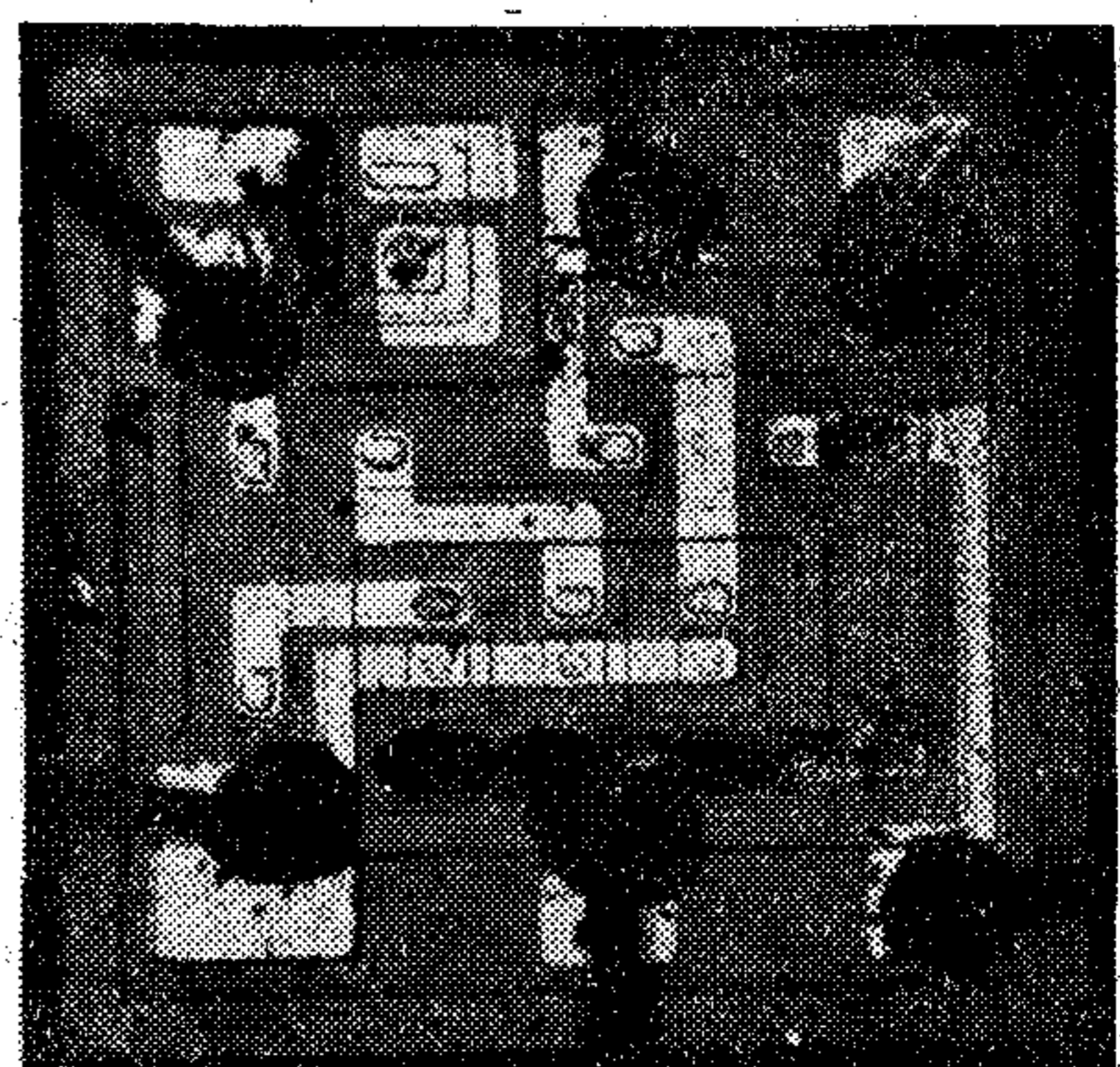
f)



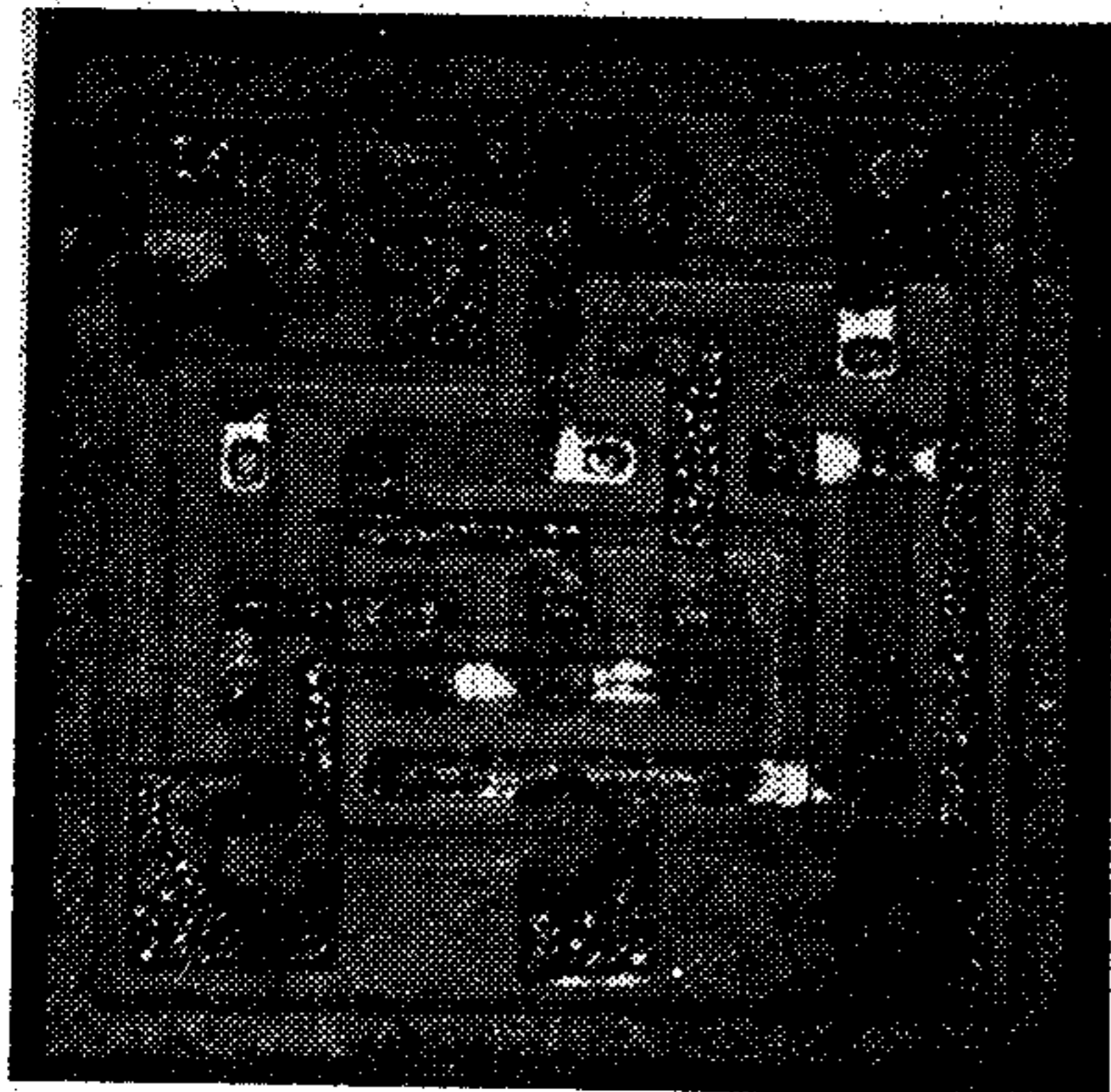
g)



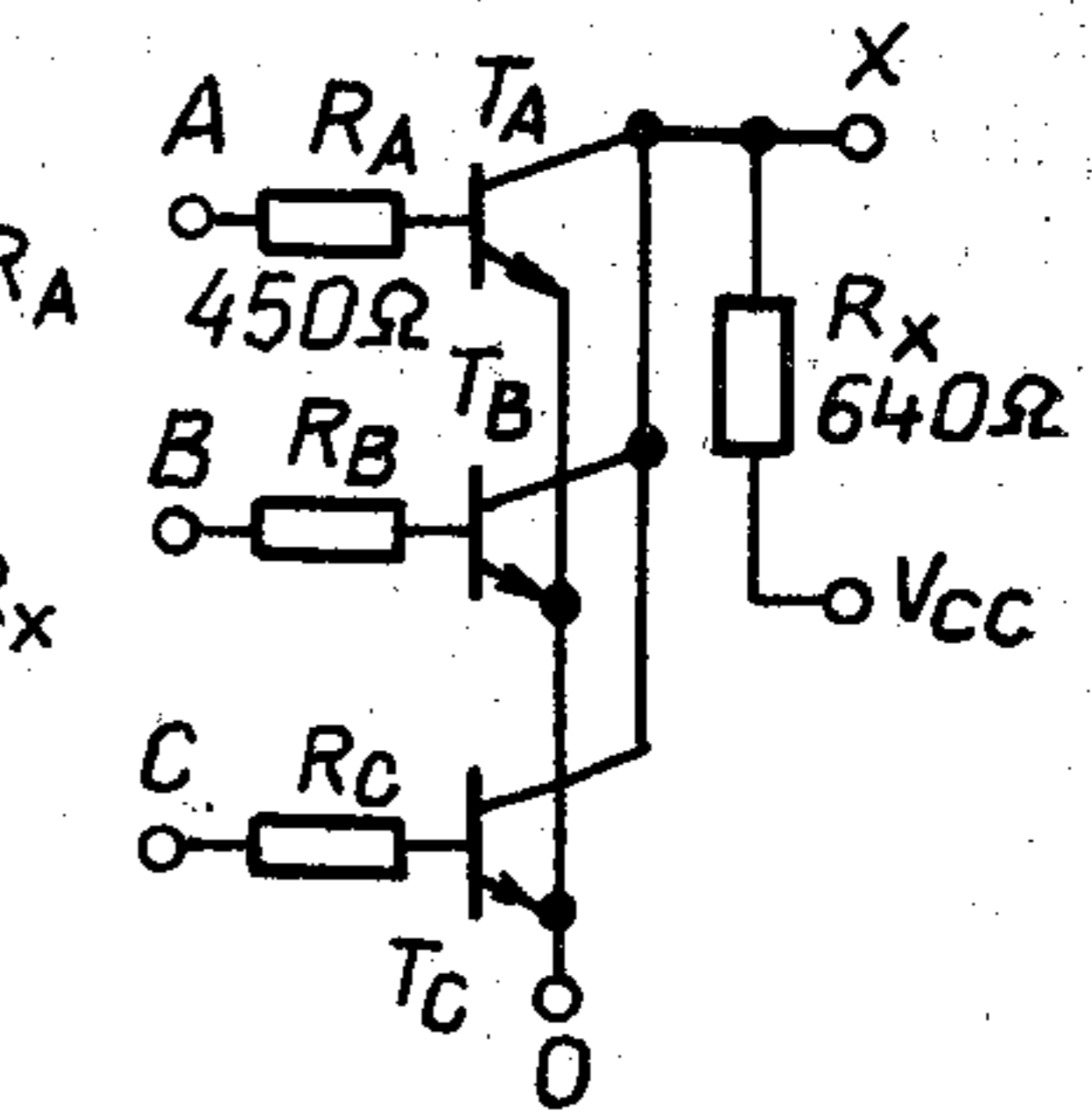
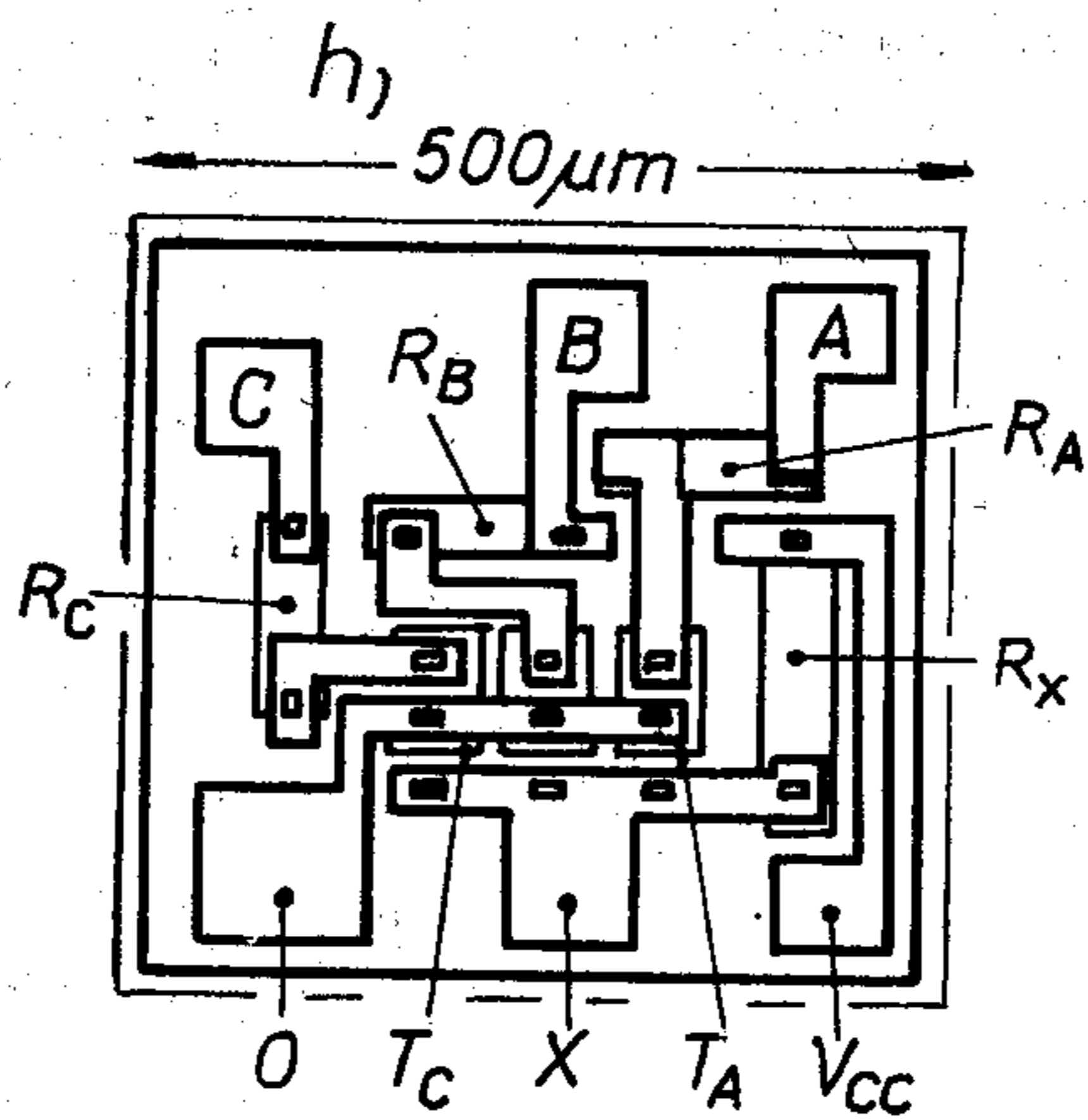
h)



i)



j)



k)

H 374-KK 10

a 125 °C-os görbénél már túl kevés hibásodás lépett fel ahhoz, hogy a tényleges függvény lefutásáról kellő adatokat nyerhettünk volna (az csak jóval nagyobb terjedelmű minta vizsgálatával válna lehetségessé), nem is beszélve a 100 °C-os eredményről, ahol 15 000 óra alatt egyetlen hibásodás történt csak. Két tény mindenesetre világos: a négy lépcső minimumhelyei közt átlagosan 1 eV körüli aktiválási energiának megfelelő távolságok vannak, másodsorban a három legmagasabb hőmérsékleti lépcsőnél (150, 175 és 200 °C) egyértelműen fellép a kontaktuspestis okozta elhasználódási szakasz, mintegy 400... 3000 óra után. A korai kiesés szakaszában a magas hőmérsékletű vizsgálati lépcsőknél gyanítható, hogy az egyes görbék itt is nagyon közel kerülnek egymáshoz, tehát az aktiválási energia erősen lecsökken, akár a 7. ábrán látható FLH 101 kísérleti gyártású tételnél. Itt ez a jelenség csak azért nem olyan szembeszökő, mert — különösen az alacsony hőmérsékletű lépcsőknél — egyrészt túl kicsiny volt a minták terjedelme és így a hibásodások száma, másrészt nagy terjedelmű mintáknál is sűrűbb időközökben kellene a vizsgálatok kezdetén az ellenőrző paraméter-méréseket elvégezni. Az egyértelmű választ tehát hasonló, de nagy terjedelmű minták ismételt vizsgálata fogja megadni.

A termokompressziós kontaktusok pestises szakadásának és az aluminizált összeköttetések egyes jellegzetes hibáinak mikrofotográfiáit a 10. ábra mutatja az [1, 18] közleményeinkben szereplő fém tokozású RTL NOR kapuknál, 1680 óras, 150 °C-os tárolás után. Egy szakadás előtt álló, erős fekete pestist mutató termokompressziós kontaktus erős nagyítású mikrofotóját a 11. ábrán láthatjuk, ahol az  $Au_5Al_2$  intermetallikus fázis laza, szivacsos szerkezete jól megfigyelhető. — A pestises hibák szerepére az F.2. Függelékben még visszatérünk. —

A 12. ábrán a TL 7400 N morzsa felülnézeti mikrofotográfiája látható.

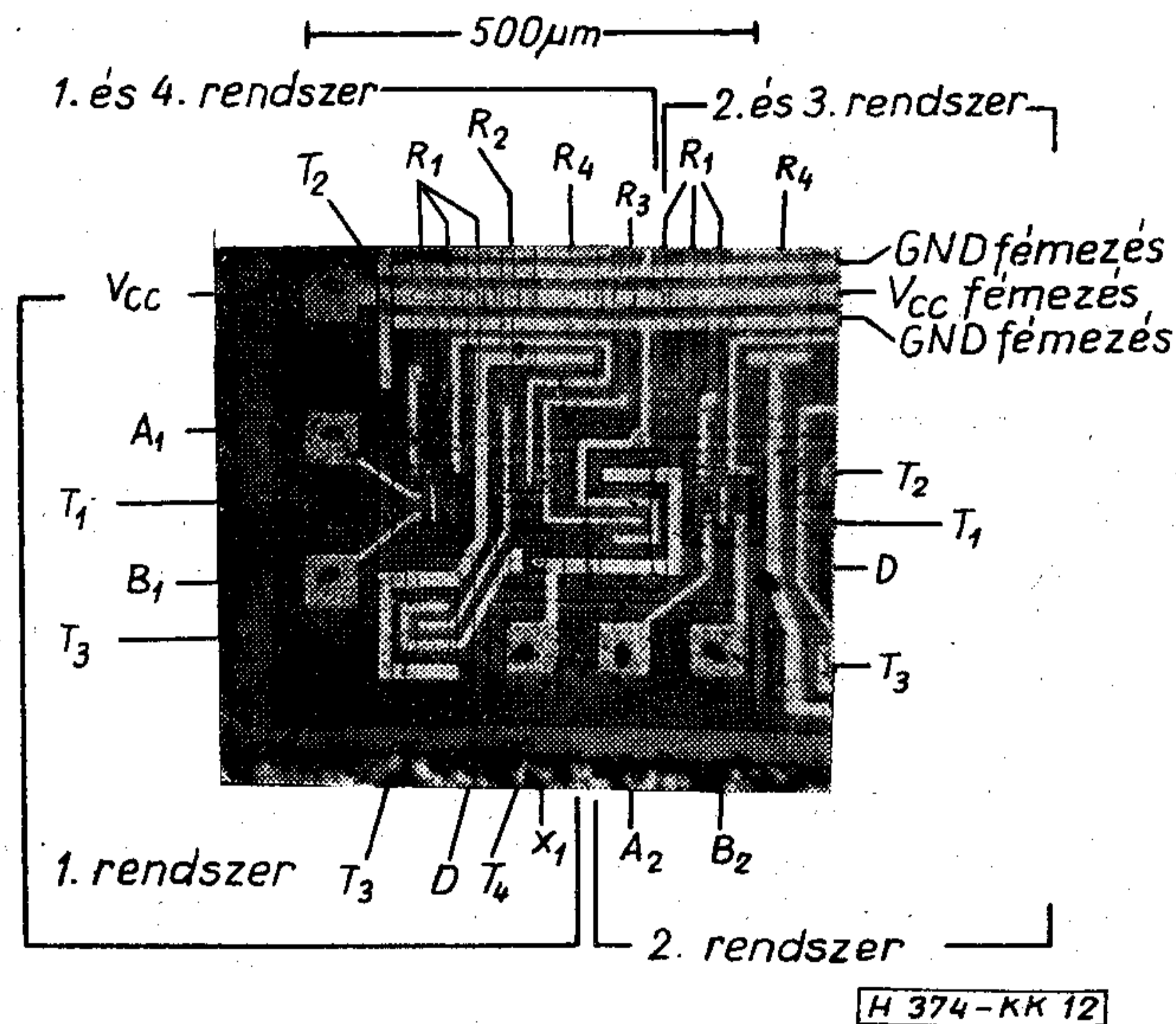
## 6. A statikus elektromos terheléses vizsgálatok eredményei

A műanyag tokozású TTL IC-k három jellegzetes típusán végzett, eddig összesen kb. 21 millió eszköz-óra terjedelmű statikus elektromos vizsgálatok eredményeit a 7. táblázat foglalja össze, ezenkívül újabb 10,4 millió eszköz-órás legújabb vizsgálatról (1973. gyártású hazai TTL kapuk) is beszámolunk.

Két jellegzetes vizsgálómódszerrel dolgoztunk, és pedig a 2. ábra szerinti „logikai 1 és 0” és a 3. ábra



11. ábra. Erős fekete pestis SEM (pásztázó elektronmikroszkópos) felvétele két túllapított, repedt termokompressziós gömbkötés körül. Az  $Au_5Al_2$  intermetallikus fázisok habosan laza szerkezete az élvilágítású felvételen jól megfigyelhető (Stefániay Vilmos felvétele)



12. ábra. A TL 7400 N, 2-bemenetű TTL NAND kapunégyes morzsa egy kapujának mikrofotográfiája és topográfiája. Az U-alakú kollektor- és emitterkontaktusú két nagy tranzistorstruktúra a kimeneti totemoszlopok tranzistorai. A meander (S) alakú ellenállás, mely a középső vízszintes VCC fémzés csíkhöz csatlakozik, az  $R_1$ . Mellette a négyzetes  $R_4$  látható, közben a keskeny, egyenes  $R_2$  diffundált ellenállással.  $R_3$  ugyanolyan, mint  $R_2$ , de rövidebb és  $R_4$  mellett foglal helyet

10. ábra. Kontaktuspestis és aluminizálási hibák mikrofotográfiái (3-bemenetű NOR kapu; 1680 óras, 150 °C-os tárolás után): a) jó termokompressziós kötések, b) ugyanott kezdődő  $AuAl_2$  fázisú bíborpestis, a kötések még kifogástalanok, c) az  $Au_5Al_2$  fekete pestises intermetallikus fázis első jelei a kötések körül, az IC még működőképes, d) pestis és Kirkendall-üregképződés miatt a „C” bemenet termokompressziós kötése levált, az összes többi kötésnél erős fekete pestis, e) mint előbb, de a 0 (föld) és X (kimenet) kötések váltak le, f) a kimeneti kötés levált, az eredeti aranygömb alatti fekete folt az aluminizált kötési felületen arany szegregációra utal, a 0 kivételével az összes kötés erősen pestises, g) a jó termokompressziós kötések és jól szinterelt aluminizált csíkok olyan erősek, hogy a kötések aranygömbjeinek önkényes letétele a szilícium alaplamezből utóbbinak mély kagylós töréseivel járt együtt (kivéve a VCC és C bemenet kontaktusokat), h) különösen erős fekete pestisképződés és szilícium migráció, melyek a kimeneti kollektor fémzés csíkra is kiterjedtek (utóbbi épp a teljes szakadás előtt), az oxid Newton-gyűrűs elszíneződéseit a  $SiO_2$  réteg alatti szennyeződés okozza, i) az aluminizált kimeneti összekötő csík teljes korróziója és szakadása fekete pestis és szilícium migráció következtében, j) a fémzés kontaktuscsíkok hólyagosan felváltak az oxidról a magas hőmérséklet, a rossz eredeti szinterelés és így gyenge tapadás következtében, f) Az IC topográfiája és kapcsolása

Statikus elektromos terheléses vizsgálatok eredményei.  $V_{CC} = 5,25 \text{ V}$

Funkció	Négyszeres, 2 bemenetű NAND-kapu								2x4 bemenetű NAND-kapu		J-K master-slave flip-flop	
Típus (ekvivalens)	TL 7400 N „eva” (=SN 7400 N); 1972				C 7400 ( $\approx$ SN 7400 N)		C 7420 ( $\approx$ SN 7420 N)		TL 7472 N / C 7472 ( $\approx$ SN 7472 N)			
Stresszmódszer	Logikai 1 és 0 (2. ábra)		erős gyorsítású, aktív tartományú (3. ábra)								„erős gyorsítású” (5b ábra)	
$P_{\text{tot}}$ , össz-disszipáció	66 ± 4,5 mW		336 ± 24 mW				420 ± 30 mW		210 ± 15 mW		~200 mW	~260 mW
$N_0$ , kezdeti darabszám	500	200	800	250	250	480	100	60	200	180	400	100
$t_{\text{tot}}$ , vizsg. összeitő [óra]	5000	5000	5000	15 000	6000	2000	15 000	10 000	10 000	6000	5000	5000
Millió eszköz-óra	2,5	1,0	4,0	3,75	1,5	0,96	1,5	0,6	2,0	1,08	2,0	0,5
$T_a$ , körny. hőmérs. [°C]	70	100	70	70	100	125	70	100	70	100	70	70
$T_s$ , chip hőmérsékl. [°C]	76,6 ± 1,5	106,6 ± 1,5	104 ± 7	104 ± 7	134 ± 7	160 ± 7	110 ± 8	140 ± 8	90 ± 4	120 ± 4	~90 ± 5	~96 ± 6
$V_{\text{out}(0)} > 0,4 \text{ V}$	—	—	2	1	20	58	—	—	—	—	—	—
$V_{\text{out}(1)} < 2,4 \text{ V}$	—	—	—	1	—	2	—	—	—	—	—	—
hibásodások [db]												
$-I_{\text{in}(0)} > 1,6 \text{ mA}$	1	—	—	1	—	—	—	1	—	—	—	1
$I_{\text{in}(1)} > 40 \mu\text{A}$	—	—	1	—	2	—	—	1	—	—	—	—
$I_{\text{os}} < 18 \text{ mA}$	—	—	—	1	1	—	—	—	—	—	—	—
$I_{\text{CC}(0)}, I_{\text{CC}}$	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—
$I_{\text{CC}(1)}$	—	1	—	—	1	1	—	—	—	—	—	—
szakadt zárlatos	—	—	3	2	19	71	3	3	—	1	4	—
	—	—	2	5	1	9	—	—	1	1	1	—
Er halmazott hiba [db]	1	1	8	11	44	141	3	6	1	2	5	1
$10^5 \bar{\lambda}$ [1/óra]	0,0400	0,100	0,200	0,294	2,94	14,7	0,200	1,00	0,0500	0,185	0,300	0,204
$10^5 \bar{\lambda}_{\text{max}}$ 60% C.L. [1/óra]	0,0830	0,207	0,296	0,338	3,06	~15,0	0,282	1,23	0,1035	0,293	0,384	0,423
$V_a$ , aktív-energia [eV]	~0,355?		—	1,05	1,10	0,655	0,540		—	—	—	—
0-óránál hibás [db]	—	—	1	1	—	—	—	—	—	—	—	2

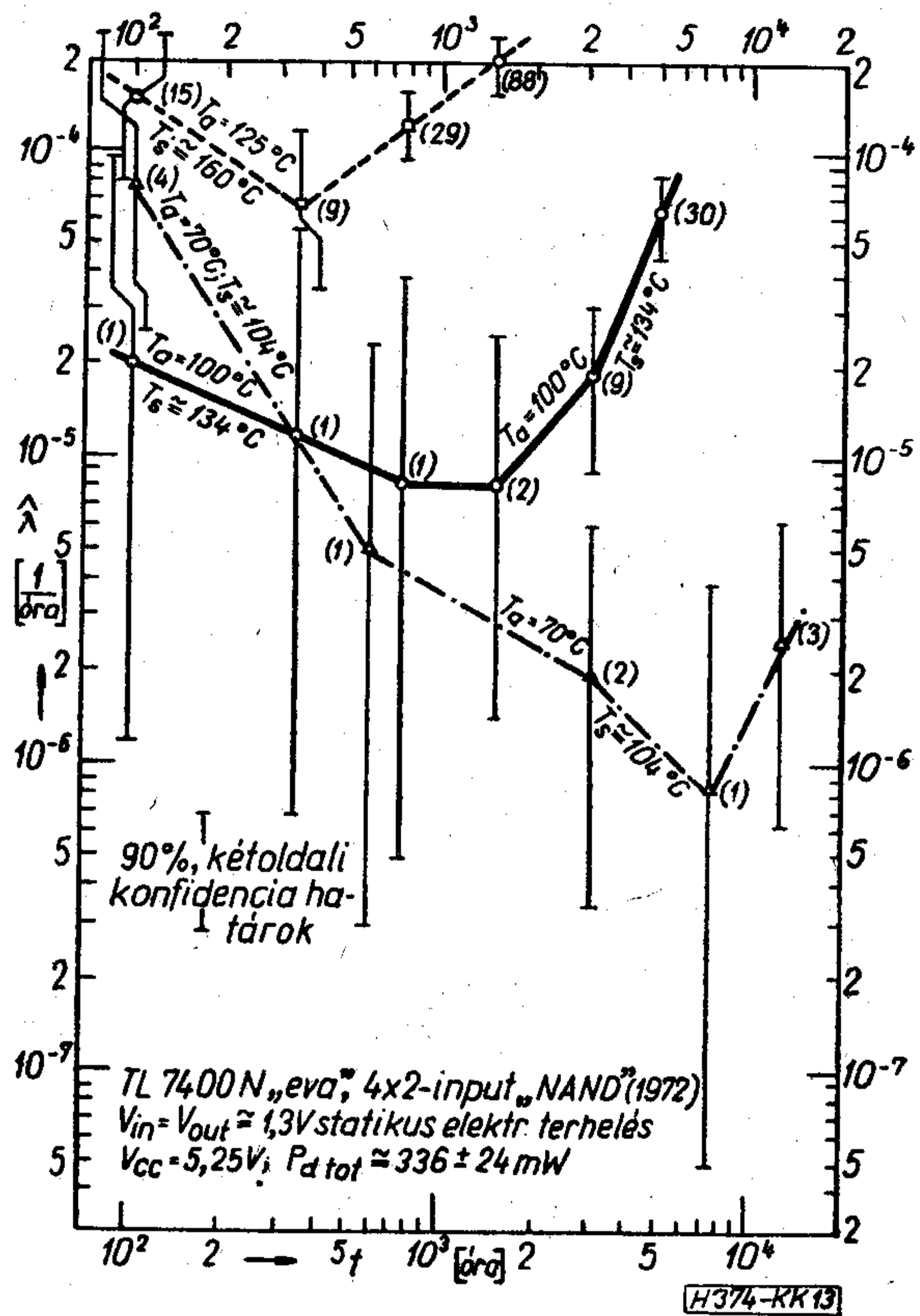
Végpont-kritérium TL 7400 N-nél 8 mA-t; a C 7400-nál 12 mA-t; a C 7420-nál 6 mA-t meghaladó  $I_{\text{CC}(1)}$ . Végpont-kritérium TL 7400-nál  $I_{\text{CC}(0)} > 22 \text{ mA}$ ; a C 7400-nál  $> 30 \text{ mA}$ ; a C 7420-nál  $> 15 \text{ mA}$ ; TL 7472 N-nél  $I_{\text{CC}} > 11 \text{ mA}$  és a C 7472-nél  $I_{\text{CC}} > 16 \text{ mA}$ .  $-I_{\text{in}(0)} > 1,6 \text{ mA}$  az összes NAND-kapunál és a J-K flip-flop összes J és K bemeneteinél, míg a J-K flip-flop Preset (P), Clear (C) és óra (T) bemeneteinél  $-I_{\text{in}(0)} P, C, T > 3,2 \text{ mA}$  a végpont-kritérium. A TL 7400 N-nél és a TL 7472 N J és K kapubemeneteinél  $I_{\text{in}(1)}$ , ill.  $I_{\text{in}(1)J, K} > 40 \mu\text{A}$ , míg utóbbi P, C és T bemeneteinél  $I_{\text{in}(1)} P, C, T > 80 \mu\text{A}$ . A C 7400, C 7420. és C 7472 típusoknál  $I_{\text{in}(1)}$ , ill.  $I_{\text{in}(1)J, K} > 90 \mu\text{A}$  és  $I_{\text{in}(1)} P, C, T > 160 \mu\text{A}$  a végpont.

elektromos viszonyai szerinti „erős gyorsítású, aktív tartományú” módszerrel a NAND-kapuknál. Természetesen csak a logikai 1 és 0 vizsgálat fedti a valóságos működési viszonyokat és ad autentikus megbízhatósági mutatót, abból is csak a 70 °C-os vizsgálat, amely még belül van az adatlapi maximumértéken.

A logikai 1 és 0 módszer 6,6 °C átlagos morzsa-hőmérséklet-emelkedést okozó nagyon kis disszipációjával csak szórványos degradációs hibásodást okozott (3,5 millió eszköz-órás, jelentős terjedelmű vizsgálatnál mindössze kettőt), így az eredmények szignifikanciája igen alacsony, és mint a 14. ábra összehasonlító  $\log \lambda(1/T_s)$  gyorsítási függvényei is mutatják, a hibásodási ráta csak lényegtelenül nagyobb, mint a tárolásos vizsgálatnál fellépő érték (100 °C-on kb. kétszeres csak) és így, a várakozásnak megfelelően, a logikai 1 és 0 módszer a romlási folyamatok gyors „előhívása” szempontjából alig hatásosabb, mint a sokkal olcsóbb tárolásos vizsgálat. A vizsgálatok nagyon kis statisztikai biztosítottsága

miatt a kiadódó igen kis 0,36 eV aktiválási energia nem jellemző az ilyen vizsgálatra; a végleges eredményeket ismételt, nagyobb terjedelmű minták 15...25 ezer órás terhelése szolgáltathatja csak.

Annál többet mond a hazai TL 7400 „eva” NAND-kapu három hőmérsékleti lépcsőben (104, 134 és 160 °C átlagos morzsa-hőmérsékleteken) végzett, 10 millió eszköz-órát meghaladó vizsgálata a szigorú erős gyorsítású módszerrel, amely átlagosan 34 °C, már tekintélyes morzsa-hőmérséklet-emelkedéssel és így jelentős hőmérsékleti gradienssel jár, amely a felületi és a kontaktus-degradációs folyamatokat a leghatásosabb módon gyorsítja. A legfeltűnőbb jelenség a hőmérséklet emelésével rohamosan növekvő  $V_{\text{out}(0)}$  és a szakadáshibák száma, amelynek közös és egyértelmű oka itt is (ahogy ezt a hibás példányok boncolása és mikroszkópos ellenőrzése is megerősíti) a termokompressziós kontaktusok intermetallikus fázisokba menő „fekete pestises” romlása. A magasabb hőmérsékletű lépcsőknél néhány ezer óra után fellépő

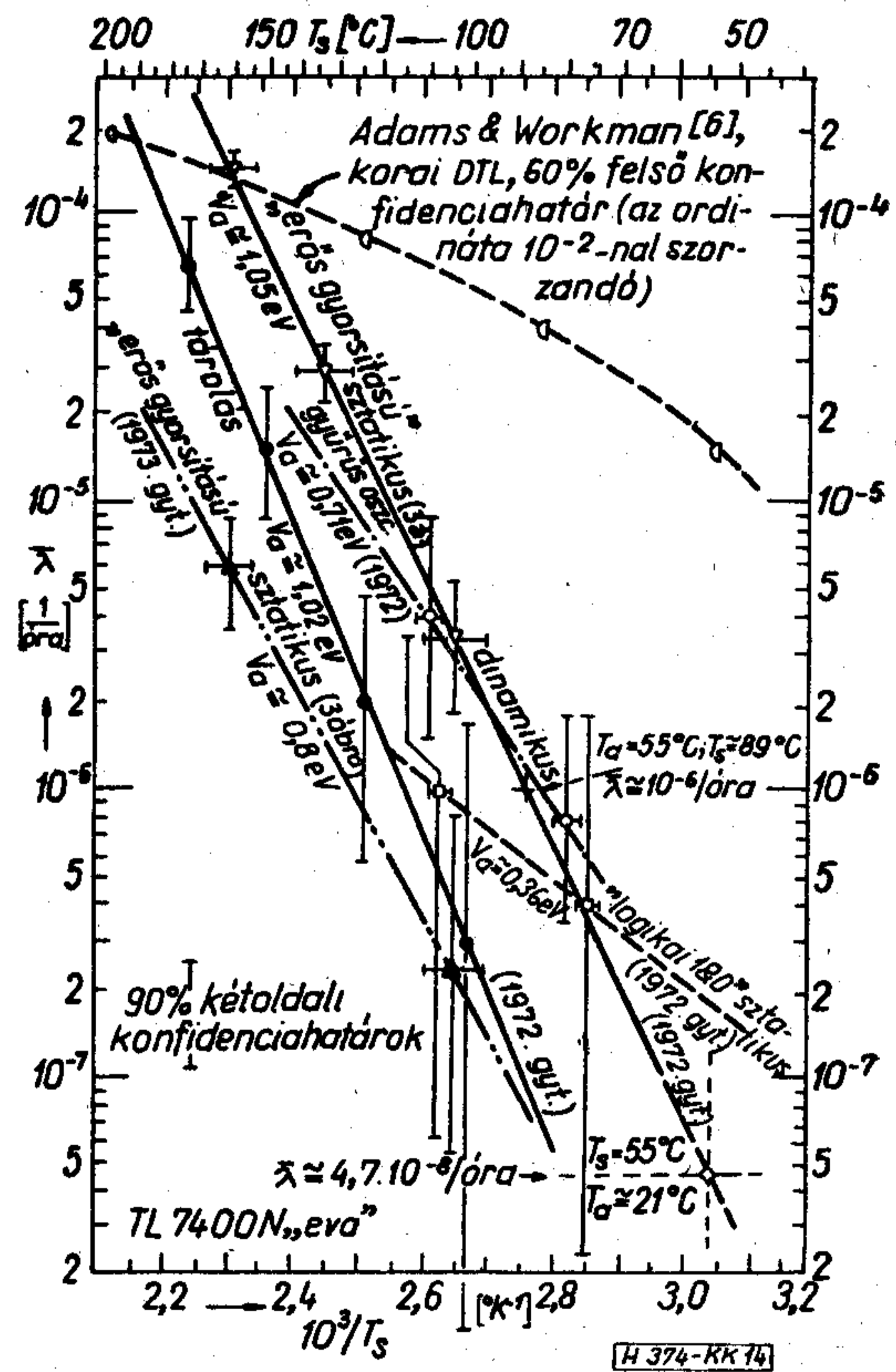


13. ábra. A TL 7400 N „eva” minta 3. ábra szerinti erős gyorsítású terhelése során nyert  $\hat{\lambda}(t)$  függvények 70, 100 és 125 °C környezeti hőmérsékletű lépcsőkben. A 100/134 °C-os lépcsőnél világosan felismerhető a jellegzetes teknőgörbe. A kontaktuspestis okozta elhasználódás jelei világosan mutatkoznak a két magasabb hőmérsékletű lépcső függvénymeneteiben. Zárójelben a hibásodott példányok száma

kontaktuspestist a 13. ábra  $\log \hat{\lambda}(t)$  függvényeinek hirtelen emelkedő elhasználódási szakasza beszédesen mutatja:  $T_s = 135$  °C-on ez 2000 óra, míg  $T_s = 160$  °C-on már 500 óra után következik be, és  $T_s = 105$  °C-nál 15 000 óra elteltével sem jelenik meg határozottan. A korai kiesések szakaszában viszont (100 óra körül) ugyanazt tapasztaljuk, mint a tárolásos vizsgálatoknál: a függvénymenetek nagyon közel kerülnek egymáshoz, és így az aktiválási energia ebben a szakaszban jelentősen kisebb, ahogy azt a bevezetés c) pontjában is mondtuk; sőt, a hibák véletlen csomósodása miatt a 70/104 °C-os vizsgálat az első 300 órában sokkal magasabb kiesést ( $\hat{\lambda}$ -faktort) mutatott, mint a 30 °C-kal magasabb hőmérsékletű, 100/134 °C-os vizsgálati lépcső. Ez vezetett az [1] közleményünkben érthetetlen jelenségként említett ellentmondásra: a látszólag zérus aktiválási energiára. A vizsgálat folytatása során az ellentmondás feloldódott, és a 14. ábrán is láthatóan az elhasználódás, ill. a minimális lambda szakaszára (a kontaktuspestisre és a felületi folyamatokra) jellemző 1,05 eV aktiválási energia adódott: ugyanaz tehát, mint a tárolásos vizsgálatnál. Ez pedig megerősíti az ilyen degradációs folyamatok egységességéről vallott nézetünket, függetlenül a működési, ill. vizsgálati módtól. Így végeredményben megerősítést nyertek a bevezetés a), b), c) és g) pontjában elmondott tézisek.

A másik szembeszökő eredmény a zárlathibák vi-

szonylag erőteljes megjelenése: a 10 millió eszköz-órás kísérletnél összevontan 17 ilyen hiba túlnyomó része: 11 db a  $T_2$  meghajtó tranzisztor C—B vagy C—E zárlata, mely a típus ilyen potenciális rejtett hibájára utal. (A többi 6 hibából 4 a sokemitteres  $T_1$  tranzisztor bemeneti E—B diódájának zárlata és 2 a kimeneti  $T_4$  totem-oszlop zárlata.) Ez azt mutatja, hogy ez a módszer a rejtett térfogati hibák gyors előhívására is alkalmas, amelyek esetleg csak sok tízezer óra után okoznának működésképtelenséget normál üzemi körülmények között. Ilyen hibák jellegzetesen lépnek fel a maszkoló  $\text{SiO}_2$  réteg diszkontinuitásainál, pl. túlyukak (pinhole), oxid-karcok (csipesz) és oxid alámarás helyeinél, amelyek mentén hamis diffúzió vagy a fémzés behatolása az alsóbb rétegekbe a használati idő folyamán zárlatot okozhat akkor is, ha 0-óránál a zárlat még nem alakult ki, hisz a magas hőmérséklet és nagy hőmérsékleti gradiens elősegíti a fém- vagy dópoló atomok diffúzióját és migrációját ezen hibahelyek mentén [2, 4, 14]. Az egyéb felületi határból származó — pl.  $I_{in(1)}$  — és diffundált ellenállás-változás hibák viszont csak elszórtan léptek fel. A hibásodások okainak eloszlását a 7. táblázat szerinti 250—250 db-os, 70, ill. 100 °C környezeti hőmérsékleten végzett TL 7400 N „eva” vizsgálatpár összesen 55 hibás példánynál a 8. táblázat mutatja.



14. ábra. A TL 7400 N „eva” minta  $\log \bar{\lambda}(1/T_s)$  gyorsítási egyenesei a tárolásos, a logikai 1 és 0, valamint a 3. ábra szerinti erős gyorsítású statikus és a gyűrűs oszcillátoros dinamikus terhelések eredményeként. Az erős gyorsítású statikus módszerrel a tárolással megegyezően kb. 1 eV aktiválási energia lép fel. A vízszintes hibahatárok a morzshőmérséklet standard szórásának felelnek meg. Az 1973. gyártású tétel (bal szélén) több, mint 1 nagyságrendnyi javulást és kisebb (0,8 eV) aktiválási energiát mutat a hasonlóan erős gyorsítású statikus módszerrel vizsgált 1972. évi tételhez képest

8. táblázat

A hibásodás okainak megoszlása a TL 7400 N „eva” minta 70 és 100 °C környezeti hőmérsékletű, 250—250 db-os tételénél

Bondolások pestise, fémezés ( $V_{out(0)}$ és szakadáshibák) (Ebből $V_{out(0)} > 0,4$ V degradáció)	42 (21)	76,38% (38,18%)
Nagyszintű áramparaméter-határok túllépése ( $I_{in(0)}$ , $I_{os}$ , $I_{CC(0)}$ , $I_{CC(1)}$ degradáció)	4	7,27%
Nagy szivárgási áram, felületi állapotok ( $I_{in(1)}$ hibák)	2	3,63%
Tranzisztor zárlat (pl. pinhole a $SiO_2$ rétegben)	6	10,92%
Egyéb ( $V_{out(1)} < 2,4$ V)	1	1,82%
Összesen; 5,25 millió eszköz-óra alatt hibás	55	100,00%

Ugyanezen tétel 125/160 °C-os vizsgálati lépcsőjénél a 141 hiba 91,5%-a származik az Au-Al termokompressziós kötések pestiséből (ebből 50,4% a szakadás) és csak 6,4% a tranzisztor zárlat aránya. A tárolásos vizsgálatok hasonló jellegű 6. táblázatának eredményeivel való összevetésben egyetlen lényeges különbség tűnik csak fel: a zárlathibák viszonylagos megemelkedése az erős gyorsítású statikus módszerénél. A magas hőmérsékletű vizsgálati lépcsők szakadáshibáinak az egyes kontaktusok szerinti megoszlását tekintve úgy tűnik, mintha a nagy áramot hordozó  $V_{CC}$  és GND bevezetések nagyobb szakadási tendenciát mutatnának. A TL 7400 N „eva” minta 100/134 és 125/160 °C-os lépcsőit tekintve, a szakadáshibák megoszlása a 9. táblázatban található.

A nagy tápáramot (itt  $336 \text{ mW}/5,25 \text{ V} = 64 \text{ mA}$ ) szállító  $V_{CC}$  és GND kontaktusok (lásd 3. ábra) erősebb szakadási hajlama nyilván nem véletlen. Egyrészt gyanítható, hogy a termokompressziós kontaktusok pestisképződésében (ill. a Kirkendall-üregek képződésében az aranygömb alatt) az átfolyó áramnak gyorsító szerepe van [7, 8, 9], pl. helyi áramkoncentráció okozta forró pontok fellépte miatt. Másrészt az onnan elvezető fémezés korróziója, migrációja és így szakadása szintén összefügg az átfolyó árammal [4, 14, 15, 16, 17, 22, 23, 24, 25, 26, 27], különösen geometriai hibahelyeken (oxid-lépcsők, maszkolási hiba pl. porszem takarása, alámárás vagy

karcolás mentén), ahol a fémezés elvékonyodik és az áramsűrűség megnő, amely az alumínium aktivált ionjai és az elektronok közötti ütközéses momentumcsere következtében az alumínium ionok migrációját okozza a pozitív elektróda irányában. Éppen az utóbbi elektromigrációs hatás miatt keletkezik több szakadás a GND és  $V_{CC}$  bevezető elektródák körül, mint azt a 9. táblázatban is láthatjuk, a többi kisebb áramú elektróda szakadásaival összevetve (47:43 arányban). Mivel a  $V_{CC}$  elektródán befolyó és a GND elektródán kifolyó tápáramok gyakorlatilag azonosak (lásd 3. ábra), nem csodálkozhatunk azon, hogy az elektromigráció által legalábbis elősegített nagyobb szakadási arány a két nagyáramú elektródánál közel azonos (bár a hiba fő oka nyilván a pestisesedés). Összevetve a 9. táblázat nagy disszipációjú statikus elektromos terhelésű vizsgálatának eredményeit az azonos típus tárolásos vizsgálatának 5. táblázat szerinti eredményeivel, úgy a nagy tápáramot hordozó  $V_{CC}$  és GND elektródák szakadásának aránya az összes szakadásban  $47/90 = 52,4\%$  a statikus vizsgálatnál, míg az elektromos terhelés nélküli tárolásos vizsgálatoknál ugyanez csak  $8/38 = 21\%$ .

A nagy áramsűrűség másodlagos hatása mind az Au-Al termokompressziós kontaktusok, mind az elvezető fémezett csíkok szakadásában a pestises kontaktus, ill. az elvékonyodott fémezés mentén a nagy áramsűrűség miatt, ill. a nagy átmeneti ellenállás következtében fellépő magasabb helyi hőmérséklet, amely mindkét folyamat előrehaladását erősen gyorsítja [4, 14, 15, 16, 17, 22, 23, 24, 25, 26, 27], és a folyamat, kumulatívva válva, végül is szakadáshoz vezet. Ebben jelentős szerepe lehet a szilícium szilárd oldhatóságának az alumíniumban a kontaktus-ablakokban, hisz ez az oldhatóság erősen nő a hőmérséklettel (250°-on kb. 0,01 súlyszázalék, míg 550 °C-on már 1,3 súlyszázalék).\* A fémezésbe diffundált Si egyrészt gödröt hagy maga után a Si kontaktus-ablakban, másrészt a tiszta Al elvezetés felé diffundál és a beoldódás, most már lecsökkent keresztmetszetben és így a fellépő magasabb hőmérséklet miatt egyre gyorsulóan folytatódik. Másrészt a be-diffundáló Si atomok az alumínium csíokban a szemcsehatárok mentén dúsulnak fel, csökkentve ott a kohéziós erőket, így a fémezés hólyagosodását, majd szakadását elősegítve (lásd 10j ábra).

\* Valójában a Si nagy mennyiségben a gyártási műveletek a (fémezés utáni kontaktus beszinterelés, ill. beötvözés) alatt kerül a kontaktusablak menti alumíniumba, a Si kontaktusban „gödröket” hagyva (24, 25) (l. F. 2. Függelék). Ez a folyamat helyi forrópontok (pl. elektromigráció miatti) képződése után a működés alatt folytatódhat.

9. táblázat

Szakadáshibák megoszlása a TL 7400 N „eva” tétel „erős gyorsítású” statikus elektromos vizsgálatánál

$T_a/T_s$ (°C)	$A_1$	$B_1$	$A_2$	$B_2$	$A_3$	$B_3$	$A_4$	$B_4$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$V_{CC}$	GND	Össz.
100/134	2	1	—	1	—	—	—	1	—	—	—	—	8	6	19
125/160	4	2	1	3	4	1	3	2	6	3	4	5	18	15	71
Összesen:	6	3	1	4	4	1	3	3	6	3	4	5	26	21	90

Mindezen kontaktus- és fémezési hibafolyamatok csak magas hőmérsékleten és viszonylag hosszú idő elteltével mutatkoznak erőteljesen, tehát az elhasználódás szakaszában. E szempontból vegyük elemzés alá a 13. ábrán jól elkülönülő korai kiesés és konstans lambda, ill. az elhasználódás szakaszokat a TL 7400 N „eva” tétel 100/134 °C-os vizsgálati lépcsőjénél a 10. táblázat szerint. Az „elhasználódás” kezdetét 2000 óra után értelmezzük.

10. táblázat

Hibásodási okok megoszlása a TL 7400 N „eva” tétel  $T_a = 100$  °C,  $T_S = 134$  °C statikus elektromos vizsgálatának korai kiesés, ill. elhasználódás szakaszaiban

Vizsgált időszakasz Hibatípus	100, 200 és 1000 óránál		2000...6000 óra közt	
	db	%	db	%
Bondolt kontaktusok pestise; fémezési hibák $V_{out(0)} > 0,4$ V és szakadások ebből $V_{out(0)} > 0,4$ V degradáció	2	40%	37 (20)	94,88% (51,28%)
Nagyszintű áramparam. határok túllépése ( $I_{in(0)}$ , $I_{os}$ , $I_{CC(0)}$ , $I_{CC(1)}$ degradáció)	1	20%	1	2,56%
Nagy szivárgási áram ( $I_{in(1)} > 40$ $\mu$ A degr.)	1	20%	1	2,56%
Tranzisztorzárlat (pl. pinhole)	1	20%	—	—
Összesen:	5	100%	39	100,00%
Katasztrofális/össz. hibaarány	3/5	60%	17/39	43,60%

Látható, hogy a szakadáshibák rohamos fellépte csak az elhasználódási szakaszban következik be. Vessük össze ezután a fenti eredményeket az ekvivalens külföldi C 7400 típus eredményeivel (7. táblázat). A  $T_a = 70$  °C-os legalacsonyabb hőmérsékleti lépcsőnél nincs lényeges különbség a  $\lambda$  faktorok értékében, de a C 7400 típus  $T_a = 100$  °C-os vizsgálati lépcsőjénél kb. egyharmadnyi hibásodási ráta adódott a hazai típussal való összevetéskor. Mindazonáltal a kis darabszámok miatt a szocialista eredetű típus eredményeit óvatosan kell értékelnünk. Hasonló a helyzet a C 7420 típus eredményeinél, ahol a nagyobb darabszám ellenére 3 millió eszköz-óránál csak 3 hiba adódott, de itt ne feledkezzünk meg arról, hogy az átlagos morzsahőmérséklet-emelkedés mindössze 20 °C, tehát a fele a C 7400-nál levőnek, tekintettel arra, hogy egyetlen DIL műanyag házban itt 4 helyett csak 2 NAND-kapu van, tehát fél disszipáció lép fel. A 30°-os környezeti hőmérséklet-emelkedés meglehetősen alacsony, kb. 0,55 eV-os aktiválási energiát eredményezett mindkét típusnál, de ez — már csak a szocialista eredetű típusok vizsgálatának kis statisztikai biztosítottságú eredményei miatt is — kevésbé meggyőző, mint a hazai típus ilyen eredményei. Mindkét külföldi típusnál a nagyobb disszipáció

(NAND-kapunként 105 mW átlagérték, szemben a hazai típusok 84 mW átlagértékével) a kisebb átlagértékű diffundált ellenállások következménye különben, ami az  $I_{CC(0)}$  és  $I_{CC(1)}$  tápáramok másfélszeres adatlapi határaiban is megmutatkozik. Meglepő különben a  $V_{out(0)}$  degradációs hibák hiánya e szocialista eredetű típusoknál, ami azt sugalmazza, hogy a szakadások felléptében nem annyira a termokompressziós kontaktusok pestise, hanem a fémezés-szakadás viszi a főszerepet. Tény az, hogy a külföldi típusoknál kissé eltérő az Au-Al termokompressziós technológia: golyós kötés (ball-bonding) helyett inverz szemölcsököt és kétszeres vastagságú (50  $\mu$ m) aranyhuzalt használnak (és az eredmények szerint sikeresen: a bondolás pestisére utaló közvetlen jelek nem találhatók).

Az előzőekhez szorosan kapcsolódva be kell számolnunk a TL 7400 N típus 1973-as, tovább javított technológiájú mintájának a 3. ábra szerinti erős gyorsítású statikus vizsgálatánál nyert rendkívül kedvező eredményeiről. Újabb 800 db-ot vizsgáltunk 70 °C-os, míg 480 db-ot 125 °C-os környezetben (tehát 104, ill. 160 °C medián morzsahőmérsékleten). A vizsgálatok szerint 70/104 °C-on összesen 2 db  $V_{out(0)}$  hiba lépett fel 10000 óra alatt, ami  $2,5 \cdot 10^{-7}$ /óra — rendkívül kicsiny — lambda faktort adott, míg 125/160 °C-on 5000 óra alatt mindössze 14 hiba lépett fel (4 db  $V_{out(0)}$ , 2 db  $I_{in(1)}$ ; 4–4 db szakadt, ill. zárlatos), mely  $5,83 \cdot 10^{-6}$ /óra hibásodási rátát jelent. A 14. ábrán jól láthatóan ez több, mint 1 nagyságrendnyi javulást jelent a szintén igen jó 1972-es eredményhez képest. A  $V_{out(0)}$  és szakadás hibák viszonylagos visszahúzódása a termokompressziós technika ugrásszerű javulására utal. Eszerint a hazai TTL SSI sorozat megbízhatósága nemcsak vetekszik a szocialista eredetű típusokkal, de — legalábbis a rendelkezésünkre álló utóbbi mintákhoz képest — azokat számottevően felül is múlja. Ezt mutatja az aktiválási energia csökkenése 1 eV-ról 0,8 eV-ra, tehát közelebb a fémezési hibák jellemző értékéhez, amellyel — óvatos becsléssel — a 45...55 °C környezetben előírásosan (számítógép-üzem) működő hazai IC-k a néhány száz  $10^{-9}$ /óra rendkívül kicsiny hibásodási rátát érik el.

Végül a TL 7472 N, J–K master-slave flip-flop két tételének eredményeiről kell szólnunk. Megbízhatóság szempontjából a hazai NAND-kapu és J–K flip-flop közt nincs számottevő különbség, az utóbbi nagyobb bonyolultsága ellenére. Hasonló eredményű a külföldi és hazai minták összevetése is, bár az előző típusnál (C 7472) a vizsgált darabszám, és így az eszközóra terjedelem is kicsiny.

## 7. A kapcsolóüzemű elektromos vizsgálatok eredményei

Az eddig 10,5 millió eszköz-órás, viszonylag szerény terjedelmű ilyen vizsgálatok eredményeit a 11. táblázatban foglaltuk össze. A 75...110 °C közötti morzsahőmérsékletek mellett csak szórványos hibák léptek fel, tendenciózus kontaktus-pestises elhasználódásra utaló jelek, pl. tömeges  $V_{out(0)}$  degradáció, nem mutatkoznak az eddigi 5...10 ezer óra alatt.

Dinamikus (kapsolózemű) elektromos terheléses vizsgálatok eredményei.  $V_{CC} = 5,25$  V

Sztresszmódszer		Gyűrűs oszcillátor, $n = 3$ kapu		Parallel-vezérelt, igazság-táblás bemenetű 1. [1,18] irod.			
Kapcsolási frekvencia		~25 MHz		2 MHz óra; 0,5 MHz ismétlődés		100 kHz óra; 25 kHz ismétlődés	
$P_{d\text{tot}}$ össz-disszipációs teljesítmény		105±7 mW		72±5 mW		68±4,5 mW	~14±1 mW
Típus, ekvivalencia		TL 7400 N „eva” (= SN 7400 N)		FLH 101 kísérleti gy. (= SN 7400 N)		C 7400 (≈SN 7400 N)	C 7460 (≈SN 7460 N)
$N_0$ , kezdeti mintaterjedelem	[db]	500	200	360	240	50	20
$t_{\text{tot}}$ , vizsgálati összidő	[óra]	10 000	5000	10 000	5000	10 000	10 000
$N_0 t_{\text{tot}}$ , millió eszköz-óra		5,0	1,0	3,6	1,2	0,5	0,2
$T_a$ , környezeti hőmérséklet	[°C]	70	100	70	100	70	70
$T_s$ , chip-hőmérséklet	[°C]	80±2	110±2	77±1,5	107±1,5	76±1,5	~72
hibásodások [db]	$V_{\text{out}(0)} > 0,4$ V < $V_{\text{on}}^{***}$	—	—	2	—	—	—
	$V_{\text{out}(1)} < 2,4$ V	—	—	—	—	—	—
	$-I_{\text{in}(0)} > 1,6$ mA	1	—	—	—	—	—
	$I_{\text{in}(1)} > 40$ $\mu$ A (90 $\mu$ A*)	1	—	—	—	—	—
	$I_{\text{CC}(0)}$ * ( $I_{\text{CCoff}} > 4$ mA***)	—	—	1	7	1	—
	$I_{\text{CC}(1)}$ ** ( $I_{\text{CCon}} > 2,5$ mA***)	—	—	1	4	—	—
szakadás		—	1	3	1	—	—
zárlat		2	3	2	—	—	—
$\Sigma r$ halmozott összhiba	[db]	4	4	-9	12	1	—
$10^5 \bar{\lambda}$ , halm. hibásodási ráta	[1/óra]	0,0800	0,400	0,250	1,02	0,200	—
$10^5 \bar{\lambda}_{\text{max}}$ , 60% C.L.	[1/óra]	0,105	0,528	0,292	1,16	0,415	0,475
$V_a$ , aktiválási energia	[eV]	0,707		0,540?		—	—
0-óránál hibás	[db]	3	—	—	5	—	—

\*  $I_{\text{CC}(0)} > 22$  mA a TL 7400 N és FLH 101 típusoknál és  $I_{\text{CC}(0)} > 30$  mA a C 7400-nál.

\*\*  $I_{\text{CC}(1)} > 8$  mA a TL 7400 N és FLH 101 típusoknál, míg  $I_{\text{CC}(1)} > 12$  mA a C 7400-nál.

\*\*\* C 7460 kettős, 4-bemenetű expandernél.

A TL 7400 N „eva” tételt két hőmérsékleti lépcsőben gyűrűs oszcillátor üzemmódban vizsgáltuk, a párhuzamos bemeneteket az előző kapu kimenetével összekövetve  $n=3$  NAND-kapunál, míg a negyedik kapu bemenetei az egyik kimenetre kapcsolódnak, kimenete pedig lebeg. Az ilyen üzemmódnál [1, 18] közel tiszta szinuszos, kb. 25 MHz frekvenciájú oszcilláció lép fel, amely a négyszeres NAND-kapu morzsahőmérsékletét kb. 10 °C-kal, tehát nem nagyon jelentősen emeli. Mint a táblázatból látható, ennél a módszernél is jelentős részarányú tranzisztorzárlat lépett fel, ugyanazért, mint az erős gyorsítású statikus elektromos vizsgálatnál, és az aktiválási energia is megközelíti az ott nyert értéket: itt 0,707 eV. A vizsgálat folytatása az azzal járó nagyobb kieséssel közelebb hoz majd a pontosabb értékhez. A 100/110 °C-os lépcsőnél csak katasztrofális hibásodás adódott (3 zárlat, 1 szakadás). Az azonos típusú kísérleti gyártású FLH 101 tételt szintén 70 és 100 °C környezetben, 2 lépcsőben vizsgáltuk az [1, 18] közleményben ismertett igazságtáblás parallel vezérlésű módszerrel, 10-szeres worst-case fanoutnak megfelelő kimeneti terhelésnél, logikai 0 kimeneti állapotban  $I_{\text{sink}} = 16$  mA és logikai 1 kimenetnél  $I_{\text{load}} = 400$   $\mu$ A maximális ohmos terheléssel, amelyen kívül még kb. 270 pF kapacitás is terheli a ki-

menetet. Ilyen állapotban az átlagos morzsahőmérséklet-emelkedés mindössze kb. 7 °C, ami degradáció szempontjából nem túl jelentős, alig kétszeres  $\bar{\lambda}$ -faktor emelkedés várható az azonos környezeti hőmérsékletű tárolás eredményéhez képest. Összehasonlítva ennek a mintának azonos  $T_a$ -n végzett tárolási eredményeivel, az itteni dinamikus vizsgálat 4...5-szörös emelkedést mutat a  $\bar{\lambda}$  faktorban, amely többetemelkedés a potenciál-grádiens sztrezz-hatásában keresendő. A  $\lambda(t)$  függvények szignifikanciája a túl kevés kiesés miatt amúgy sem nagy, így azokat meg sem adjuk, elég annyit elmondani, hogy a  $T_a = 70$  °C lépcsőben a függvény 10 ezer óráig monoton csökken, míg  $T_a = 100$  °C-nál 2000 óra után olyan enyhe az emelkedés, hogy azt tendenciózus elhasználódásnak nem tekinthetjük még. Az aktiválási energia is azért adódott 0,54 eV igen kis értéknek, mert a korai kiesés szakaszának az eddigi vizsgálatban még döntő szerepe van.

A két külföldi eredetű minta oly kis darabszámú, hogy 10 000 óra alatt csak az egyik tételnél volt egyetlen kiesés, és így az eredmény szignifikanciája nagyon kicsi.

Érdekesebb az FLH 101 kísérleti gyártású tételnél az a megállapítás, hogy a degradációs hibák, 2  $V_{\text{out}(0)}$  hibát kivéve, csak a tápáramfelvétel határainak túl-



lépésében (13 db) nyilvánultak meg, aminek okát a 3. fejezetben tárgyaltuk, az  $R_1$  és  $R_2$  diffundált ellenállások átlagértéke lényegesen a névleges érték alatt van. A végleges gyártás (TL 7400 N „eva”) ezt az elcsúszást már kiküszöbölte.

### 8. A különböző stresszmódszerek összehasonlítása Extrapoláció üzemi viszonyokra

Az egyes vizsgálati módszereket a rejtett, potenciális hibák napvilágra hozása, tehát a gyorsítás mértéke szerint vetjük itt össze elsősorban. Erre egyrészt a hazai négyszeres NAND-kapu kísérleti gyártású FLH 101 tétele, másrészt ugyanennek reguális gyártású TL 7400 N „eva” tétele alkalmas mind a nagy darabszám, mind a sokfajta végzett vizsgálat miatt, de legfőképpen azért, mert a két minta biztosan egy-egy gyártási tételből származik és nem keverékminőség.

A TL 7400 N „eva” mintát — az igazságtáblás parallel vezérelt dinamikus módszeren — kívül mindegyik ismertett stresszmódszerrel vizsgáltuk, így a 14. ábra gyorsítási diagramja jó alapnak ígérkezik az összehasonlításra. Mivel a viszonylag kis eszközóra számú logikai 1 és 0 statikus és gyűrűs oszcillátoros dinamikus módszerekkel kisebb aktiválási energiát kaptunk, mint a tárolásos és a 3. ábra szerinti erős gyorsítású statikus módszereknél egységesen adódó  $V_a=1$  eV, ezért az összehasonlítást nem elég egyetlen, közép magas morzsahőmérsékleten elvégezni. Az összevetést 100, 112,5 és 125 °C-on a 12. táblázat mutatja. A kísérleti gyártású FLH 101 tétel tárolásos és igazságtáblás, parallel-vezérelt kapcsolóüzemű vizsgálatainak összevetését is ott tüntetjük fel.

A 12. táblázat eredményeit óvatosan interpretálva (pl. a  $T_s=112,5$  °C-os összevetés közepes értékeit, ill. arányait tekintve) úgy tűnik, hogy az egyes elektromos terhelési módszerek viszonylagos hatásossága a rejtett hibásodási mechanizmusok előhívásában, a tárolásos vizsgálat eredményét egységnek

véve, a hatásosság növekvő sorrendjében a következő: logikai 1 és 0 statikus  $\div 1,5...2,5$ ; parallel vezérelt igazságtáblás dinamikus (2 MHz óra)  $\div 4...5,5$ ; gyűrűs oszcillátoros dinamikus ( $n=3$ ,  $f=25$  MHz)  $\div 5...7$  és végül a 3. ábra szerinti erős gyorsítású statikus  $\div 8...10$ .

A 12. táblázat a TL 7400 N „eva” tétel vizsgálati eredményeinek extrapolációját is tartalmazza,  $V_a=1$  eV-os aktiválási energiát figyelembe véve az átlagos üzemi körülményeknek megfelelő  $T_a=55$  °C környezeti hőmérsékletre; tárolásnál a 6. ábra, míg a 3. ábra szerinti erős gyorsítású statikus terhelésnél a 14. ábra alapján. Ugyanakkor az azonos  $T_s=55$  °C morzsahőmérsékletet tekintve is szerepel az extrapolált érték. Az utóbbi szerint  $T_s=55$  °C-on a hazai TTL SSI áramkörök hibásodási rátája az igénybevételi módtól függően  $5 \cdot 10^{-9}$  és  $5 \cdot 10^{-8}$ /óra értékek közt mozog. Az átlagos kapcsolóüzemű igénybevételnek (pl. számítógép), a  $T_a \cong 45...55$  °C-on megfelelő becsült hibásodási ráta tehát a két érték középértékeként  $2 \cdot 10^{-8}$ /óra körüli becslést ad, amely ipari alkalmazásban rangos, jó megbízhatóságnak tekinthető. Az 1973. évi gyártás ehhez képest további, legalább 1 nagyságrendnyi javulást hozott.

A 12. táblázat extrapolációinál, valamint az egyes stresszmódszerek viszonylagos hatásosságának összevetésénél csak a TL 7400 N „eva” tétel tárolásos és a 3. ábra szerinti erős gyorsítású statikus vizsgálatainak eredményei tekinthetők véglegesnek és egyértelműen megalapozottnak, hisz csak ezeknél kaptunk konzisztensen 1 eV aktiválási energiát, és ezek statisztikai biztosítottsága is kielégítő,

Végül vizsgáljuk meg azt, hogy a különböző stresszmódszerek különböző hőmérsékleteken hogyan befolyásolják a létrejövő hibásodások fajtáit, ill. az okait. Ezt áttekinthető formában a 13. táblázatban találhatjuk meg a TL 7400 N „eva” tételre vonatkozóan.

Három lényeges következtetést vonhatunk le:

- (i) a növekvő mértékű gyorsítás, tehát a növekvő hőmérséklet, a hibák okainak megoszlását

12. táblázat

Különböző vizsgálati módszerek relatív hatásossága a  $4 \times 2$  bemenetű hazai NAND-kapu vizsgálatánál, a tárolás eredményeihez viszonyítva.  $\bar{\lambda}^*$  = az adott elektromos terhelés eredménye

Vizsg. minta	Terhelési mód	TL 7400 N „eva”				FLH 101 kísérleti gyártás	
		Tárolás	Logikai 1 és 0 statikus	Gyűrűs oszc. dinamikus	3. ábra szerint statikus	Tárolás	Parallel vez. igazságtáblás din.
100 °C	(1/óra)	$3 \cdot 10^{-7}$	$8,5 \cdot 10^{-7}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$2,8 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$7,3 \cdot 10^{-6}$
	$\bar{\lambda}^*/\bar{\lambda}$ (tárolás)	1	$\sim 2,8$	$\sim 8,3$	9,3	1	3,7
112,5 °C	(1/óra)	$8,5 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$7,2 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$
	$\bar{\lambda}^*/\bar{\lambda}$ (tárolás)	1	$\sim 1,5$	$\sim 5,9$	8,5	1	5,6
125 °C	(1/óra)	$\sim 2 \cdot 10^{-6}$	—	$9 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$3,6 \cdot 10^{-6}$	—
	$\bar{\lambda}^*/\bar{\lambda}$ (tárolás)	1	—	$\sim 4,5$	8,0	1	—
Extrapolált $\bar{\lambda}$ [1/óra]	$T_s=55$ °C	$\sim 5 \cdot 10^{-9}$	?	?	$4,7 \cdot 10^{-8*}$	?	?
	$T_a=55$ °C				$1 \cdot 10^{-6**}$		

\* A  $T_s=55$  °C-hoz tartozó környezeti hőmérséklet  $T_a=21$  °C.

\*\* A  $T_a=55$  °C-hoz tartozó morzsahőmérséklet  $T_s=89 \pm 7$  °C.

A hibásodások okainak megoszlása a különböző vizsgálómódszerek szerint és a hőmérséklet függvényében

Terhelési mód	Hibatípus	70...80 °C		
		Log. 1 és 0 statikus	Gyűrűs oszcillátor dinamikus	
		db	db	%
Au-Al bondolások pestise; fémezésmigráció és szakadás [V <sub>out(0)</sub> és szakadáshibák] [Ebből V <sub>out(0)</sub> > 0,4 V degradáció]		—	—	—
Nagyszintű áramparaméter-határok túllépése [I <sub>in(0)</sub> , I <sub>os</sub> , I <sub>CC(0)</sub> , I <sub>CC(1)</sub> hibák]		1	1	25
Nagy szivárgási áram, nagy felületi állapotosság [I <sub>in(1)</sub> hibák]		—	1	25
Tranzisztorzárlat (pl. pinhole miatt)		—	2	50
Egyéb [pl. V <sub>out(1)</sub> < 2,4 V]		—	—	—
Összhiba [db]/%		1	4	100
Katasztróf./összhiba arány [%]		0	50	
Millió eszköz-óra		2,5	5,0	

\* Nem független hiba, ugyanazon a példányon lépett fel, melynél az I<sub>in(0)</sub> degradáció.  
 \*\* „Erős gyorsítású” módszer.

gyökeresen megváltoztatja, és pedig a kontaktuspestis és fémezési szakadáshibák dominanciája felé. 100 °C-on az ilyen hibák részaránya 0...40%, míg 150 és 175 °C között 92...95%;

- (ii) tranzisztorzárlat csak elektromos igénybevétel esetén lép fel (egyetlen esettől eltekintve), és különösen a legnagyobb disszipációt jelentő gyűrűs oszcillátoros dinamikus és a 3. ábra szerinti erős gyorsítású statikus sztrészeknél. Részaránya csak viszonylag alacsony hőmérsékleten (110 °C alatt) jelentős, mert magas hőmérsékleten a kontaktus- és fémezéshibák elnyomják;
- (iii) a többi hibatípus, akár csak a katasztrófális hibák aránya az összhibásodáshoz, sem a hőmérséklettel, sem a stresszmódszerrel nem mutat észrevehető összefüggést.

## Függelék

### F.1. Paraméter eloszlásfüggvények

Az IC hibás voltának megítélése a degradációs hiba vagy funkcionális működésképtelenség első megjelenésére alapozódik, hacsak a degradációs hibánál a határadat túllépése ismét el nem tűnik (visszajavul). Ha egy adott mérési időpontban egyszerre több paraméter szerint vált hibássá az adott áramkör, úgy a hiba okát egyetlen paraméterre értve minősítjük a következő fontossági sorrendben: funkcionális hibák (zárlat vagy szakadás), V<sub>out(0)</sub> és V<sub>out(1)</sub> logikai szintek, I<sub>in(0)</sub> és I<sub>in(1)</sub> bemenő áramok, I<sub>os</sub> rövidzárási áram és végül az I<sub>CC(0)</sub>, I<sub>CC(1)</sub> tápáramfelvétel.

A hibás IC-t mindazonáltal nem rekesztjük ki a további vizsgálatból (hacsak mérhetetlenné nem vált), és paramétereit tovább is mérjük, hogy az azokból nyert eloszlásfüggvények torzítatlanok maradjanak.

A paraméter-eloszlásfüggvényeket a vizsgálat előtti 0-órás és vizsgálat végi állapotban szerkesztjük meg, esetenként 1–2 közöttes időpontban is, hisz így tanulmányozható egy adott módszerű és szintű vizsgálati sztrész hatása a paraméterek stabilitására, mediánjuk és standard szórásuk változására, ill. az eloszlásfüggvények jellegzetes torzulására, különösen az eloszlásfüggvények extremitásainál (széleinél), ahogy ezt a 15. ábra mutatja.

Általánosságban elmondható, hogy a 0-órás eloszlás homogén minőség esetén normális eloszlás, az I<sub>in(1)</sub> bemenő áramét kivéve, amely log-normál eloszlású (lásd a 15. és 16. ábrákat). Az eloszlások mediánja és standard szórása még igen erős és huzamos sztrész esetén sem változik észrevehetően, ahogy ezt a TL 7400 „eva” minta T<sub>s</sub> = 134 ± 7 °C-os, 6000 órás erős gyorsítású (l. 3. ábra) statikus elektromos terhelésének a 15. ábrán bemutatott eloszlásain is megfigyelhetjük.

A 15...17. ábrák eloszlásfüggvényein a halmozott százalékarány 16 és 84%-os értékeinek metszéspontjait is feltüntettük; normális eloszlás esetén ugyanis az ezen százaléktértekekhez tartozó abszcisszák képviselik a standard szórás határait, közöttük terül el a teljes népesség 68%-a, míg a medián egybeesik az algebrai átlaggal.

Az egyes eloszlásfüggvények csak akkor torzulnak jelentősen, ha az IC-k huzamos, extrém igénybevételt szenvednek el, mint ahogy ez pl. 6000 óra után a 15. ábrán látható. Jó példa erre a 16. ábra,

a TL 7400 N „eva” NAND kaputípusnál (1972. gyártás)

100...110 °C					125...135 °C					150...160 °C					175 °C	
Tárolás	3. ábra szer.** statikus elektromos		Gyűrűs oszillátor dinamikus		Tárolás		3. ábra szer.** statikus elektromos		Tárolás		3. ábra szer.** statikus elektr.		Tárolás			
	db	db	%	db	%	db	%	db	%	db	%	db	%	db	%	
—	8	42,10	1	25	2	50	39	88,64	17	94,44	129	91,49	31	93,94		
—	(3)	(15,79)	—	—	(2)	(30)	(20)	(45,45)	(7)	(38,89)	(58)	(41,13)	(9)	(27,27)		
—	2	10,53	—	—	—	—	2	4,55	1	5,56	—	—	1	3,03		
—	1	5,26	—	—	2	50	2	4,55	[1]*	[5,56]*	—	—	1	3,03		
1	7	36,85	3	75	—	—	1	2,26	—	—	9	6,38	—	—		
—	1	5,26	—	—	—	—	—	—	—	—	2	1,42	1	3,03		
1	19	100,00	4	100	4	100	44	100,00	18	100,00	141	100,00	33	100,00		
100	63,16		100		0		45,45		55,56		57,45		63,64			
3,0	7,75		1,0		2,0		1,5		1,0		0,96		0,5			

ahol a TL 7400 N „eva” tétel 70 és 175 °C közötti tárolásos vizsgálatának egyes hőmérsékleti lépcsőinél a vizsgálat végi, ill. ahhoz közeli  $V_{out(0)}$  és  $I_{in(0)}$  eloszlásfüggvényeket mutatjuk be. Bár a medián csak jelentéktelenül csúszott el, mindkét függvény jellegzetes torzulása figyelhető meg 125 °C tárolási hőmérséklet felett: a vízszintes felé törve szétterülnek a nagy  $V_{out(0)}$ , ill. a zérus  $I_{in(0)}$  irányába. A torzulások oka, ill. a mögöttük rejlő fizikai hiba más és más a két függvénynél. A  $V_{out(0)}$  eloszlásánál a degradálódott hányad a népesség 5%-a 125 °C-on és kb. 10%-a 150 °C-on, míg az 50%-ot éri el 175 °C-on a vizsgálat 10 000, ill. 5000 órás fázisában. Az erősen megnövekedő  $V_{out(0)}$  részint a pestises, nagy átmeneti ellenállású termokompressziós bondolás, részint annak teljes szakadásának következménye. Szakadásnál  $V_{out(0)}$  az  $I_{sink} = -16$  mA áramgenerátor 7 V körüli kapocsfeszültségére ugrik fel. Az  $I_{in(0)}$  eloszlások vízszintes felé való törése, amely 125 °C-on a népesség 2,5%-ára, 150 °C-on már 6%-ára, míg 175 °C-on kb. 25%-ára terjed ki, a bemeneti termokompressziós kontaktusok szakadására utal. Szakadásnál ugyanis  $I_{in(0)} = 0$  és  $I_{in(1)} = 0$ .

Az  $I_{os}$  eloszlásának hasonló viselkedése  $V_{CC}$  szakadással kapcsolatos, vö. az 1. táblázattal. A  $V_{out(0)}$ ,  $I_{in(0)}$  és  $I_{os}$  eloszlásfüggvények menetében hasonló torzulások mutatkoznak a 134 °C átlagos morzsahőmérsékletű erős gyorsítású (3. ábra) statikus vizsgálat 6000 órája után is, miként a 15. ábrán látható, egybehangzóan a 13. ábra  $\lambda(t)$  függvényeivel. A degradálódott hányad a töréspontokon túl fekszik, tehát kb. 15%-a  $V_{out(0)}$ -nál, 4% az  $I_{os}$ -nél ( $V_{CC}$  szakadás), míg az  $I_{in(0)}$  eloszlásban a népesség kb. 3,7%-ánál  $I_{in(0)} = 0$  bemenet szakadásra utal. Hasonló, bár

enyhébb torzulások léptek fel az FLH 101 kísérleti gyártás 150 °C-os tárolásának 17. ábra szerinti  $V_{out(0)}$  és  $I_{in(0)}$  eloszlásainál. Mindazonáltal ezek a torzulások az átlagot (mediánt) és a standard szórást még alig vagy egyáltalán nem befolyásolják.

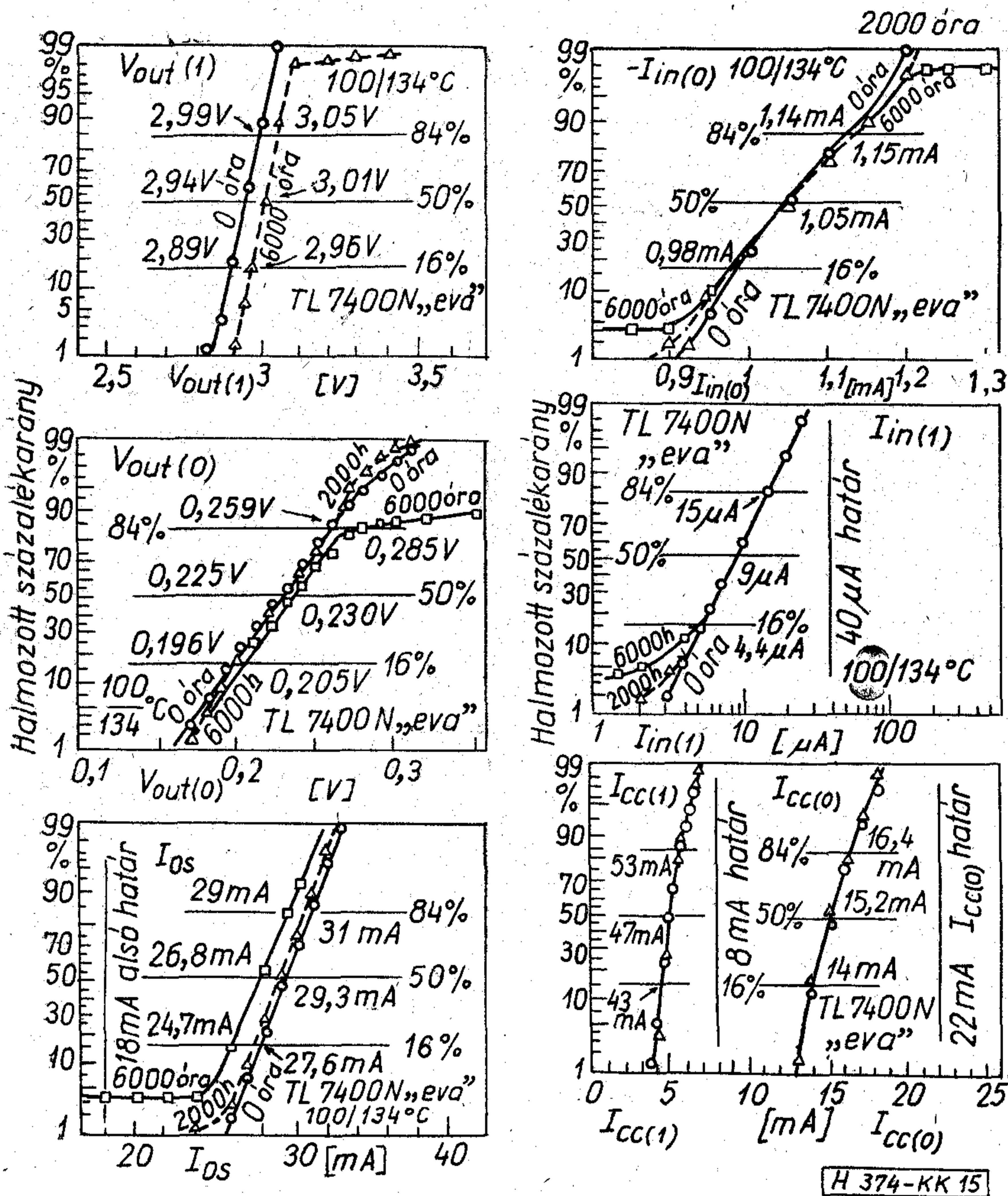
Összefoglalásképpen megállapíthatjuk, hogy a TTL műanyag tokozású IC-k paraméterstabilitása 150 °C hőmérséklet alatt kitűnő: jelentős változás még huzamos, sok ezer órás igénybevétel alatt sem lép fel sem a medián, sem a standard szórás értékében.

## F.2. Néhány jellegzetes IC hibamechanizmus

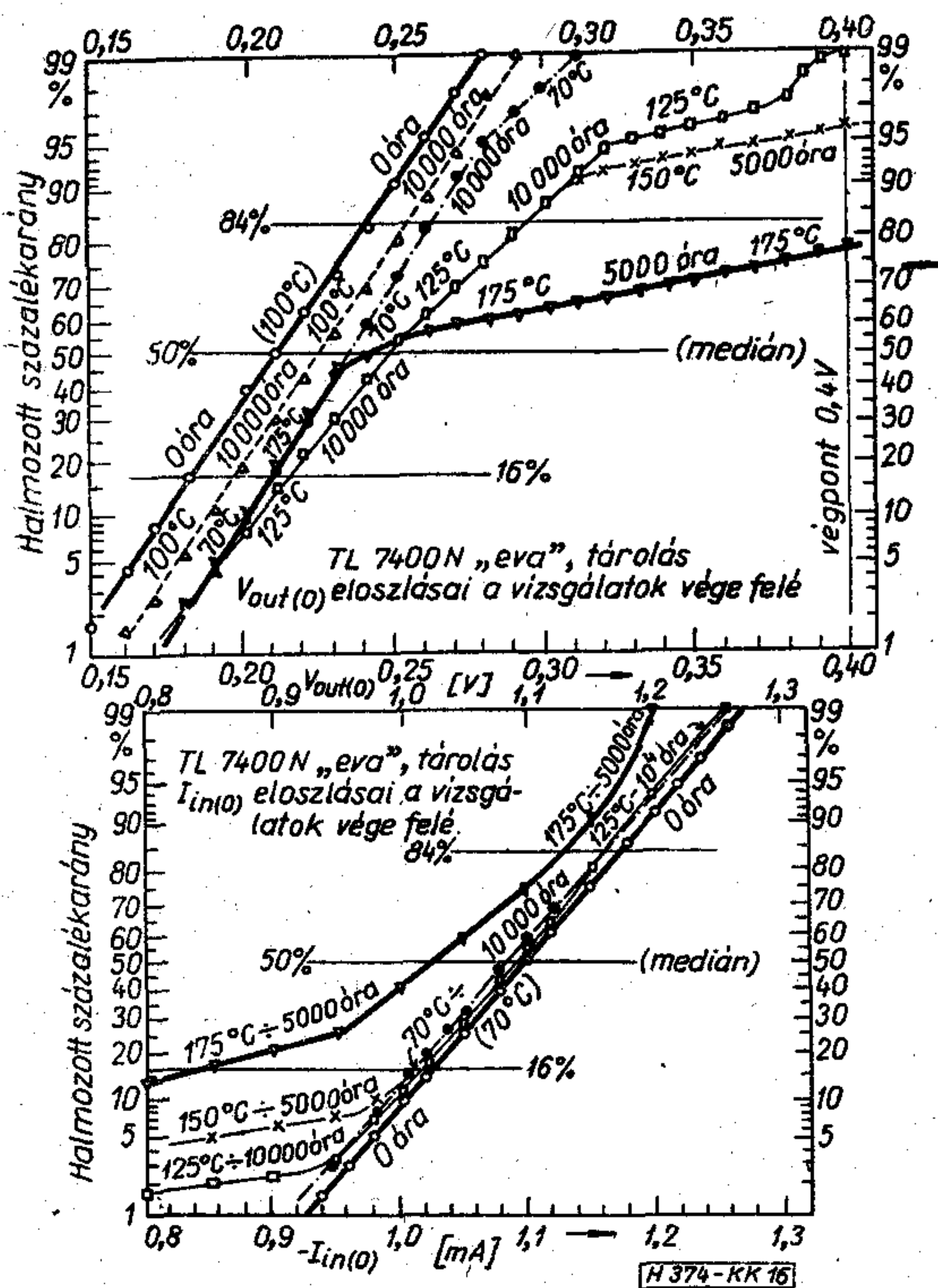
A tönkrement eszközök hibaanalízise során néhány jellegzetes hibamechanizmussal találkoztunk. Az analízishez felhasználtuk a nagy felbontó képességű röntgensugaras átvilágítást, a pásztázó elektronmikroszkópot (SEM) és az optikai mikroszkópot is. A röntgenátvilágosításos és SEM felvételeket Stefániy Vilmos készítette a TUNGSRAM Kutatóban, ill. a Fémipari Kutató Intézetben.

### F.2.1. Az Au-Al kötés pestisesedése, üregképződés a kötés alatt

Al filmre Au szállal készített termokompressziós gömbkötéses kontaktálást alkalmazunk a hazai integrált áramköröknél. A két fém (Au-Al) tulajdonsága, hogy hő hatására óhatatlanul intermetallikus fázisokat hoz létre. Az öt intermetallikus fázist Hansen 1958-ban azonosította már, azóta a félvezető eszközöknél ez a kérdés csak részben módosult. Philofsky [22] azonosított egy Al-Si-Au fázist is. A vizsgálatok bebizonyították, hogy a Si jelenléte



15. ábra. A TL 7400 N „eva” minta 3. ábra szerinti erős gyorsítású  $T_a = 100^\circ\text{C}$ ,  $T_s = 134 \pm 7^\circ\text{C}$  hőmérsékletű statikus terhelése során alakuló paraméter-eloszlásfüggvények 0, 2000 és 6000 óránál. A medián és a szórás az extrém igénybevétel ellenére nem vagy csak jelentéktelenül változik 6000 óra után; számottevő torzulások csak az eloszlásfüggvények extremitásainál lépnek fel, különösen  $V_{out(0)}$ -nál a kimeneti kontaktus pestise és szakadások,  $I_{in(0)}$  és  $I_{in(1)}$ -nél bemenet- és  $V_{cc}$ -szakadások, végül  $I_{os}$ -nél egyéb szakadások miatt



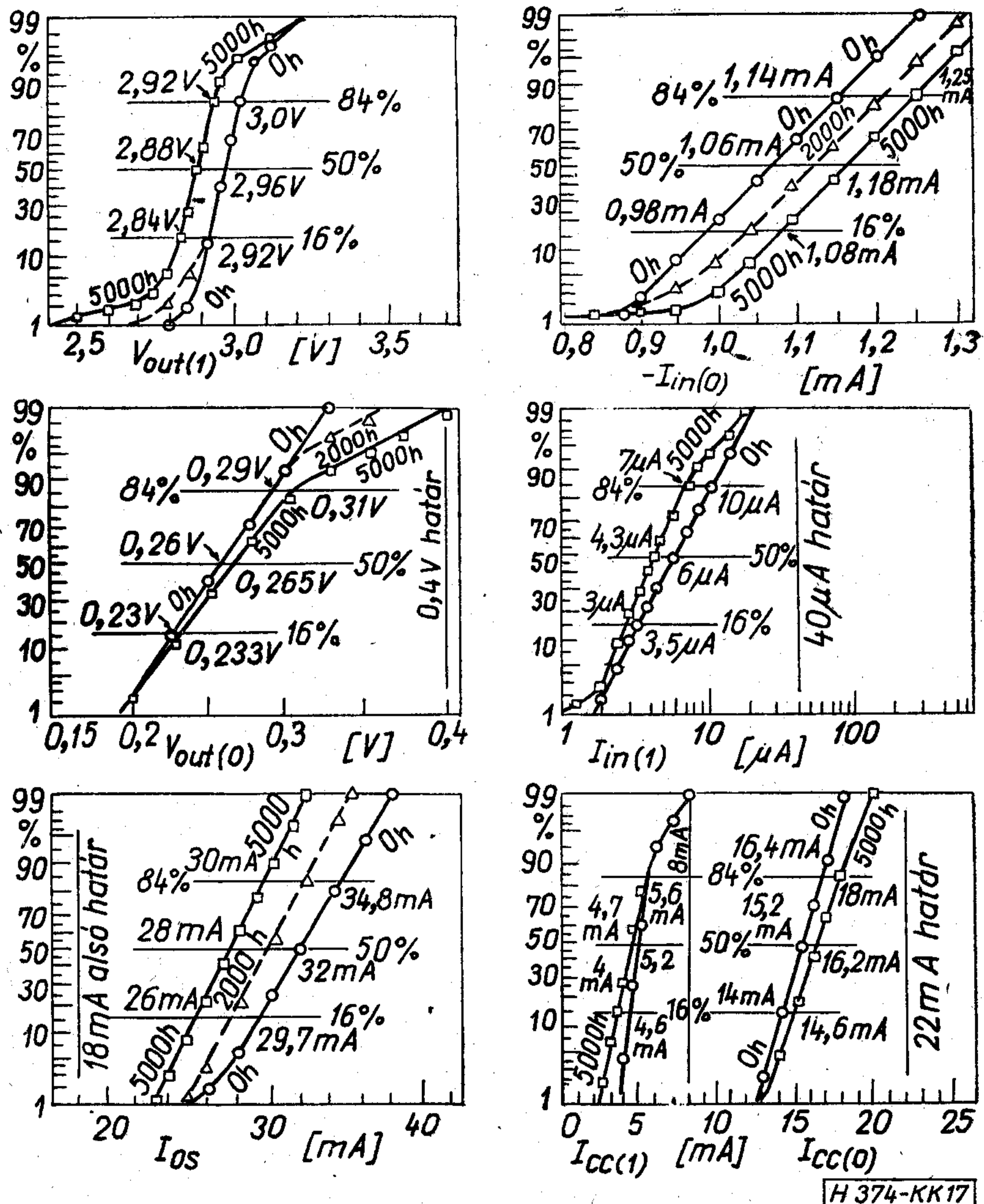
katalizáló hatást gyakorol egyes pestises fázisokra, bár azok Si nélkül is — függetlenül a technológiától — létrejönnek.

A jó kötés jellemzője, hogy a termokompressziós kötés környékén (az Al-on) egy sűrűbb, finomabb szemcseszerkezetű pestises állomány alakul ki, de a kötésterület alá nem hatol be ez a folyamat (11. és 18. ábrák).

A rossz — technológiailag nem megfelelő — kötés pestisesedése a kötésterület (az Au gömb) alatt indul meg, és üregesedést okozva [23] felváláshoz vezet, bár a környező Al még nem alakult át pestisesállománnyá. Az ilyen struktúra durva szemcséjű (19. ábra).

16. ábra.  $V_{out(0)}$  és  $I_{in(0)}$  eloszlásfüggvényei a vizsgálat végén vagy közel ahhoz, a TL 7400 N „eva” minta 70, 100, 125, 150 és 175 °C-os tárolása után. Referencia a 100 °C-os  $V_{out(0)}$ , ill. a 70 °C-os  $I_{in(0)}$ , 0-órás eloszlás. 125 °C felett az eloszlások számottevő torzulást szenvednek az extremitásoknál.  $V_{out(0)}$  eloszlásának szétterülése a nagyobb értékek felé a kimeneti bondolás pestises eredetű átmeneti ellenállás-növekedése, ill. szakadáshibák miatt jön létre és 175 °C-on 5000 óra után a népesség 21%-ánál okoz  $V_{out(0)} > 0,4\text{ V}$  hibát. Az  $I_{in(0)}$  eloszlások szétterülése a zérus érték felé részint a szakadt bemenetek következménye, mely a 175 °C-os lépcső 100 példányánál, 800 bemenetre vetítve, 14 db-ot (1,75%-ot) tesz ki. Az utóbbi hatás a 125 és 150 °C-os lépcsőknél is fellép, ha kisebb mértékben is

17. ábra. A kísérleti gyártású FLH 101 tétel 150 °C-os vizsgálatának paraméter-eloszlásfüggvényei 0, 2000 és 5000 óránál. A 15. és 16. ábra eloszlásaival összevetve már 0 óránál is jól megfigyelhető egyrészt az  $I_{in(1)}$  szivárgási áram, másrészt a nagyszintű áramparaméterek eleve nagyobb szórása és az  $I_{CC(1)}$  határközeleli mediánja, mely utóbbiak a diffundált ellenállások, ill. a bázisdiffúzió nagyobb technológiai szórásával magyarázhatók, míg a szivárgási áram nagyobb szórása és változása erősebb felületi állapotsűrűség eredménye



Az analíziseredmények és a tapasztalatok is azt igazolják, hogy Au-Al rendszerben kellő hőmérsékleten és kellő idő alatt mindig keletkezik intermetallikus fázis, de ez nem minden esetben okoz kötésdegradációt, jó technológiával a kötés alatti pestisesedést, ill. üregesedést el lehet kerülni.

#### F.2.2. Túlszinterelés, kontaktusablak-gödrösödés. Al-Si reakciók, termomigráció

Az integrált áramköri fémmezések jellegzetes technológiai eredetű hibafajtája a kontaktusablak alján levő szilícium beoldódása az elvezető Al-csikba.

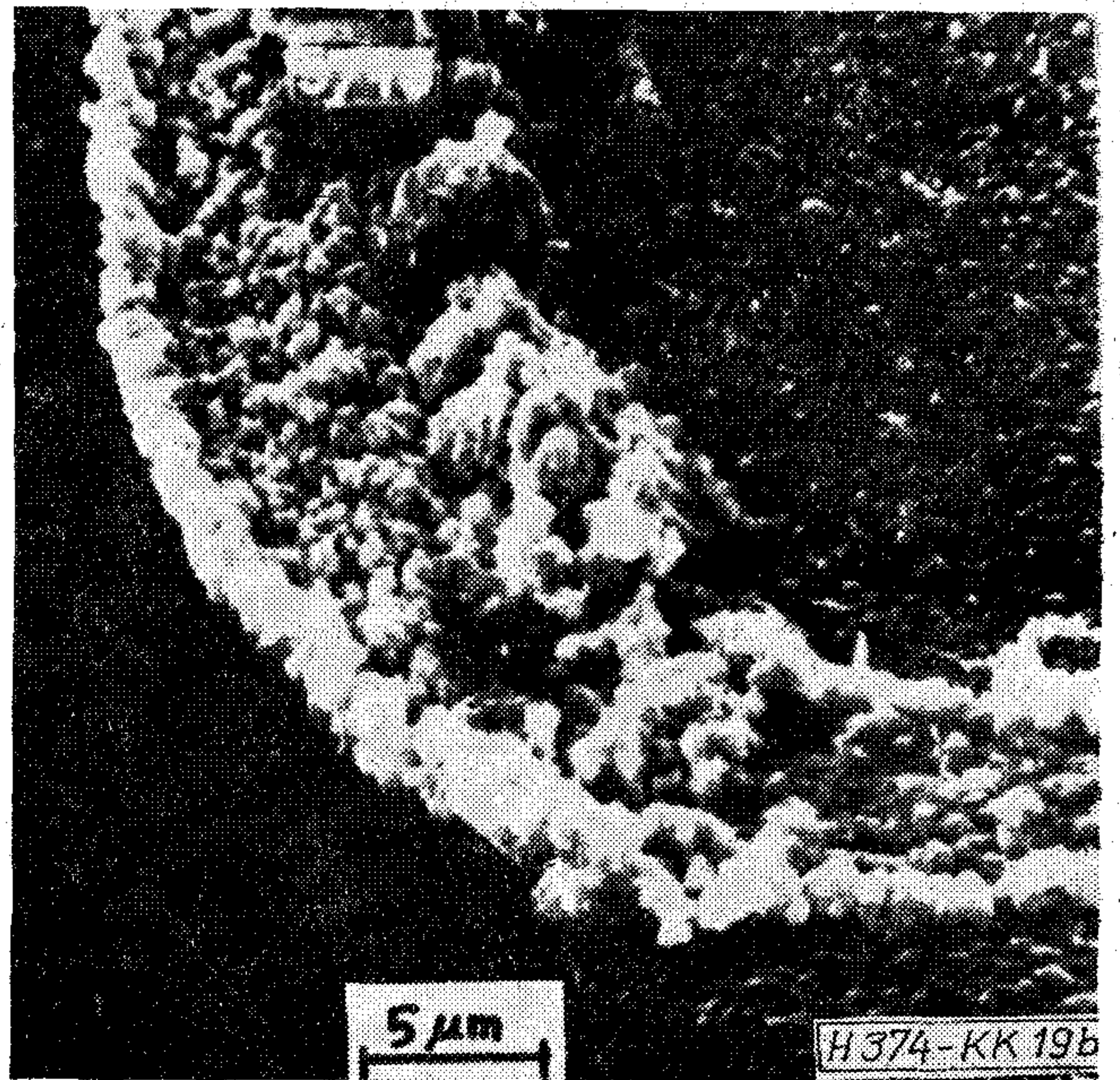
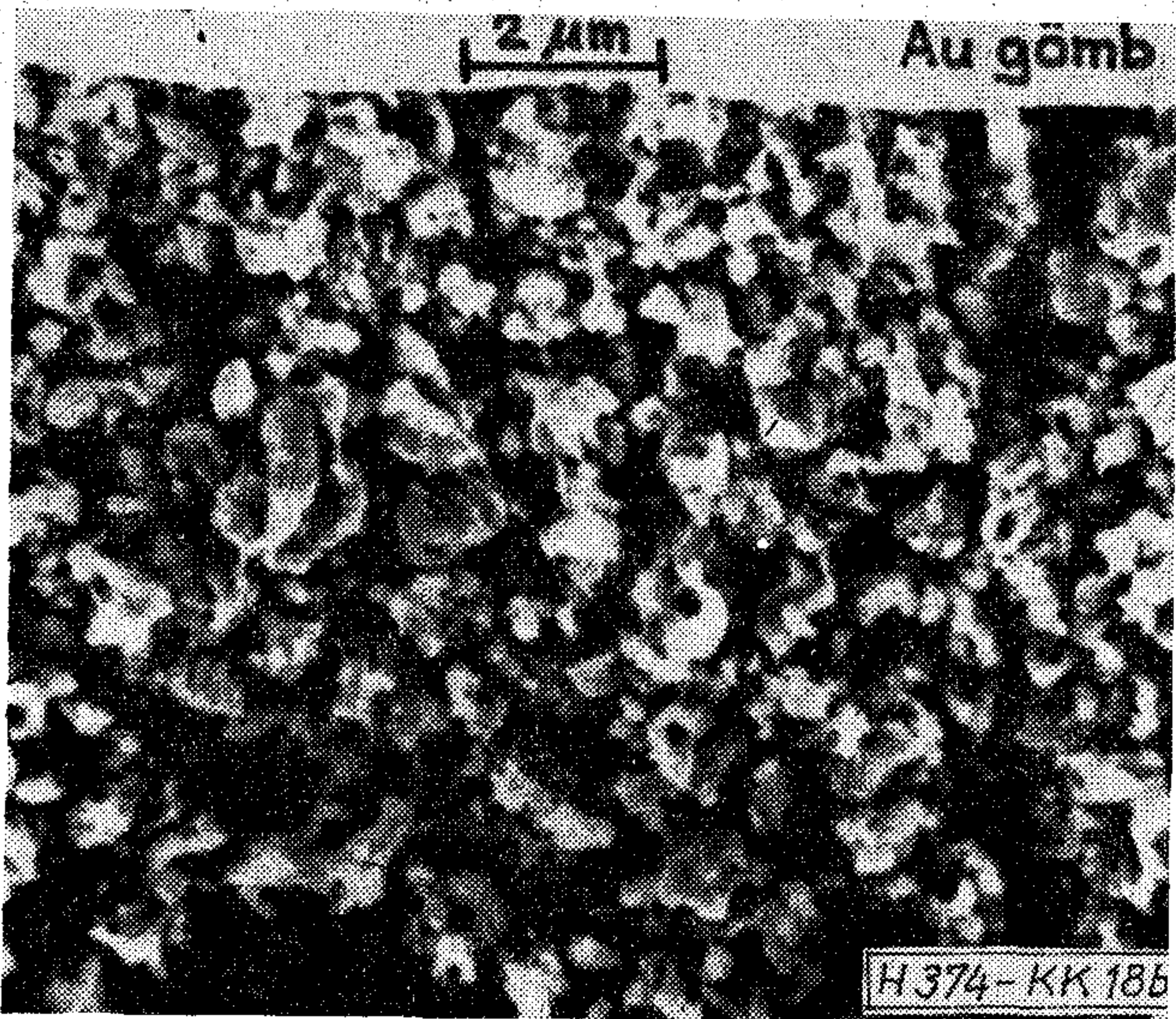
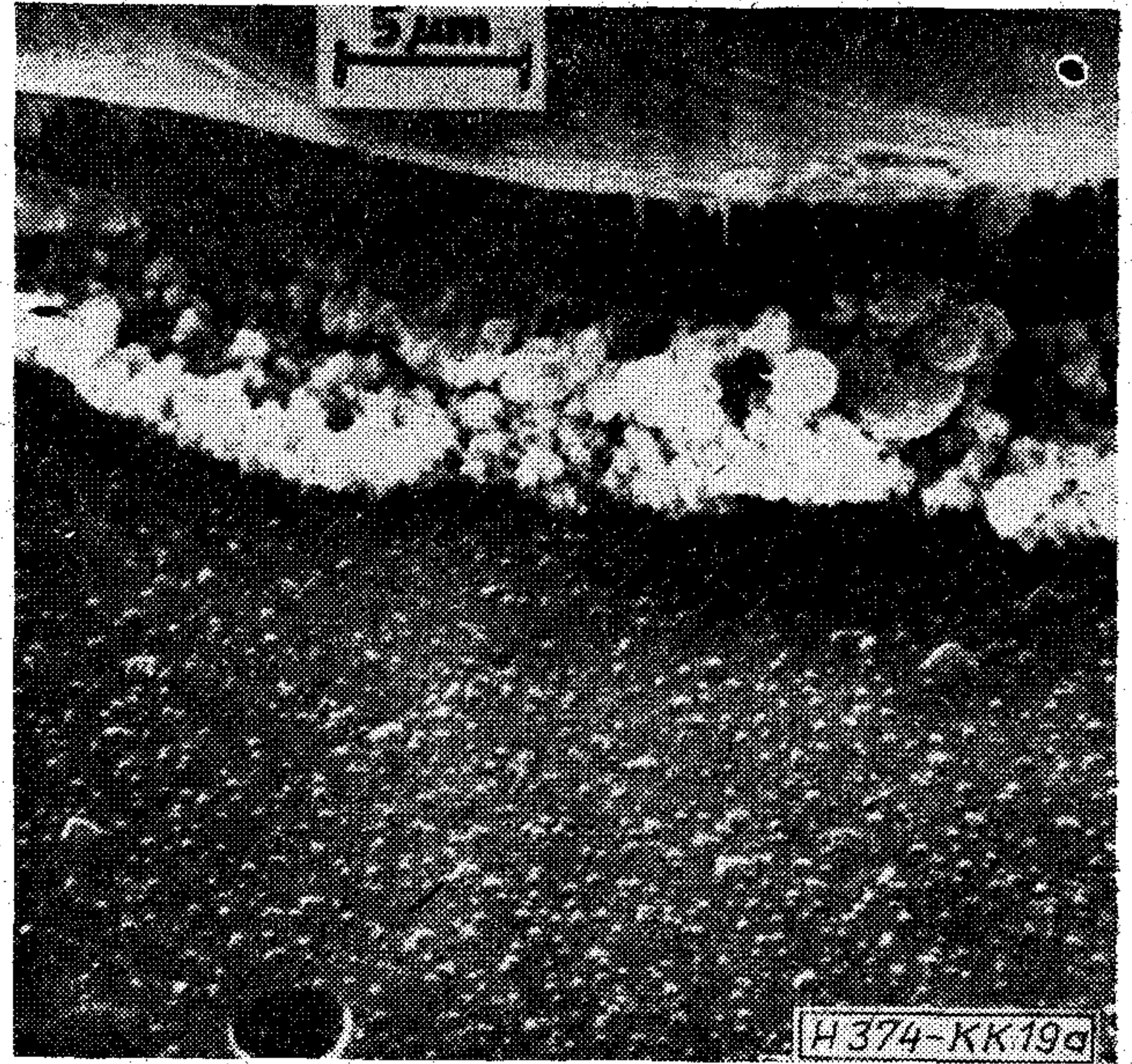
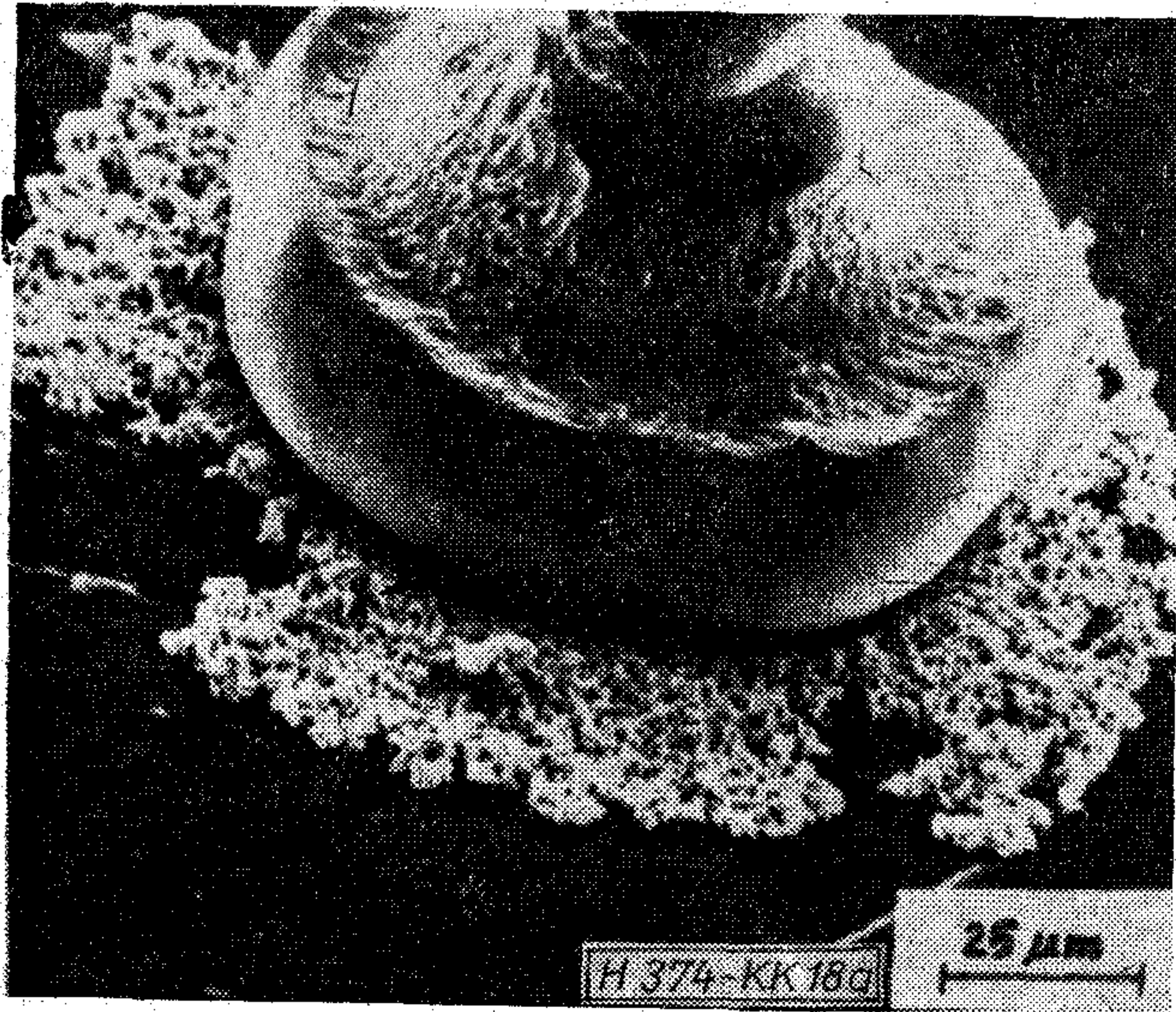
Az Al film fémzésbe a párologtatást követő szinterelő hőkezelés (ötvözés) hatására Si oldódik be, amely 500...570 °C közt már igen jelentős. A Si-nak Al-ban való szilárd oldási telítettsége az általánosan alkalmazott szinterelési hőfokon és időtartam esetén (450...550 °C, 5...30 perc) nem következik be. A kész eszköz működése során a Si beoldódása tovább folytatódik relatíve alacsony (kb. 250 °C) hőmérsékleten is. A beoldott Si a kontaktusablak aljáról a tiszta Al vezetõn keresztül elvándorol és távolabb, a lehülés után, ill. a hidegebb helyeken a szemcsehatárokon kiválik. Ez a folyamat tehát nem áll meg, hanem folytatódik addig, amíg az oxidlépcsőnél —

ahol nagy a hőmérsékleti gradiens — a szemcsehatárokon kiváló Si hatására szakadás lép fel, vagy amíg a kontaktusablak aljából kioldott Si helyébe nyomuló Al az átmenetet a gödörben rövidebbre nem zárja. A folyamattal R. J. Anstead és S. R. Floyd [24], valamint J. McCarty [25] is foglalkozott. Bebizonyították, hogy jóval a Si-Al eutektikus hőmérséklet alatt (577 °C) is folytatódik a Si-nak az Al-ba való beoldódása. Ezt részben az Al és a SiO<sub>2</sub> közötti exotherm reakció is igazolja, mely mély gödröket markol ki a (111) szilíciumból (20. ábra). A Si-Al eutektikus hőmérséklet, 577 °C feletti túlszinterelésnél az Al a Si-SiO<sub>2</sub> határfelületen, az oxid alatt penetrálva ötvözési háromszögesedéssel zárlatot okozhat szomszédos kontaktusok, ill. vezetők közt, és a fémcsík felülete összeugrik, ráncosodik (21. ábra).

A Si szilárd oldódása az Al-ba termomigráció következménye, ahol ezen diffúziós folyamat hajtóereje a termikus gradiens, és iránya a migráló anyag negatív koncentrációs gradiense.

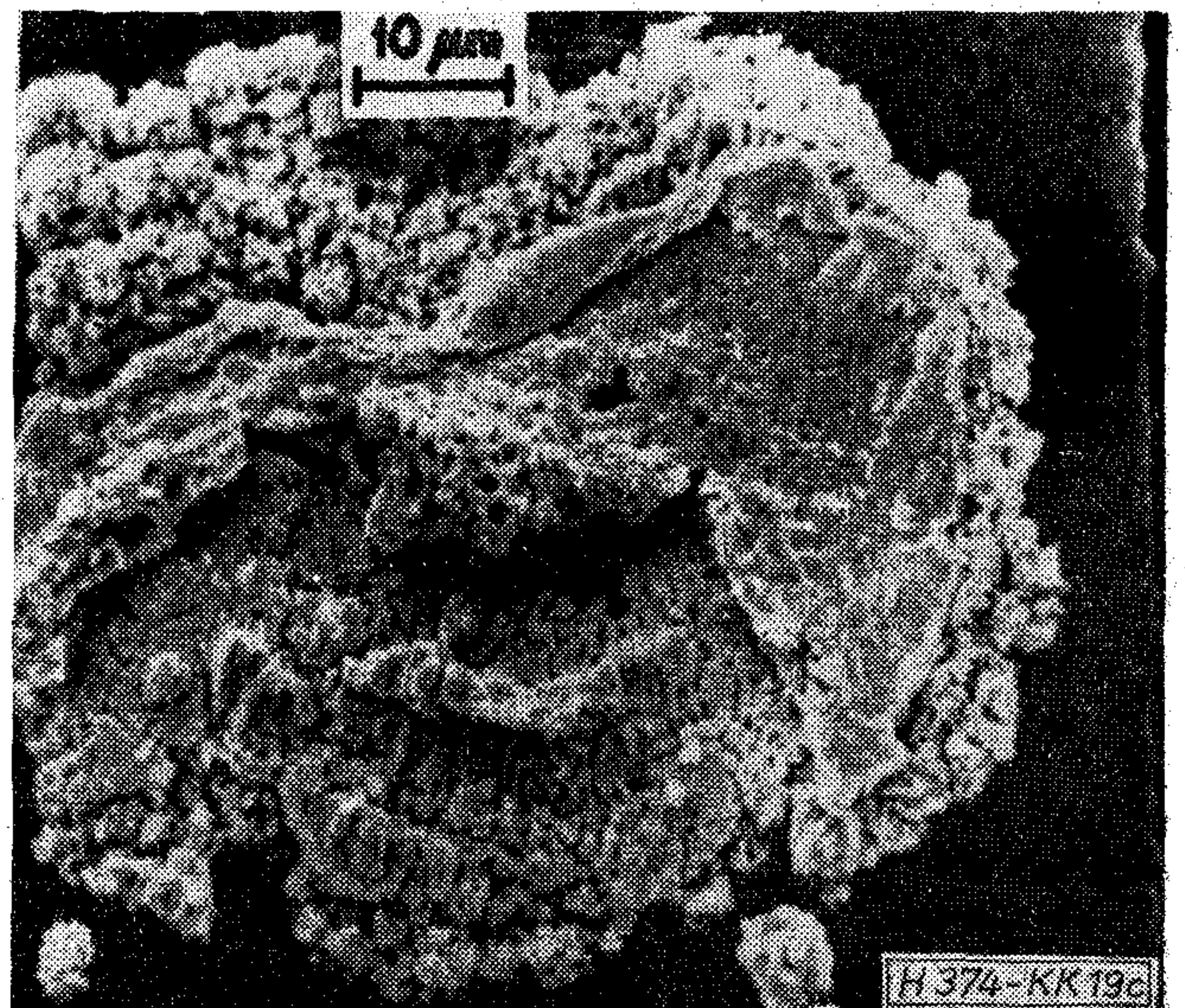
#### F.2.3. Elektromigráció

A metallizációs meghibásodások másik nagy csoportja a nagy áramsűrűség (és hő) hatására fellépő anyagvándorlásos szakadás. A jelenséget többen ta-



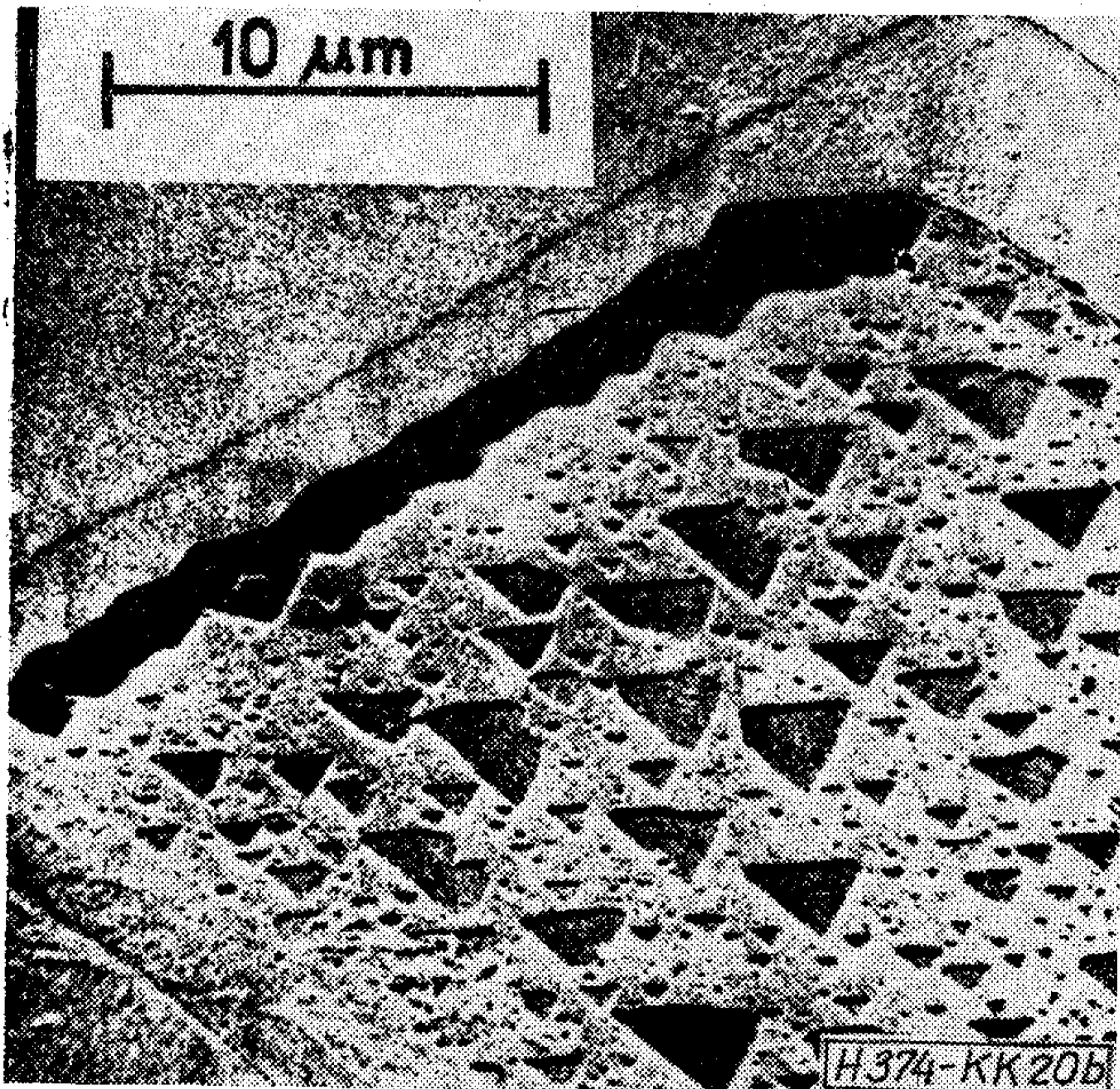
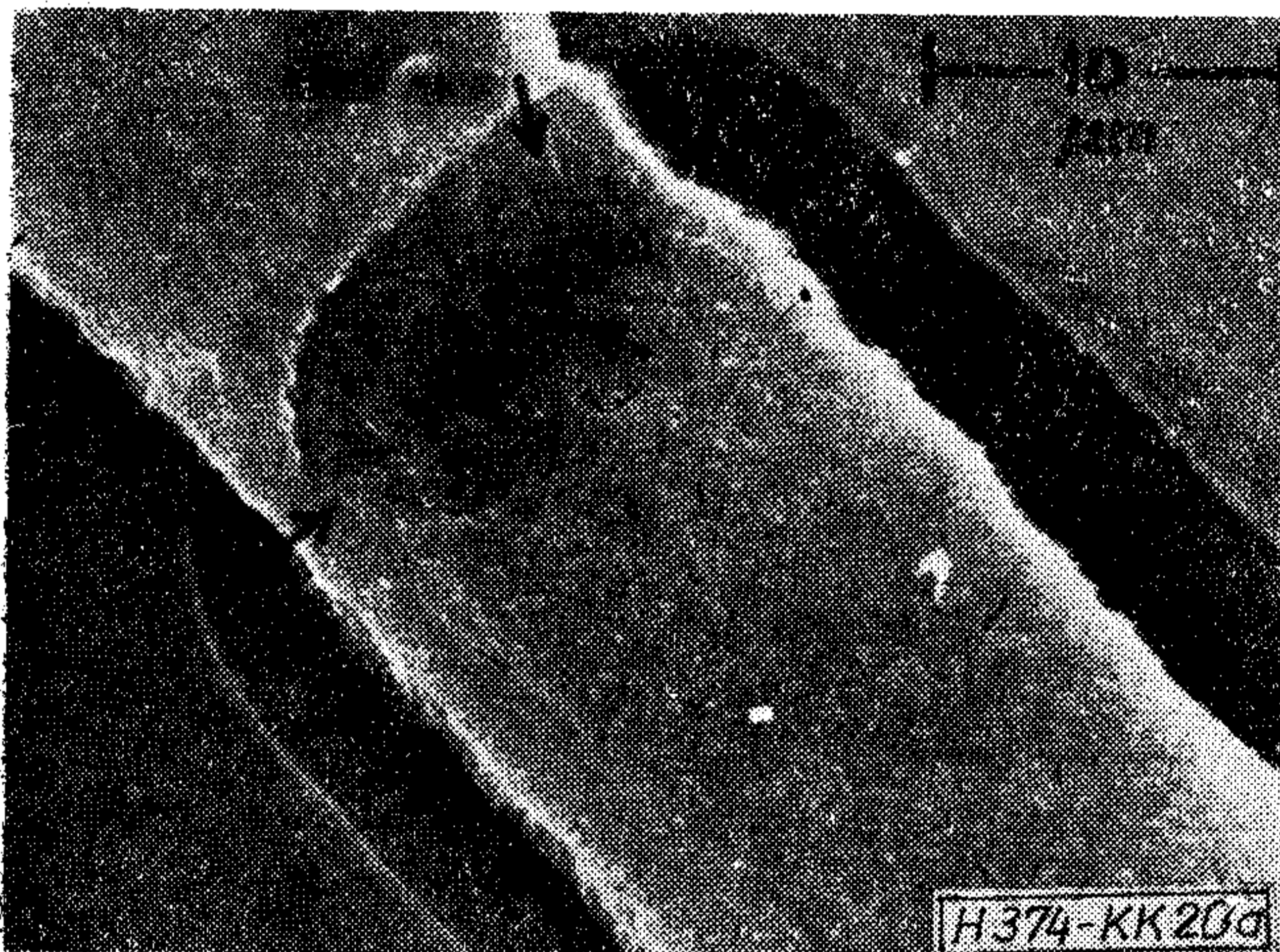
18. ábra. Az Au-Al bondolás környezetében a fémezés sűrű, finomszemcsés intermetallikus fázisokkal van borítva, de a kötés alatt nincs üregképződés: ártalmatlan pestis esete (a). A TL 7400 N fém-üveg tokban, 175 °C-on, 4000 óra után még hibátlan. Erős nagyításnál jól látható a tömött, finomszemcsés struktúra (b) (SEM)

nulmányozták, így J. R. Black [26] is, aki kísérletei alapján számszerű eredményeket is közölt. Vékonyréteg vezetőknél  $5 \cdot 10^4$  A/cm<sup>2</sup> áramsűrűség és 150 °C felett domináns meghibásodási okká válik az áramsűrűség hatására fellépő anyagvándorlás. A vékony keresztmetszetű vezetőben a nagy áramsűrűség hatására fellépő Joule-hő a folyamatot gyorsítja, és a hibamechanizmus kumulatívva válva vezet a fémezés szakadásához (22. ábra). Az elektromigráció



19. ábra. Végzetes kontaktuspestis és Kirkendall-üregképződés, mely az Au-Al bondolás kötésterülete alá terjed és amelyet a kötésterület pereme élesen határol. Az a) felvételen a durva, változatos formájú (globulák, hegyláncok, cseppkövek) pestisstruktúra és a hatalmas, összefüggő üreg jól látható. A b) kép az Au golyó érintésre való leválása után a kötésterületet mutatja: kontaktus csak a peremen volt. A kötés alatti terület összefüggő, vastag, üreges és laza fázisképződést mutat a c) ábrán (TL 7400, fém-üveg tok, 150 °C, 500 óra, SEM)

voltaképpen oka az elektronok ütközéses momentumcseréje a termikusan ionizált fématomokkal, amelyeket az elektronszél a pozitív elektróda felé hajt, üregeket hagyva a negatívabb oldalon, amelyek összenöve végül is szakadáshoz vezetnek. Tömör vezetőkben az elektromigráció tömbdiffúziós jelenség [26, 27], amely csak 500...800 °C felett észrevehető, olyan áramsűrűségeknél, amelyek a gyakorlatban huzalokban nem lépnek fel. A viszonylag sokkal jobban hűtött vékonyréteg fémfilmeknél mint az IC-k-nél, az áramsűrűség szokásos értéke 2–3 nagyságrenddel nagyobb, és az elektromigráció 100...250 °C-on is jelentőssé válik, mivel az öndiffúzió nem a térfogatban, hanem a szemcsehatárok mentén zajlik le [15, 19, 26, 27]. Ennélfogva az átlagos szemcseméret nagyon fontos az elektromigrációs hajlam szempontjából. Kis hőmérsékleten ( $\leq 200$  °C) párologtatott



20. ábra. Szinterelési (beoldódási) gödör látható egy TA 72 702 analóg áramkör kontaktusablakának vezető élénél: a Si a továbbvezető Al csíkba oldódva a beszívódott fémezésen át is jól látható gödröt hagyott. Az alumínium kioldása után a csupasz (111) szilícium sok sekély, jellegzetesen háromszöges szinterelési (ötvözési) gödröt mutat, amely a vezető él mentén (fent) összefüggő, 0,5  $\mu\text{m}$  mély üreggé nőtt össze (b) (SEM felvételek)



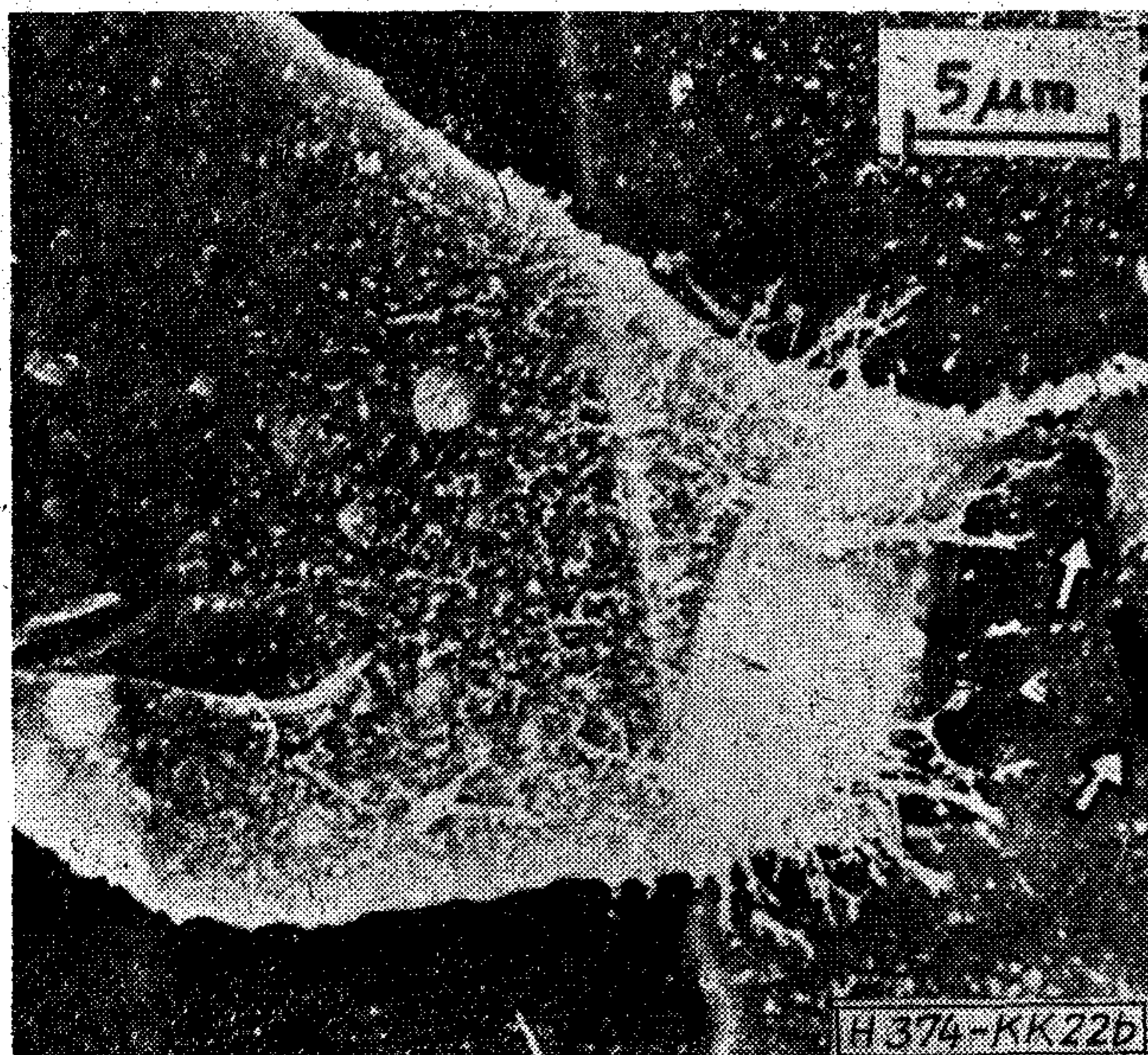
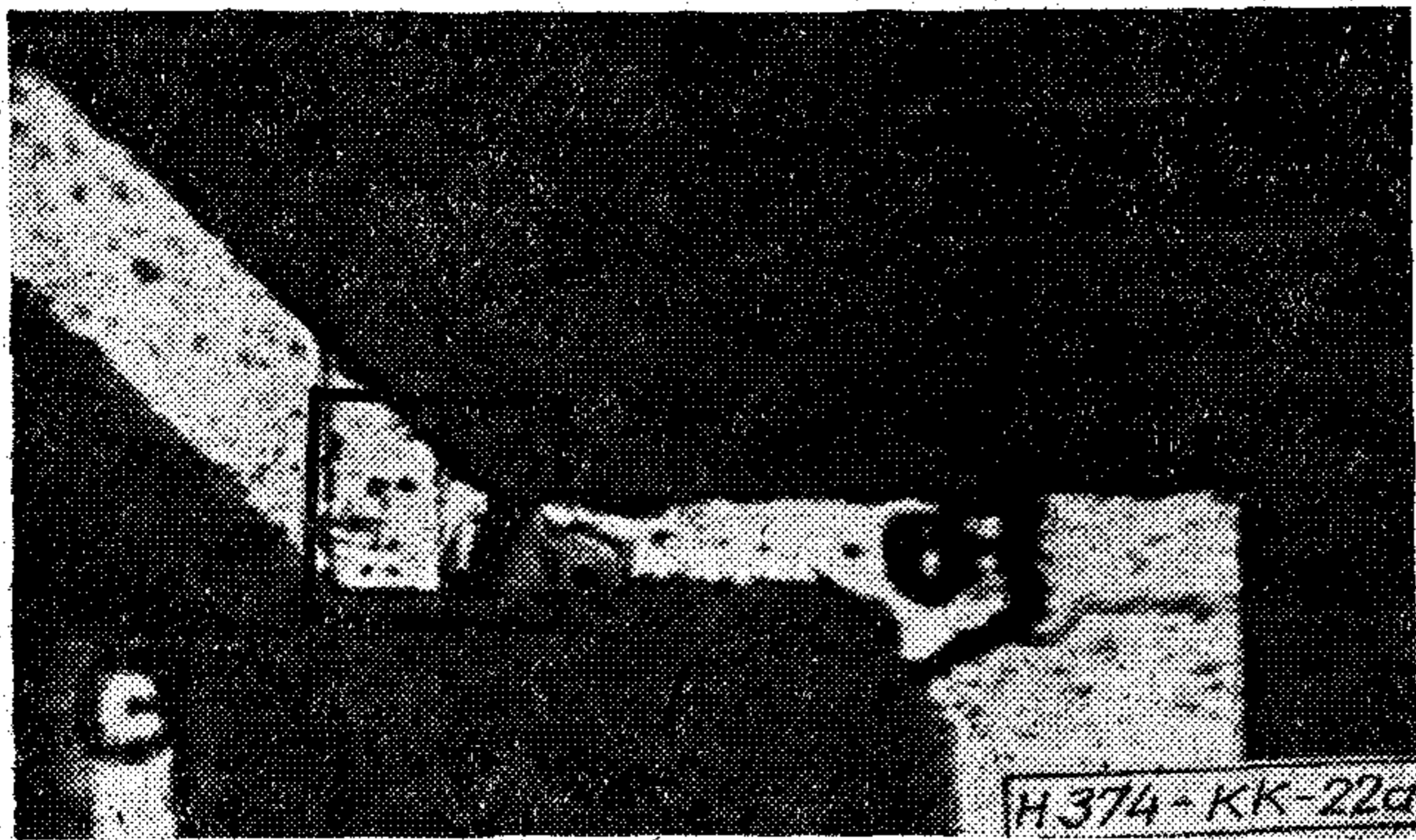
21. ábra. Túlszínterelt DTL NAND-kapu fénymikroszkópos képe, ráncosan összeugrott Al fémezéssel, amely jellegzetes négyzetes  $\text{Al}_2\text{O}_3$  zárványokat mutat a kialakult exotherm Al-SiO<sub>2</sub> reakció miatt, és a kontaktusablakoknál a Si-SiO<sub>2</sub> határfelületen laterálisan penetráló Al háromszögekkel (nyílak), amelyek közül a bal felső zárlatot okozott

Al film, 1...2  $\mu\text{m}$  átlagos szemcsézettséggel 0,5 eV körüli aktiválási energiát és viszonylag erős hajlamot mutat elektromigrációra, míg 400...500 °C-os, 5...8  $\mu\text{m}$ -es szemcseméretű Al filmek, 0,7...0,85 eV-tal, sokkal kisebbet [15, 26, 27]. Az elektromigráció támadási helye a nagy termikus gradiensek helyein kívül főleg a fémion-mozgékonyosság erős divergenciahelyeinél van, pl. a nagy és kis szemcsézettség határvonalánál, Al-Si és Al-Au kontaktusoknál (Si-ban az öndiffúzió igen kicsiny) és áramkoncentrációs helyeken (oxidlépcsők, alámart vagy rossz fotolitográfia miatt elvékonyodott fémfilmek).

Az elektromigráció megakadályozása céljából az áramsűrűséget minél inkább csökkentve, megfelelően széles és lehetőleg rövid fémezett összeköttetéseket, nagy felületű Al-Si kontaktusablakokat, lankás oxidlépcsőket és nagy szemcséjű, jól orientált filmszerkezetet kell kialakítani. Adalékfémek (Cu, Ni, Mg, Cr) néhány %-ban az Al-hoz adva erősen csökkentik a migrációs hajlamot [27].

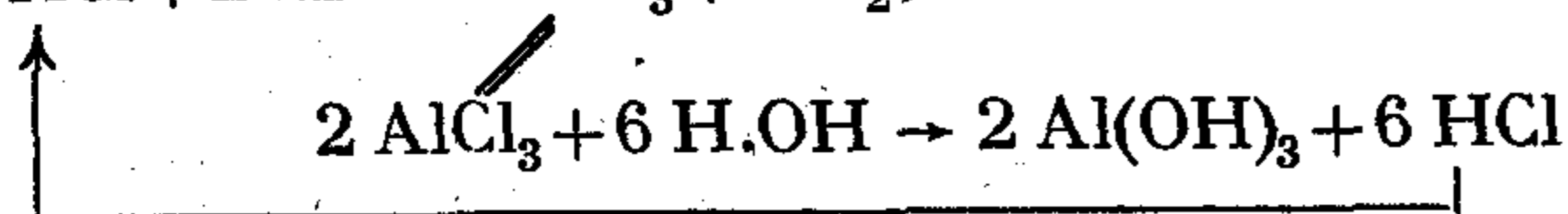
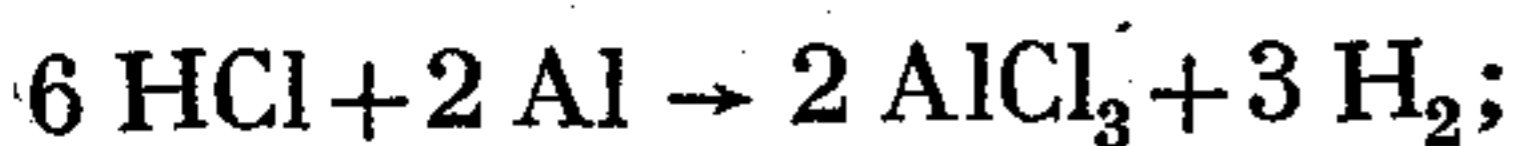
#### F.2.4. Korrózió

Bár az Al filmet a 20...100 Å vastag természetes oxid jól védi korrózió ellen, ezt a gátat savak vagy lúgok nyomai is leépíthetik nedvesség (pl. tokszivárgás) jelenlétében, pl. a NaCl formájában mindenütt jelenlévő klór önfenntartó zárt ciklust ered-



22. ábra. Elektromigrációs szakadás közel egy oxidlépcsőhöz, amelyet a túl vékony, alámart fémcsík melegezése okozott (TA 72 702, kísérlet). A fénymikroszkóp (a) furcsa árnyékot, árkot mutat a szakadás helyén harántirányban, mely az erős SEM nagyítás alatt (b) a SiO<sub>2</sub> felületén levő néhány 100 Å mély laterális olvadátkároknak bizonyult. Az ehhez szükséges kb. 3500 °C helyi hőmérsékletet valószínűleg az Al-SiO<sub>2</sub> exotherm reakció szolgáltatta, amelyet a szakadás előtti 690 °C-nál (Al olvadáspont) magasabb hőmérséklet indított be. A fémzészétfröccsenése a szakadáshelyen jól látható. Az (a) ábrán bekeretezett rész felel meg a (b) ábrának

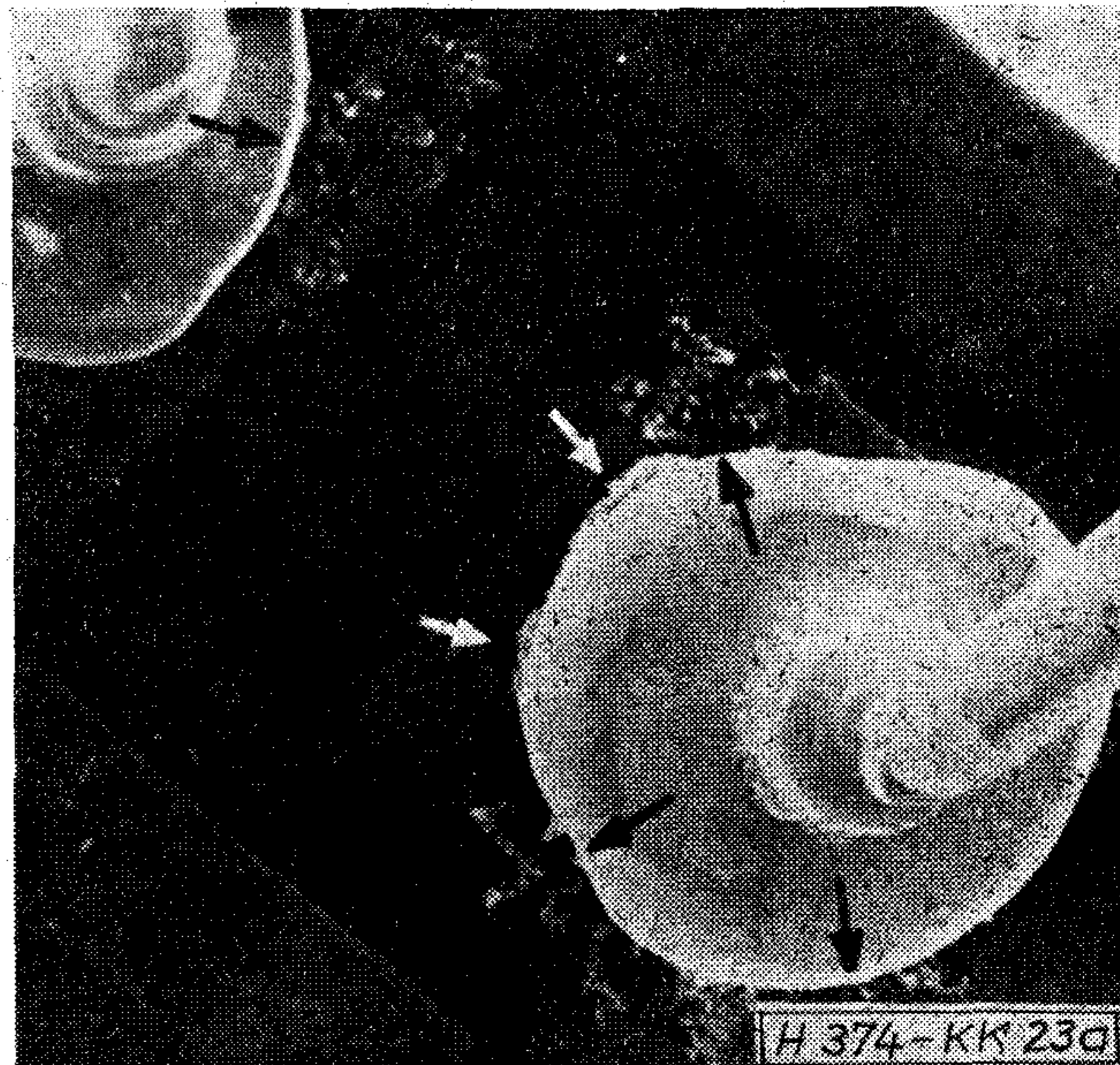
ményezhet mindaddig, míg a nedvesség el nem fogy, ill. az Al film el nem szakad:



amelynek eredménye a kristályvízben dús (átvezető), de önmagában szigetelő kocsonyás alumínium-hidroxid.

Bár a kémiai korróziót jó tokzárási technikával és kellő tisztasággal el lehet kerülni, az Au-Al termokompressziós kötésnél a fém pár közt fellépő kb. 3 V-os elektrokémiai potenciál nedvesség jelenlétében galvanikus korróziót okozhat, melynek folyamán ugyancsak a kocsonyás Al(OH)<sub>3</sub> + n.H<sub>2</sub>O alakul ki (23. ábra). Ezt a nagy áramsűrűség, ill. külső pozitív feszültség (működés) erősen fokozhatja, és az alumí-

nium film elszakadhat. A nedvesség kizárásán kívül ezt a hajlamot a morzsa külvilágtól való mechanikus elválasztásával, elsősorban pirolitikusan, gőzfázisból növesztett üvegbevonattal, továbbá szilikonlakkbevonattal lehet megakadályozni. Mindkét technikát együttesen alkalmazzuk a hazai IC-knél, az üvegbevonatnál természetesen ablakokat nyitva az Au-Al bondolások helyén [28].



23. ábra. Korrózió egy Au-Al bondolás körül (a). A fekete nyilak mutatják a SiO<sub>2</sub>-re leelőgő kocsonyás Al(OH)<sub>3</sub> korróziós produktumot, amely sötétebb színével és féregszerű, durvább szemcseszerkezetével (b) erősen elüt a szintén jelenlevő pestistől (fehér nyilak) (TL 7472 N, fém-üvegház, 21 nap, 40 °C nedves-meleg klíma után a tok áteresztett, SEM felvételek)

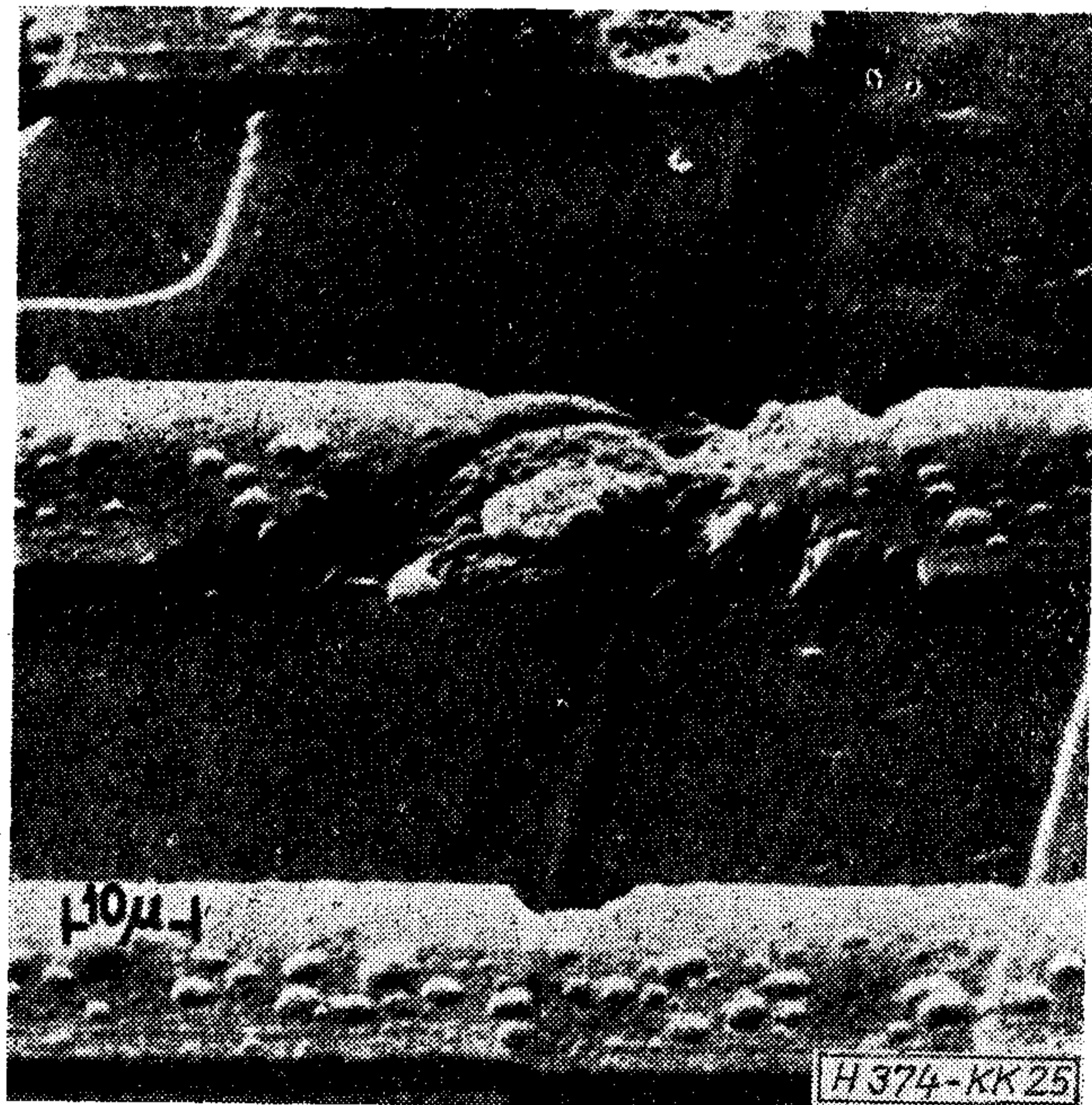


## F.2.5. Reziszt-, túlyuk- és zárlathibák

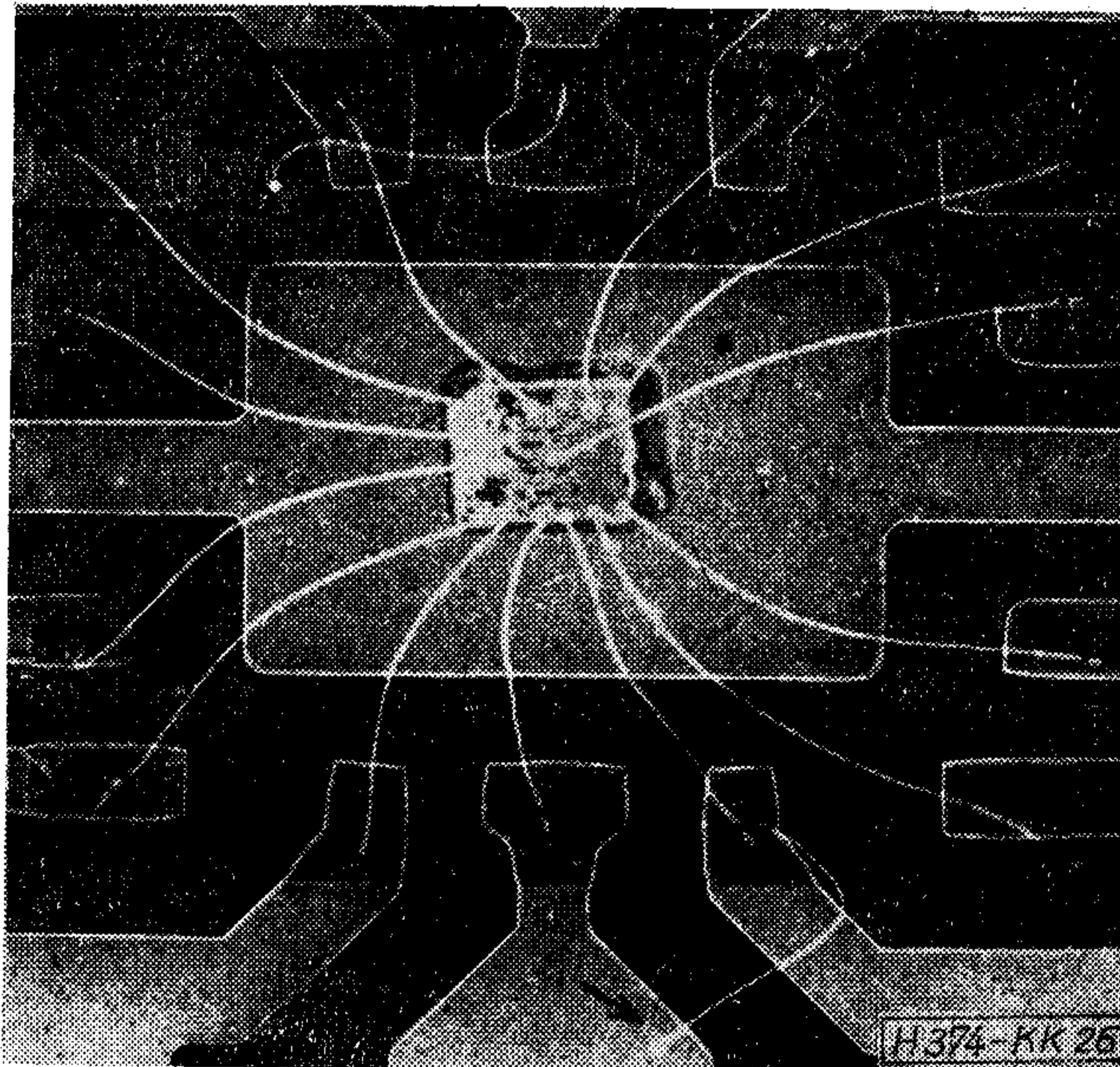
Porszem okozta takarás a fotolitográfiás művelet alatt végzetes és alattomos hibákra vezethet, a működés folyamán, mivel 0-órás mérésekkel nem mindig mutatható ki, mint pl. a 24. ábra esete, ahol a bizonytalan körvonalú, jellegzetes és hatalmas túlyuk ( $\sim 20 \mu\text{m}$   $\varnothing$ ) elvékonyította a fémezést, és így az erősebb helyi melegedés miatt az Al a mély túlyukon át a  $\text{SiO}_2$  alatt levő kollektordiffúzióba penetrált néhány 1000 óra után, ott zárlatot okozva. Túlyukak menti hamis *B* vagy *P* diffúzió is hasonló eredménnyel járhat. A fémezés reziszt hibák miatti helyi almarása az elektromigrációs szakadások kiindulása lehet, l. a 25. ábrát.



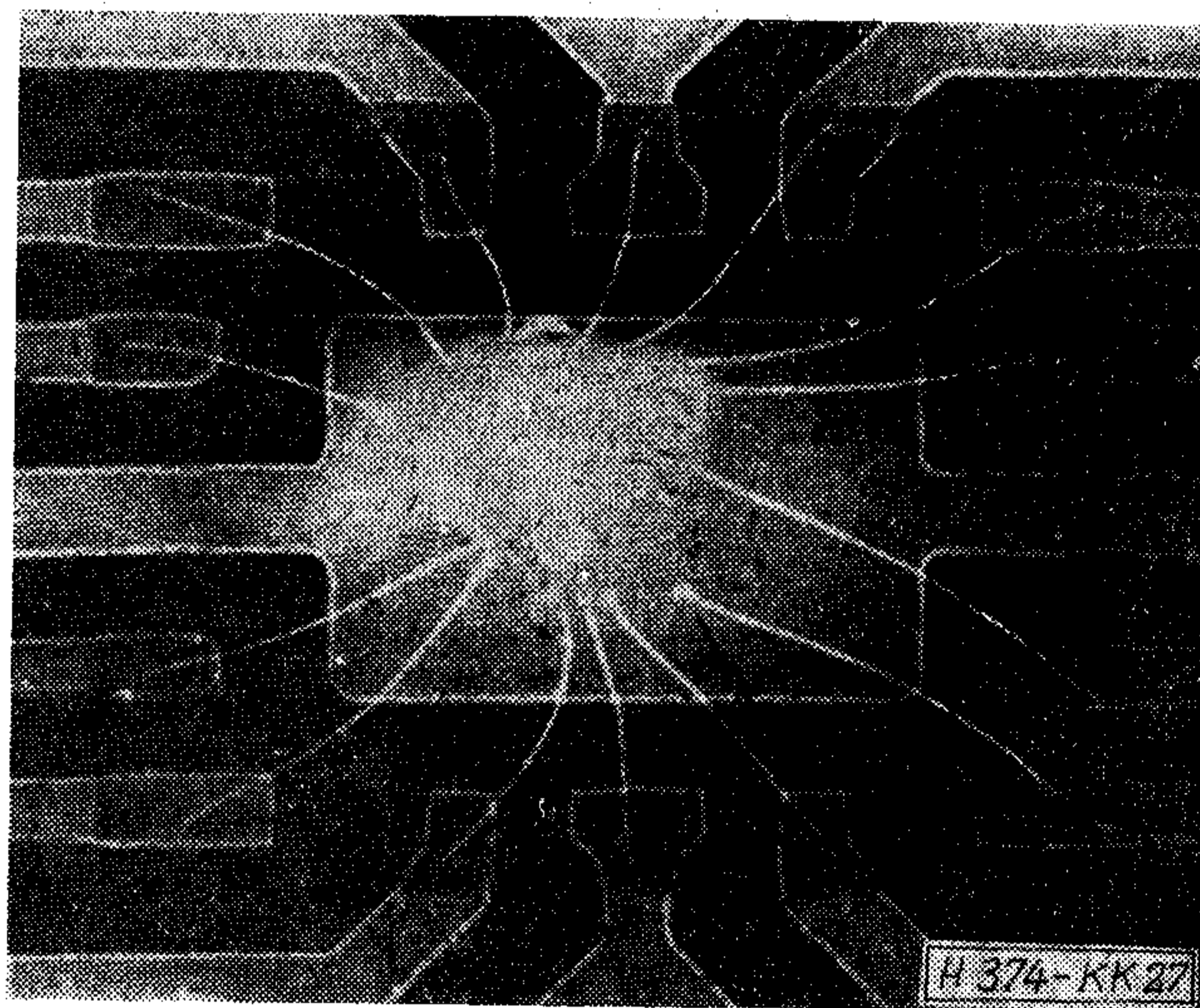
24. ábra. Nagyméretű porszem okozta óriási túlyuk mentén a fémezés elvékonyodott és 3300 óra,  $125^\circ\text{C}$  üzem után zárlatot okozott a túlyuk mentén bediffundáló Al, a helyi erős melegedés miatt (SEM)



25. ábra. Reziszt-hiba (buborék) egyenetlen, elvékonyodott, hólyagos fémezésre vezetett (SEM)



26. ábra. Röntgenátvilágításos felvétel finomfókuszú csővel felderítette a szakadás (fent) és zárlat (lent, nyíl) okát: a jobb oldalról nagy nyomással betóduló műanyag a fröccsöntéskor a gyenge felső bondolást lesodorta, és úgy ágyazta be, hogy az zárlatot nem okoz, de a lefűzés után otffejlesztett aranyzál (nyíl) a bal szomszéd kivezetővel zárlatot okozott



27. ábra. A jobb felől betóduló műanyag elsodorta a hibásan forrasztott morzsát a kovar állványról, és leszakította a jobb oldali bondolásokat (röntgenátvilágítás)

## F.2.6. Felforrasztási és tokozási hibák

A röntgensugaras átvilágítás lehetővé tette a kész, műanyag tokozott eszközök hibaanalízisét is. Az egyetlen szerelés miatt kis termogömbbel készült be-kötő huzalt a fröccsajtoláskor a prészszám üregébe beáramló műanyag letolja az elemről, ami Au huzalvégzárlatot is okozhat (26. ábra). A  $400^\circ\text{C}$  körüli eutektikus forrasztással (Si-Au) az aranyozott kovar alaplemeze erősített morzsa hibás, csak kis felületen kötő ráforrasztás esetén egyrészt a nagy hőellenállás miatt erős morzsa hőmérséklet-emelkedést és ezen át idő előtti tönkremenetelt okozhat.

másrészt a nagy nyomással betóduló műanyag el-sodorhatja a morzsát, és az összes Au-Al bondolás elszakadhat (27. ábra).

### Köszönetnyilvánítás

Ezúton mondunk köszönetet Stefániay Vilmosnak (FKI) a SEM mikrofotografiák és röntgenátvilágítá-

sos felvételek mintaszerű elkészítéséért, továbbá Csornai Lászlónak, Nagy Lászlónak (EIVRT Fél-vezető MEO), Zanaty Tibornak, Kászonyi Lászlónak, Huszka Zoltánnak és Komlóssy Évának (EIVRT Félvezető Fejlesztés) értékes támogatásukért és ész-revételeikért, végül mind az EIVRT, mind a HIKI vezetőségének e munka támogatásáért és a munka megjelentetésének engedélyezéséért.

## KÖRNYEZETÁLLÓSÁGI VIZSGÁLATOK

### Mechanikai hatások vizsgálata

#### 1. A hatások jellemzése

A mechanikai hatások sokféleségének közös vonása, hogy a vizsgálati tárgy felé valamilyen formában mozgási energia- és impulzusátadás történik, amit „gerjesztésnek”, vagy „igény-bevételnek” nevezhetünk. A gerjesztés a tárgy fizikai adottságainak függvényében (tömeg, tehetetlenségi nyomaték, rugalmasság) — reverzibilis vagy irreverzibilis módon — megváltoztatja annak belső energiaháztartását. Ha a gerjesztés és mechanikai utóhatásainak megszűntével a tárgy kezdeti tulajdonságaiban nem tapasztalható változás, akkor azt mondjuk, hogy a vizsgált tárgy az igénybevételt kibírta. Ellenkező esetben a tárgy mechanikai hatásra létrejött károsodásáról beszélhetünk. Sok esetben az is fontos megfigyelési szempont, hogy a vizsgálati tárgy tulajdonságai a gerjesztés ideje alatt se változzanak meg, pl. működőképesség.

A mechanikai gerjesztés lehet sztatikus vagy dinamikus jellegű. Pl. a kivezetések szilárdságának vizsgálatára használt húzás, hajlítás, csavarás sztatikus jellegű gerjesztésforma, amelynél a befektetett mozgási energia maradéktalanul belső energiává alakul át. A rázás, ejtegetés, shock ezzel szemben dinamikus jellegű gerjesztésformák, ahol gerjesztéskor a befektetett mechanikai energia nagy része először mozgási energia formájában jelenik meg a vizsgálati tárgyban. A gerjesztés folyamata természetes körülmények között rendszerint igen bonyolult és vizsgálattechnikailag csak megközelítően utánozható. Ráadásul a gerjesztő impulzusok irány-, frekvencia-, amplitúdó- és gyorsulásspektruma sok esetben sztochasztikusan változik (pl. gördülő szállításon, rossz úton).

Kívánatos volna olyan vizsgálati módszereket általánossá tenni, amelyek a természetes körülmények között keletkező gerjesztő impulzusokat átültetik a vizsgálattechnikába, mert ezáltal igen nagy mértékben növelhetnénk a vizsgálati eredmények gyakorlati megbízhatóságát. Sajnos, a természetes gerjesztő impulzusok rögzítése és a reprodukálásuk útján történő mechanikai vizsgálat-vezérlés költsége ma még túlságosan magas ahhoz, hogy általánosan elterjedjen. Éppen ezért olyan egyszerűbb gerjesztésformák alkalmazása honosodott meg a vizsgálattechnikában, amelyek könnyen és viszonylag olcsón reprodukálhatók, mindamellett közelítőleg ugyanazt a károsító hatást idézik elő adott esetben, mint a bonyolult természetes impulzusok. A gerjesztés formája szerint az alábbi dinamikus igénybevételeket különböztetjük meg, melyek közül a vizsgálandó tárgy felhasználása során várható mechanikai hatások mérlegelésével kell vizsgálat céljára kiválasztani a legmegfelelőbbet:

1.1. *Állandó (centripetális) gyorsulás.* Elsősorban csatlakozások, konstrukciós kötési módok szilárdságának ellenőrzésére használatos a 10 g-tól 500 g-ig terjedő gyorsulástartományban. Az igénybevétel szigorúságát az alkalmazott gyorsulás és a gerjesztés időtartama határozzák meg (általában néhány perc).

1.2. *Szinuszos rázás.* Alkalmazása széles körű minden olyan esetben, amikor a vizsgálandó gyártmány szállítás vagy felhasználás során periodikus gerjesztésnek lehet kitéve. A vizs-

gálat célja lehet rezonanciakeresés, rezonanciaponton való fárasztás, vagy frekvenciapásztázással történő mechanikai-szilárdsági ellenőrzés. Mindhárom változat kombinálható a működőképesség egyidejű ellenőrzésével. Az igénybevétel szigorúságát jellemző paraméterek:

- igénybevételi frekvencia, ill. pásztázás esetén az alsó és felső határfrekvenencia: min 1 Hz, max 5000 Hz; (nemzetközi viszonylatban szabványosítás által érintett tartomány);
- a gerjesztés amplitúdója ill. csúcsgyorsulása a frekvencia függvényében: 0,075 mm—10 mm, 1 g—50 g (nemzetközi viszonylatban szabványosítás által érintett tartomány);
- a frekvenciapásztázás ciklusideje, és szakaszonkénti sebessége;
- az igénybevétel időtartama, ill. a pásztázási ciklusok száma.

A híradástechnikai gyártmánycsaládban legtöbbször a 10—55 Hz frekvenciatartománynak és az 1—10 g csúcsgyorsulás-tartománynak van károsító hatás szempontjából gyakorlati jelentősége. Gördülő és vízi járműveken üzemelő berendezéseknél az 5—35 Hz tartomány, légi járművek fedélzetén pedig a 10—2000 Hz tartomány károsító hatása a jelentős. A szabványosított vizsgálati idők 10 perctől 150 óráig, ill.  $10^7$  rezgésciklusig terjednek.

1.3. *Akusztikus zaj.* A szinuszos rázással rokon jellegű igénybevétel azzal a különbséggel, hogy a gerjesztést szilárd közvetítő közeg helyett a levegőben kialakuló hangnyomás ingadozásai végzik, amelyek a vizsgálati tárgy egyes részeit — főleg felületét — differenciáltan veszik igénybe. A vizsgálatnak akkor van létjogosultsága, ha a vizsgálandó gyártmány felhasználása során 130 dB-nél magasabb zajszintet is el kell hogy viseljen, pl. repülőterek közelében.

1.4. *Ejtegetés.* Célja a szállítás közben előforduló, ismétlődő zökkenések hatásának leutánczása. Az igénybevétel szigorúságát jellemző paraméterek:

- ütközési (lefékezési) csúcsgyorsulás (4 g—150 g);
- a gyorsulásimpulzus alakja és időtartama (1—15 msec, félszusz);
- az ejtések száma és ismétlési gyakoriságuk (1000—24 000, 40—180 percenként)

A híradástechnikai alkatrészek és szerelvények vizsgálata általában a 20—40 g gyorsulástartományban indokolt.

1.5. *Ütés (shock).* Célja a szállítás, használat és javítás során előforduló, de rendszeresen nem ismétlődő impulzusok hatásának leutánczása. A szigorúságot jellemző paraméterek:

- ütközési (lefékezési) csúcsgyorsulás (4 g—3000 g);
- a gyorsulásimpulzus alakja és időtartama (fűrészfog, trapéz vagy félszusz, 0,2—60 msec);
- az ütések alkalmazott száma (1—18).

1.6. *Leejtés, billentés, felborítás.* Az ütés (shock)-vizsgálat speciális változatai, amelyeket készülékek és berendezések

Vizsgálat	IEC-ajánlás	KGST-ajánlás	Hazai szabvány
Állandó gyorsulás	Publ. 68-2-7 (1968)	RSZ 4470-74	megalkotandó
Szinuszos rázás	Publ. 68-2-6/1970+1. módosítás (1972)	RSZ 4469-74	MSZ 8888/6-69
Akusztikai zaj		—	MSZ 8888/23-71
Ejtegetés	Publ. 68-2-29 (1968)	RSZ 4467-74	MSZ 8888/5-63* korszerűsítendő
Ütés (shock)	Publ. 68-2-27 (1972)	RSZ 4466-74	megalkotandó!
Leejtés (Szabadesés)	Publ. 68-2-32 (1969)	RSZ 4463-74	MSZ 8888/7-71
Billentés, felborítás	Publ. 68-2-31 (1969)	RSZ 4468-74	MSZ 8888/8-71

\* Készen van és kiadás előtt áll az MSZ 8888/5-75.

esetén egyszerű gyakorlati megvalósíthatóságuk miatt célszerű a mechanikai szilárdság ellenőrzésére használni. Közös jellemzőjük, hogy reprodukálhatóságukat nem a gerjesztés dinamikus paramétereinek szabályozásával biztosítják, hanem oly módon, hogy a vizsgálandó tárgyat definiált kiindulópályában magára hagyják és ekkor definiált helyzeti energia szolgál gerjesztő forrásként.

Ahhoz, hogy egy gyártmány használata során előforduló mechanikai hatásokat mesterséges körülmények között helyesen reprodukáljuk, nem elegendő csupán az igénybevétel és szigorúságának helyes megválasztása. Az eredményeket döntő mértékben befolyásolja az a körülmény, hogy a kívánt mechanikai gerjesztést a gyártmány mely geometriai tengelyirányokban kapja meg. Általában minden mechanikai hatás irányfüggő. A hatás irányfüggéséről megbízható képet csak úgy nyerhetünk, ha a gerjesztést 3 egymásra merőleges tengely mentén, 2-2 ellentétes irányban, összesen tehát 6 pozícióváltozatban alkalmazzuk, egyugyanazon mintára vagy pozícióváltozatoként különböző mintákra.

Az eredményeket döntő mértékben befolyásolja, hogy a vizsgálati tárgyat csomagolt vagy csomagolatlan állapotban vetjük-e alá az igénybevételnek, továbbá a tárgyat mely pontokon és milyen felerősítésmóddal rögzítjük a gerjesztő padhoz. Döntő az is, hogy a gerjesztési paramétereket (amplitúdó, csúcsgyorsulás) a tárgy mely vonatkozási pontján vagy pontjain ellenőrizzük és ezek közül melyik adatsort tekintjük a vizsgáló berendezés kivezérlése szempontjából hiteles információnak. Sokszor a berendezés mechanikai szilárdságának helyes megállapítására más vizsgálati módszert kell alkalmaz-

ni, mint a beépítésre kerülő alkatrészek esetében. Mindezen szempontok helyes mérlegelése nagy gyakorlatot kíván és a mechanikai hatások vizsgálatát a legbonyolultabb környezetállósági vizsgálatcsoporttá avatja.

## 2. A szabványosítás helyzete

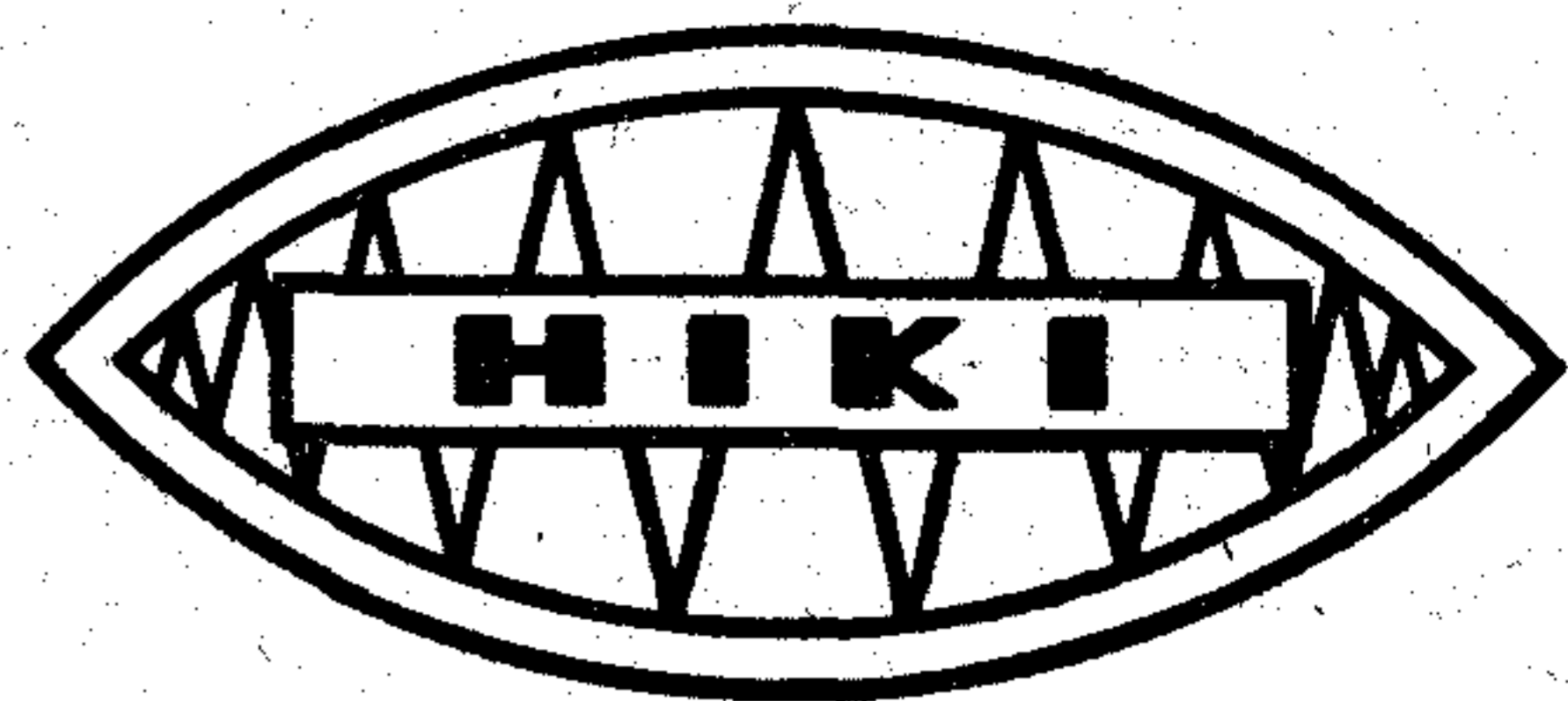
A témával az IEC 50A Bizottság, és a KGST SZÁB 5.14 komplex témakörével foglalkozó munkabizottság foglalkozik. A két nemzetközi szervezet az 1.1-1.6 pontban felsorolt vizsgálatokra ajánlásokat dolgozott ki. Örvedetes módon a KGST SZÁB alapelvei közé iktatta az IEC 50A ajánlásaiival való — lehetőleg teljes — összhang megteremtését. Az 1973 decemberében Odesszában elfogadott, mechanikai vizsgálatokra vonatkozó RSZ ajánlóssorozat korszerű, a nemzetközi követelményeknek megfelel. Ezen ajánlások alapján a KGST tagországok 1976 végéig készítik el vagy korszerűsítik nemzeti szabványaikat. Hazai vonatkozásban elsősorban az ejtegetés-állósági vizsgálati szabvány (MSZ 8888/5. lap) korszerűsítésére, az ütés (shock) és állandó gyorsulás szabványainak megalkotására van szükség. Többi mechanikai vizsgálatra vonatkozó szabványunkban az IEC és KGST jelenlegi álláspontjához képest csak kisebb eltérések vannak, amelyek korrekcióra szorulnak. Végül az érvényben levő nemzetközi ajánlásokat és hazai szabványokat az 1. táblázatban foglaltuk össze.

Kesselyák Péter  
BHG

## BNV-díjas termékek

Az őszi Budapesti Nemzetközi Vásáron a VIDEOTON két terméke nyert díjat:

- a MINIVIDI hordozható televíziót nagydíjjal,
- a STAR hordozható táskarádiót vásári díjjal jutalmazták.



## Elektronikai alkatrészek

A mai mikroelektronika kialakulásában jelentős tényező volt a számítástechnika, mert ennek kibontakozása a hagyományos elektronikai alkatrészekkel nem volt lehetséges. Az integrálás egyre több alkatrész, majd funkció egy tokban történő realizálásához vezetett. A közeli jövő integrált áramkörei tulajdonképpen nem alkatrészek, hanem részegységek, alrendszerek.

Az alkatrészgyártó és berendezéscélcsoportok közötti határ már nem egyértelmű. A műszaki-gazdasági optimumot nem lehet megtalálni a katalógusokban ismertetett, kereskedelmi forgalomba kerülő alkatrészek közötti keresgélés útján. Az alkatrész fejlesztést az építendő

konkrét berendezés orientálja — megindult a berendezés-orientált áramkörök kutatása. Ezek olyan nagybonyolultságú áramkörök, melyek a berendezés lényeges részét valósítják meg áramkörileg. Műszaki-gazdasági megfontolások szerint egy vagy több funkciót egyesít egy tokban az ilyen integrált áramkör. Megvalósításuk olyan technológiai műveletsor alkalmazásával történik, ahol az egyes technológiák által adott lehetőségek optimálisan kihasználhatók. A legjobban bevált berendezés-orientált áramkörök idővel standard típusokká válhatnak, ezzel újabb gazdasági előnyt képezve mind az alkatrészgyártó, mind a felhasználó számára. A diszkrét alkatrészek sokaságát

manapság integrált áramkörrel helyettesítjük egyrészt gazdasági okból:

- kisebb raktározási igény,
- alacsonyabb munkabér,
- kisebb az egy alkatrészre számított költség.

Másrészt műszaki okból:

- helymegtakarítás
- túlmelegedés, túlfeszültség, túlterhelés elleni védelem beépítésének lehetősége
- integrált áramkörben realizált funkció megbízhatósága nagyobb mint NYÁK + diszkrét alkatrész megoldású megfelelőjének.

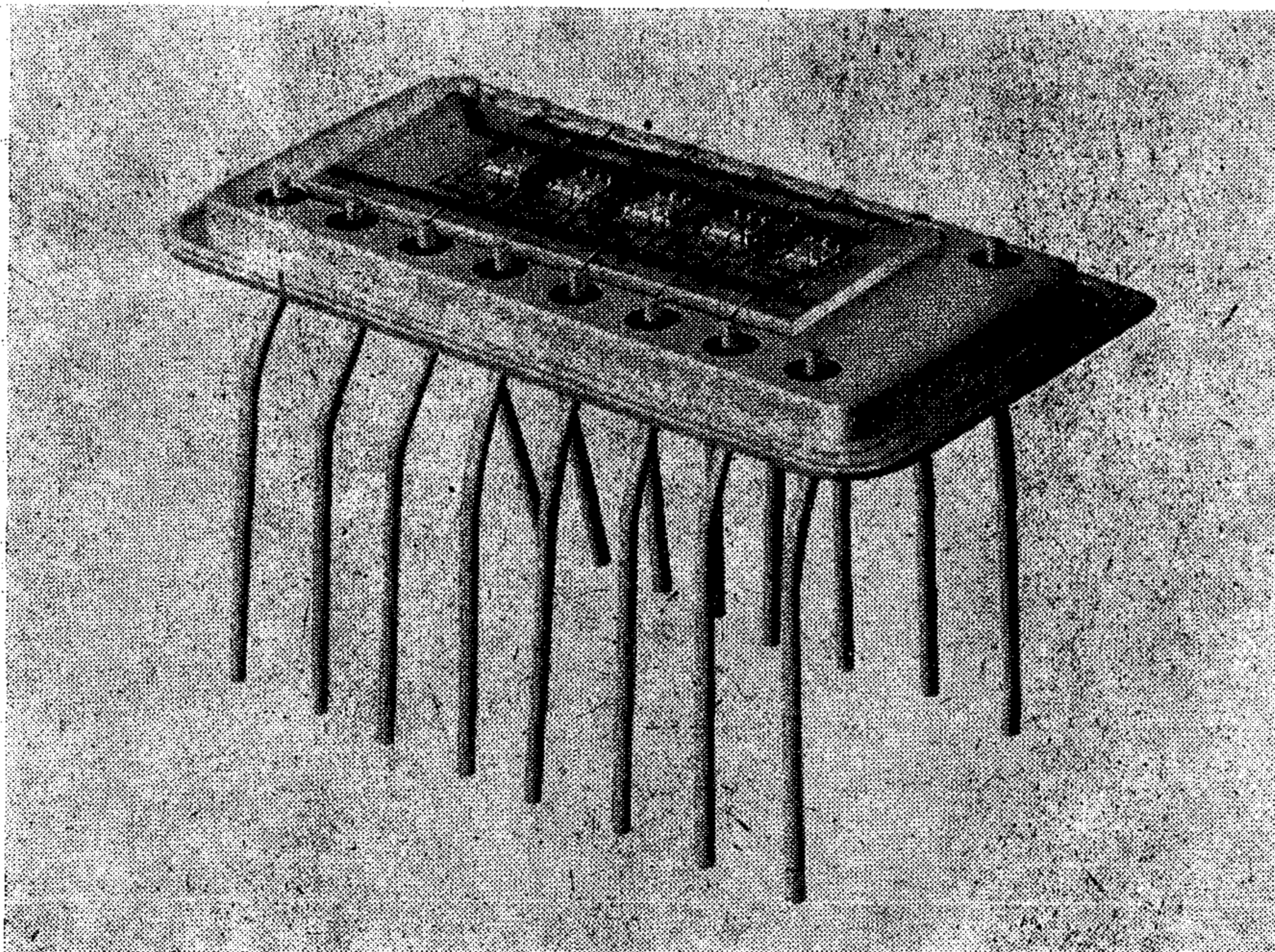
Iparilag igen fejlett országokban észlelhető tendenciák alapján várható, hogy hazánkban is

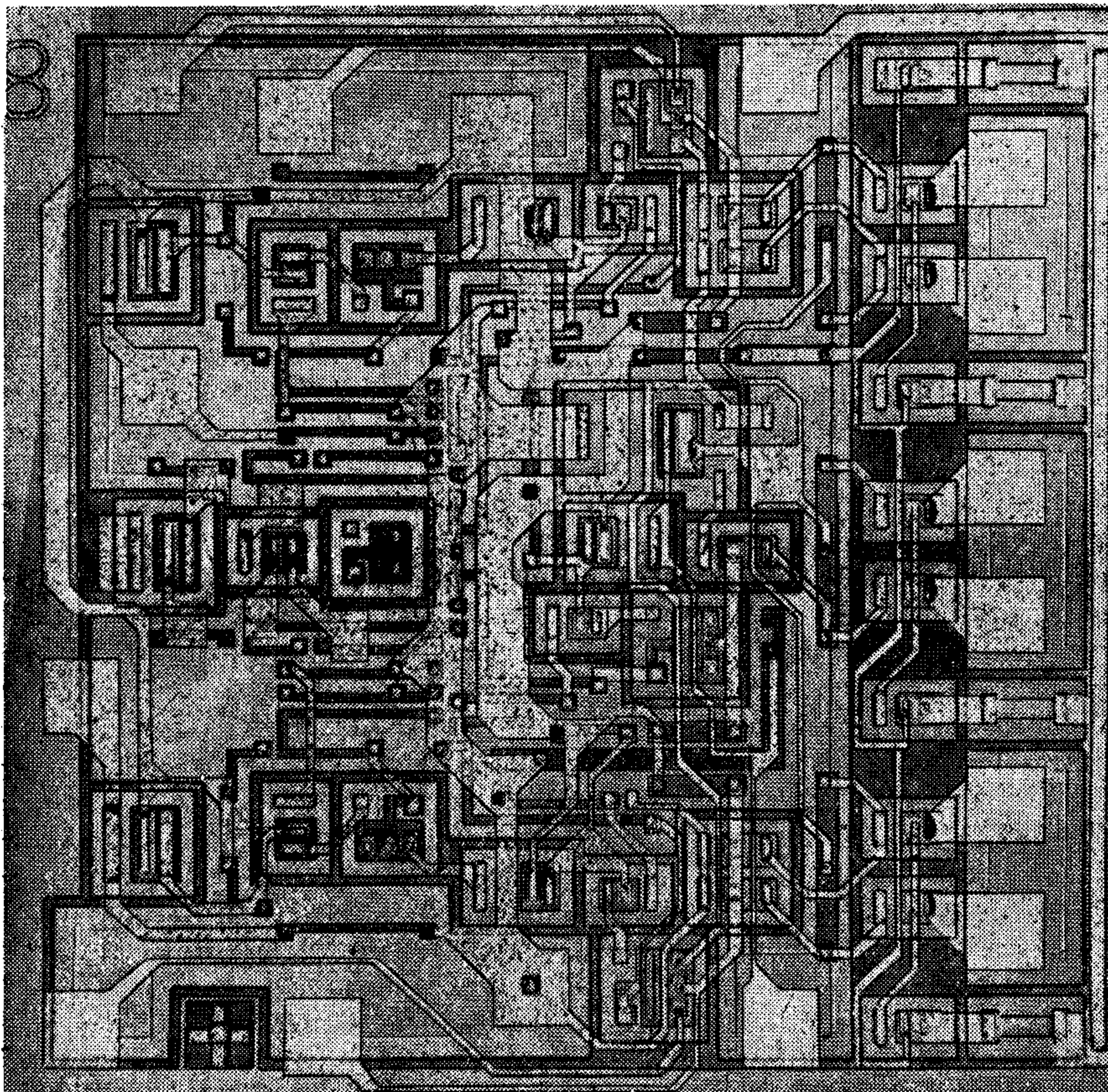
a távközlés, távadat feldolgozás az ipari mérés-technika, automatizálás

a közlekedés-elektronika  
a gyógyászati elektronika és  
a közfogyasztási elektronika

az, ahol célszerű megindulni a berendezés orientált áramkörök irányába. Ehhez legjobb út a HIKI felhasználói áramkör. A rendszertervező közli a feladatot az áramkör tervező-technológus szakemberrel. A berendezés orientált áramkör tervezése, gyártása, valamint mérése során végig szoros és részletekbe menő együttműködést igényel a rendszertervező és az áramkör előállító között.

A Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet kutató, fejlesztő és kísérleti gyártó tevékenységet folytat, általában az elektronikai alkatré-

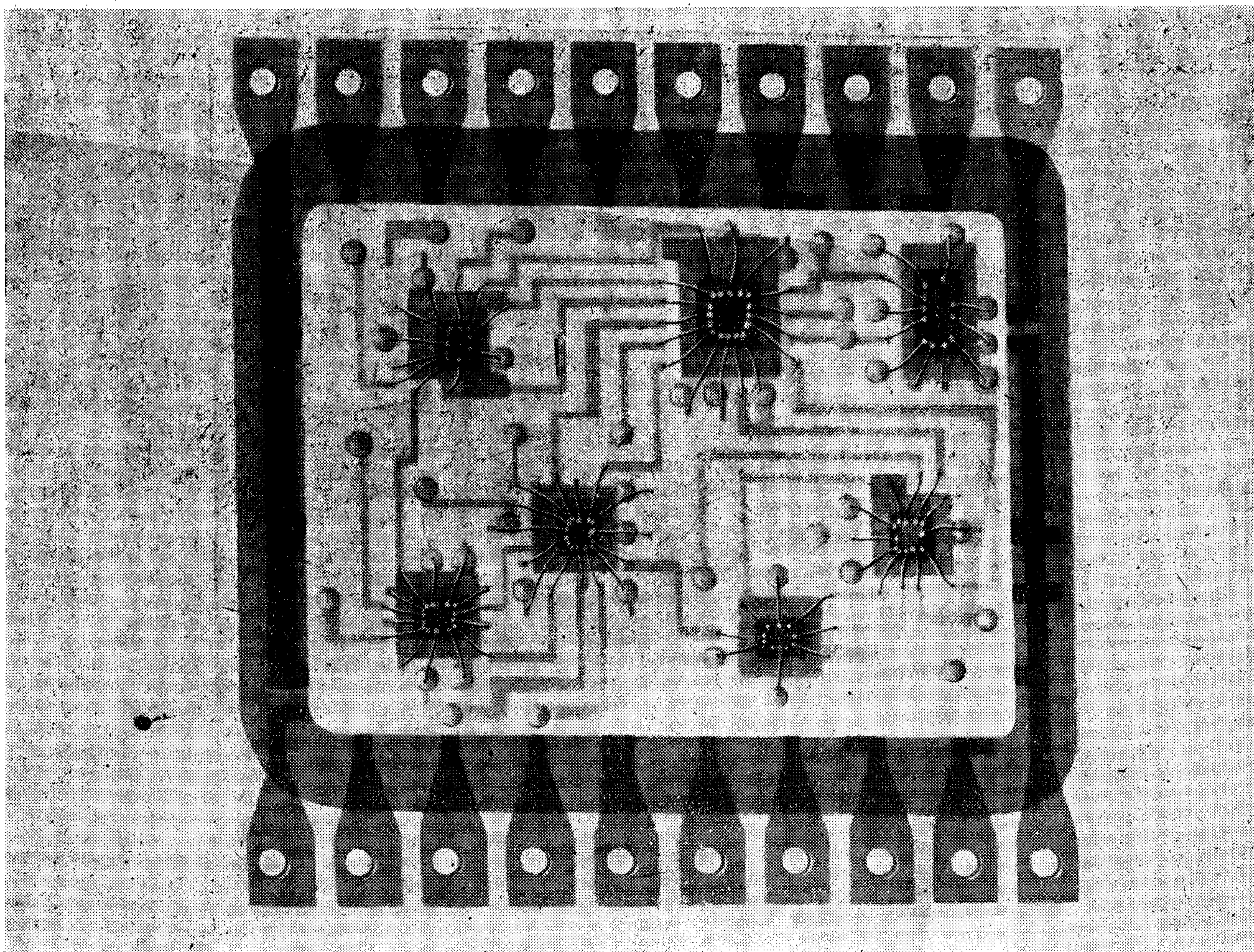




szek, de különösen a mikroelektronikai alkatrészek területén:

- félvezető integrált áramkörök és azok előállítási technológiájának kutatása;
- hibrid integrált áramkörök, valamint vékony- és vastagréteg technológiák kutatása és kísérleti gyártás;
- egyes diszkrét, különösen nagy pontosságú passzív alkatrészek fejlesztése és kísérleti gyártása;
- megbízhatóság-vizsgálati módszerek kutatása;
- nyomtatott áramköri kártyák technológiája, kísérleti gyártás;
- elektronikus mérőkészülékek, berendezések kutatása, fejlesztése és kísérleti gyártása; integrált áramkörök alkalmazástechnikája;
- mikroelektronikai célgépek fejlesztése és kivitelezése.

A félvezető technika területén az Egységes Számítógép Rendszer perifériáinak felépítéséhez szükséges integrált áramkörök közül a Ma-



gyarországra szakosított típusokat fejlesztjük ki. Jelentős eredményeket értünk el a MOS és bipoláris digitális áramkörök, félvezető memóriák és optoelektronikai eszközök kutatása, fejlesztése terén. Így kidolgoztuk az SN75 sorozatú interface áramkörök, valamint az SN74 sorozatú MSI és memória áramkörök, továbbá az SN72 sorozatú lineáris áramkörök főbb típusainak technológiáját. MOS áramköreinket p-csatornás szilícium vezérlő-elektrodás megoldással alakítottuk ki.

A hibrid integrált technika területén mind a nikkell-krom, mind a tantál bázisú vékonyréteg, mind a vastagréteg technológia kidolgozásra került és ezen technológiák alapján 150 típust meghaladó áramköri választékot dolgozott ki a HIKI, részben felhasználók igénye alapján, részben katalógus típusként. A kidolgozott hibrid áramkörök az egyszerű és a nagy pontosságú ellenállás hálózatoktól, kis és közepes bonyolultságú hibrid integrált áramkörökön keresztül a nagy bonyolultságú, több rétegű, multichip

rendszerekig a teljes választékot átfogják. A katalógus típusok között digitál-analóg átalakítók, általános felhasználású hangfrekvenciás erősítők és különböző igényeket kielégítő aktív RC szűrők szerepelnek.

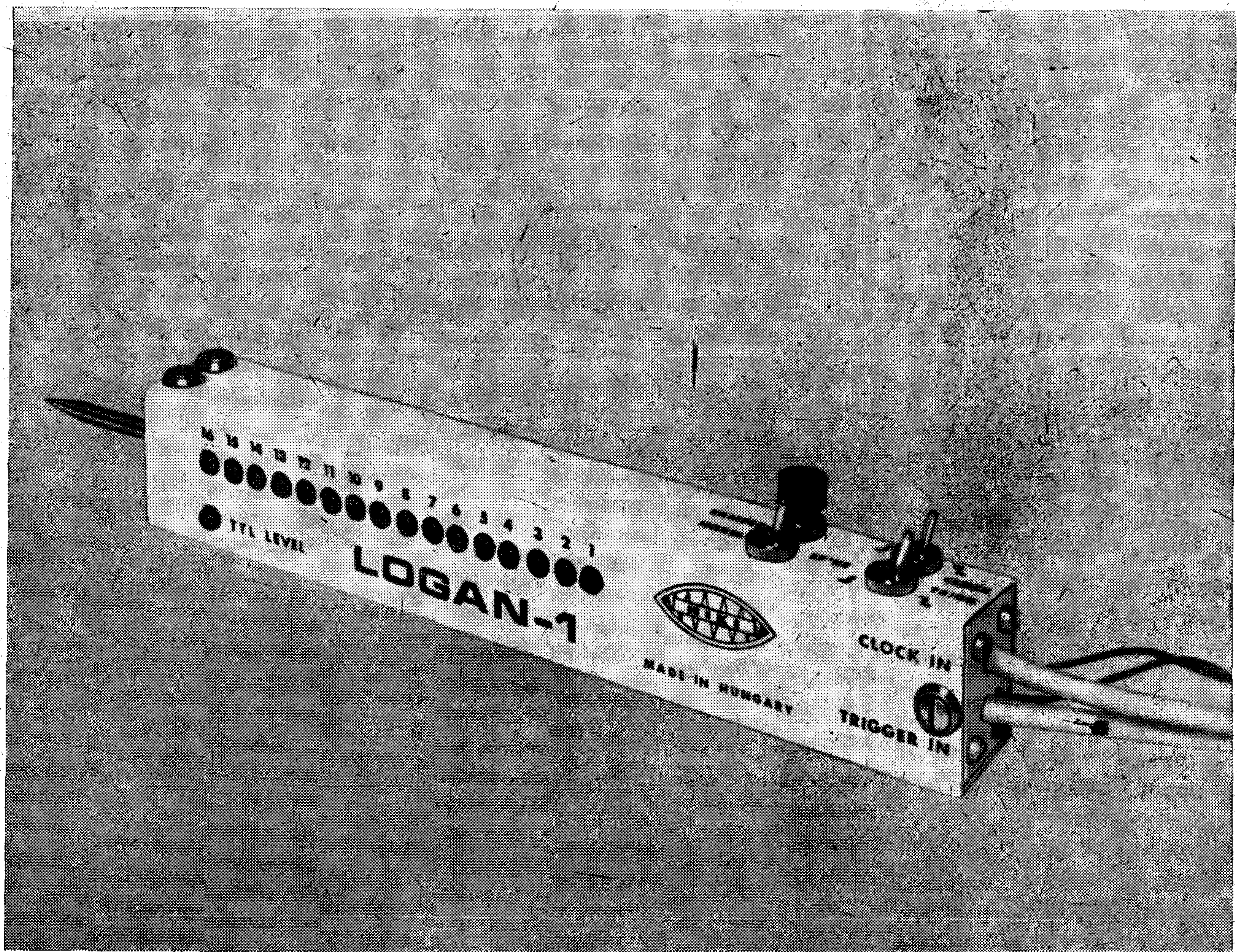
Vékonyréteg technikával más technológiák, nem áramköröket megvalósító technológiák, így pl. folyékony kristályos kijelzők kutatását is végzi a HIKI.

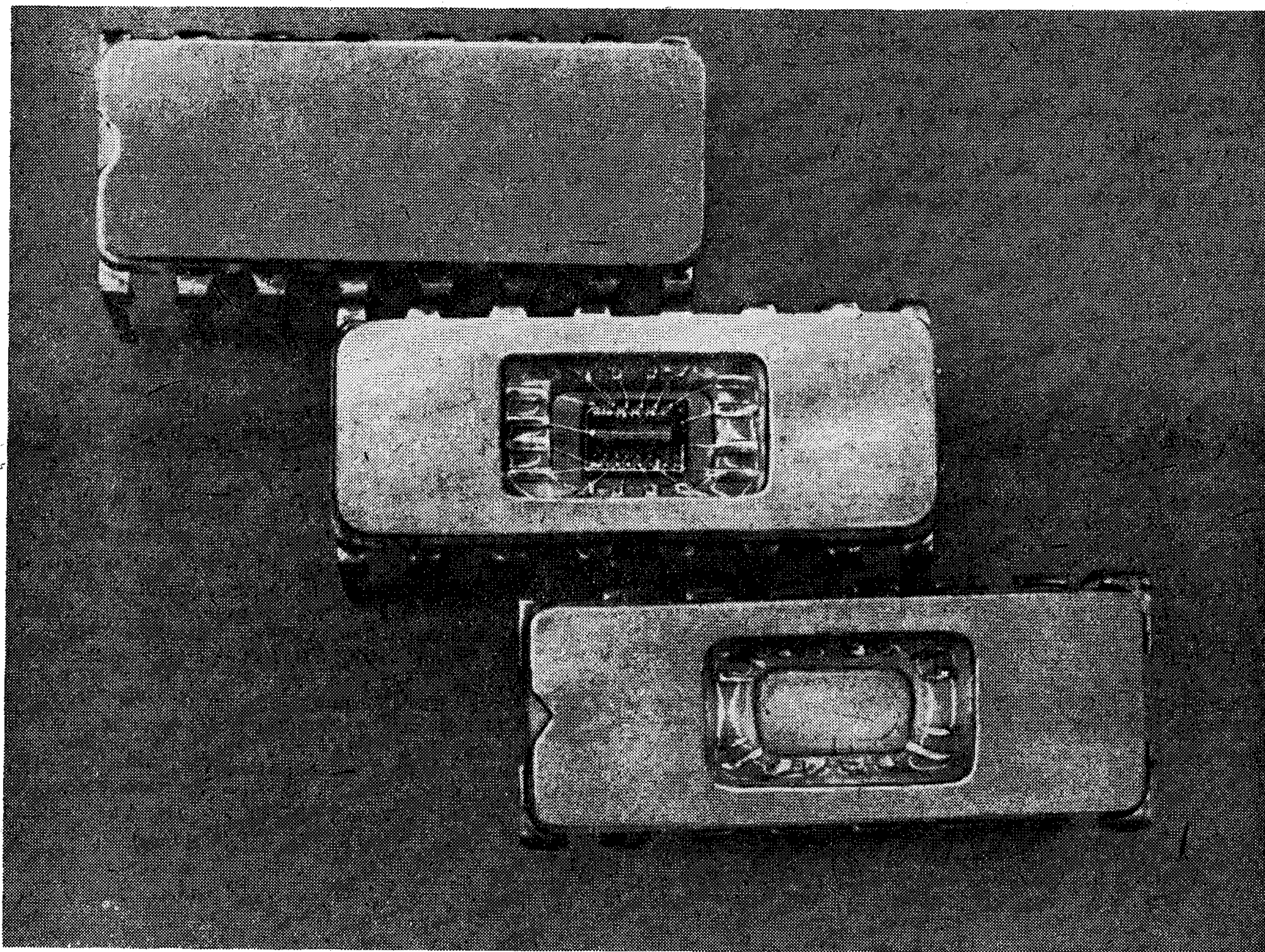
A passzív alkatrészek területén részben korábbi HIKI kutatási eredmények kísérleti gyártása folyik, így a diszkrét elemek közül a nagy stabilitású fémrétegellenállások, beállító cermet potenciométerek és fémezett poliészter kondenzátorok, az integrált elemek közül térszerelésű fémrétegellenállások, nikkell-krom és tantál alapú ellenálláshálózatok kísérleti gyártása. Másrészt fejlesztés alatt állnak különböző precíziós ellenállások, így vékonyréteg és huzal ellenállások, ultraprecíziós ellenállások és ezekből felépített ellenállás hálózatok, tantál bázisú RC hálózatok, finom-

beállító potenciométerek, cermet, fémréteg és huzalellenállás pályával, lakkréteg potenciométerek és integrált nyomtatott lakkréteg ellenállás hálózatok.

Megbízhatóságvizsgálati módszerek és vizsgálóberendezések területén nemzetközileg is elismert kutatások folynak az Intézetben. Ezekkel a módszerekkel és berendezésekkel ellenállások, kondenzátorok, diódák, tranzisztorok, valamint újabban integrált áramkörök megbízhatósági jellemzőit határozzuk meg. Jelentős mennyiségű megbízhatósági adattal segítjük a felhasználókat. Fontos eredményeket értünk el a matematikai-statisztikai becslési módszerek fejlesztése terén és rendszeresen végzünk hibaanalízist. Rövid idejű szűrővizsgálatokat végzünk, melyeknek eredményeit közvetlenül lehet alkalmazni a gyártmányok minőségjavítására.

A HIKI az integrált áramkörök technológiájának fejlesztésével kapcsolatban sok célgépet és célműszert készít. Ezek iránt bel- és





külföldön állandóan növekszik az érdeklődés, ami azt mutatja, hogy megállják helyüket az erős nemzetközi versenyben. A szerelést segítő egyszerű műszerektől kezdve a számítógéppel vezérelt kábelmérő automatáig a korszerű berendezések egész sorát dolgoztuk ki. Gyártásközi mérőberendezéseink közül igen jelentős a RESIMAT elnevezésű. Ez potenciométer-pályák ellenállásmérésére és válogatására szolgál. Integrált áramkörök mérésére készült az ICOMAT mérőautomatánk. A készülék időosztásos elven működő, belső ferritmemóriával épített, közepes sebes-

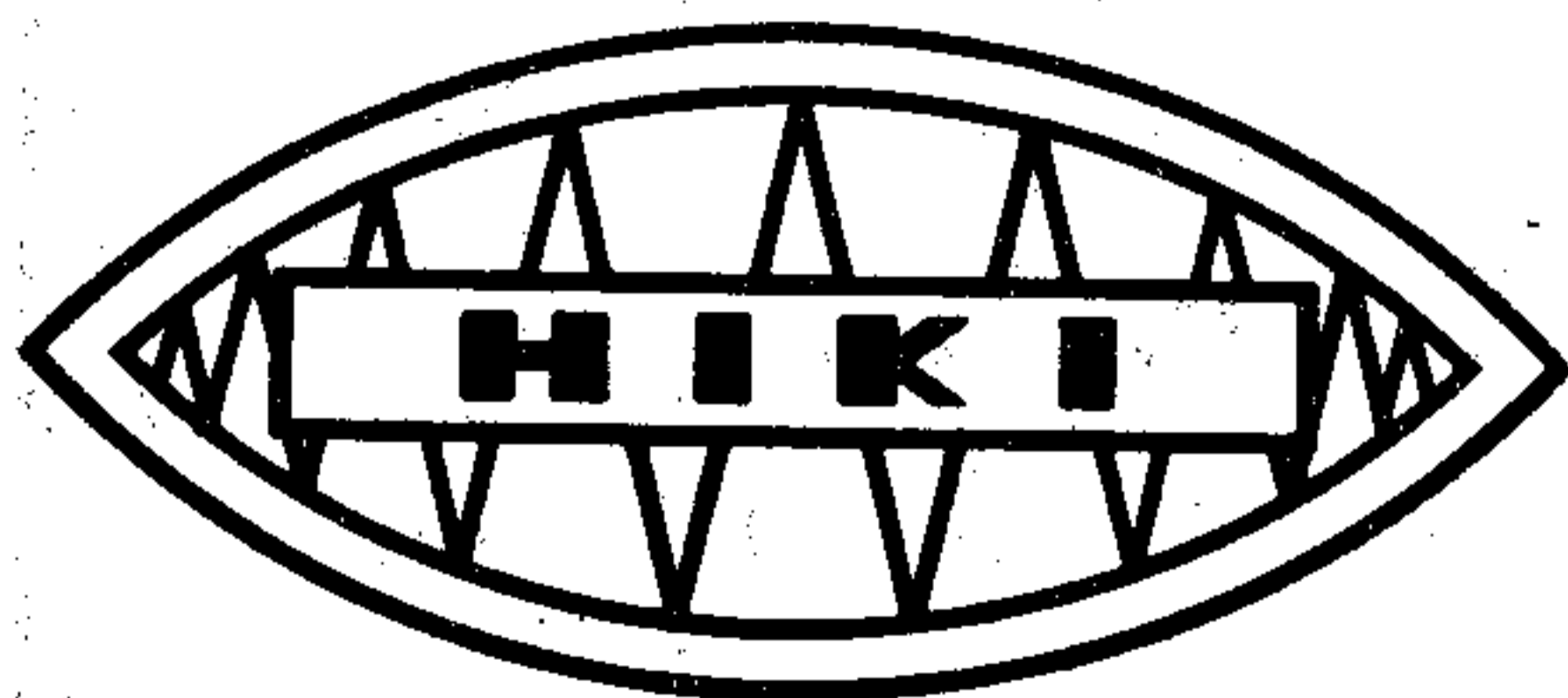
ségű vizsgáló automata digitális áramkörök egyedi mérésére, valamint automatikus tömegmérésére. Gyártóberendezések terén az elmúlt évek során kiemelkedő eredmény volt a vastagréteg hibrid integrált áramkörök gyártásához szükséges teljes berendezés-sor kifejlesztése és ehhez kapcsolódóan a nagy bonyolultságú hibrid áramköri szerelőgépek fejlesztése.

A HIKI elektronsugaras és ionsugaras technológiai berendezéseket fejleszt és egyes típusokat előállít, továbbá foglalkozik ezen eljárásokhoz kapcsolódó technológiák kutatásával, fejlesztésével is. E te-

rületről elsősorban az elektronsugaras gőzölőberendezéseket, az ionsugaras rétegleválasztást, és az elektronsugaras hegesztést kell kiemelni.

A Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet a komplex hibrid technika hazai megvalósításával az eddiginél nagyobb lehetőségeket teremtett a felhasználók igénye szerinti áramkörök előállítása területén. A tervezéssel kapcsolatos együttműködést segíti az erre a célra kibocsátott űrlap:

**A FELHASZNÁLÓ IGÉNYE SZERINTI ÁRAMKÖR ADATLAPJA.**



**HÍRADÁSTECHNIKAI IPARI KUTATÓ INTÉZET**

## EGYESÜLETI HÍREK

A Bács-Kiskun megyei Műszaki könyvnapok keretében 1975. október 13-án a kecskeméti Tudomány és Technika Házában tartotta a megyei MTESZ Szervezet elnökségi ülését. A napirendek között Egyesületünk Kecskeméti Szervezetének tájékoztatója is szerepelt, amelyet *Ballagi P. Konrád* helyi titkár tartott.

Az ülésen a HTE központi vezetőségét *S. Tóth Ferenc* titkár képviselte.

A tájékoztató elfogadása után a megyei elnökség jegyzőkönyvi dícséretben részesítette a HTE Kecskeméti Szervezetét a reprezentatív módon megvalósított Tudomány és Technika Házának építésénél kifejtett 3 hónapos társadalmi munkájáért.

Külön kiemelték a HTE által a közelmúltban megrendezett KGST REÁB ülés jelentőségét, amelynek kapcsán felvetődött a nagyobb méretű konferenciák, szimpóziumok kiállítással egybekötött HTE által történő megrendezésének igénye.

## SZEMLE

Összeállította: BALOGH PÁL

A Hewlett-Packard az optoelektronikában új elektroluminescens anyagot vezetett be, amely galliumfoszfid hordozórétegre épül és erősen növeli a fényt emittáló diódák és kijelző ernyők ragyogását. Az általánosan használt gallium-arszenid hordozórétegekkel szemben ez többszörös fényerőt biztosít és vörös szín esetén a luminozítás 10 mA mellett 4 mcd. Ez az eredmény új lehetőségeket nyit meg és a Hewlett-Packard most sárga, zöld és narancs szín alkalmazása felé fordul. Az új luminescens anyag ára egyelőre a korábbiakénál 15...20%-kal nagyobb, belátható időn belül azonban jelentős árcsökkenést is lehetségesnek tartanak.

(*Electronique Actualités*, 1975. febr. 28. 6. old. [108])

\*

A városi távbeszélő-hálózatok túlterheltségét a képátviteli rendszerek és komputerek bekapcsolódása az elviselhetetlenségig fokozta. A probléma reális megoldását — a meglévő kábelek és vezetékek helyét felhasználó — új eszközökkel kell

keresni. A fény alkalmazása nyújthat megoldást, mivel egyetlen fénykapcsolat kapacitása nagyságrendekkel nagyobb, mint a rádiós, vagy főként a huzalos átvitelé.

A Corning kutatói üvegszálakkal kezdték el vizsgálataikat. 1970-ben a szükséges és megfelelő nyersanyagokkal és formakialakítással elérték, hogy a vékony üvegszálakban a veszteségi tényező — az átviteltechnikában megengedett értéknél, azaz — 20 dB/km-nél kisebb lett. Két év múlva ezt 2 dB/km-re csökkentették és egy év múlva már 16 km-es távolságot tudtak áthidalni. Az emberi hajszálnál jóval vékonyabb üvegszál kb. 10 000 szokásos telefondrót szerepét tudja átvenni. A szálakban még totál reflexió van, ha a szál 2,5 cm-nél kisebb görbületi sugárral meghajlítják, még nyalábban is! Fényforrásként a lézereken kívül (ennek modulálása és demodulálása jelenleg körülményes), LED-et használnak. A Corning kutatói szerint az efféle szélessávú átvitel a nyolcvanas években már megvalósul.

(*Radio Electronic Schau* 1974. 8. sz. 436—437. o. [119]).

**ÖNTAPADÓ  
CIMKÉK,  
REKLÁMTÁBLÁK,  
MATICÁK  
készítését szitanyomással  
rövid határidőre vállaljuk.  
Szitanyomást bér munkában is vállalunk.**

**„VÖRÖS OKTÓBER“ MGTSZ  
FILMNYOMÓ RÉSZLEGE**

**1209 Budapest, Soroksár, Dél u. 2.**

**Telefon: 279-076**



## Tartalmi összefoglalások

ETO 534.76:681.84.087.7

Antal L.:

## Szubjektív vizsgálatok diszkrét és mátrix kvadrofóniával

HÍRADÁSTECHNIKA XXVI. (1975) 11. sz.

A cikk az SQ és QS mátrix rendszerrel végzett lokalizálhatósági és meghallgatási vizsgálatokkal foglalkozik. Ezek eredménye azt mutatja, hogy a diszkrét átvitel a fő irányok igen jó lokalizációját teszi lehetővé, míg a virtuális irányok rosszul lokalizálhatók. A meghallgatási vizsgálatok szintén a fő irányok meghatározó szerepét igazolták, ezek tehát a kvadrofónikus térélmény döntő tényezői.

ETO 620.199:621.3.019.3:621.3.049.771.14:681.325

Dr. Kemény Á.—Kalmár G.:

## TTL sorozatú SSI digitális integrált áramkörök 100 millió eszköz-órás megbízhatósági vizsgálatának újabb eredményei. II. rész — Vizsgálati eredmények és azok hibafizikai interpretációja

HÍRADÁSTECHNIKA XXVI. (1975) 11. sz.

Tárolásos, statikus és dinamikus elektromos terhelésű, 5...15 ezer órá és 70...200 °C közötti élettartamvizsgálatok során bebizonyosodott, hogy a) az 55 °C-os átlagos üzemi körülményekre extrapolált hibásodási ráta  $10^{-8}$ ... $10^{-9}$ /óra között van, ami az ilyen ipari megbízható típuscsaládnál kétféle kicsi; b) a hőmérsékleti aktiválási energia a felületi és kontaktus degradációnak megfelelően 1 eV körül van, de c) a korai kiesés szakaszában sokkal kisebb, gyaníthatóan 0,4 eV körüli érték, ami magyarázatot ad az irodalom eddig ellentmondó ilyen adatainak; d) 150 °C morzsahőmérséklet felett, néhány ezer óra után előtérbe kerülnek a termokompressziós kötések pestises és a fémezett összeköttetések szakadásos hibái, amelyek kifejezetten elhasználódásra utalnak.

## Zusammenfassungen

DK 534.76:681.84.087.7

Antal, L.:

## Subjektive Prüfungen mit diskreter und Matrix-Quadraphonie

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXVI. (1975) Nr. 11.

In dem Aufsatz werden die mit SQ und QS Matrix-Systemen ausgeführten Lokalisierbarkeits- und Abhörprüfungen erörtert. Die errungene Ergebnisse zeigen, dass die diskrete Übertragung eine sehr gute Lokalisation der Hauptrichtungen ermöglicht, während die virtuelle Richtungen schlecht lokalisierbar sind. Die Abhörprüfungen haben auch die bestimmende Rolle der Hauptrichtungen nachgewiesen, infolgedessen sind diese die entscheidenden Faktoren der Quadraphonie.

DK 620.199:621.3.019.3:621.3.049.771.14:681.325

Dr. Kemény, Á.—Kalmár, G.:

## Neueste Ergebnisse der Zuverlässigkeitsprüfungen von SSI digitalen integrierten Schaltkreisen der TTL Serie für 100 Millionen Bauelementenstunden. — II. Teil: Prüfergebnisse und ihre fehler-physische Interpretation.

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXVI. (1975) Nr. 11.

Im Laufe der Lebensdauerprüfungen mit Hochtemperaturlagerung, sowie statischer und dynamischer elektrischer Belastung für 5...15 tausend Stunden zwischen 70—200 °C wurde es wiesen, dass a) die Ausfallrate, welche auf 55 °C Temperatur und durchschnittliche Betriebsbedingungen (zB. Computer) extrapoliert ist, zwischen  $10^{-8}$ — $10^{-9}$ /Stunde, bei genügend niedrigen Werten für solche „zuverlässige“ Typenfamilie liegt; b) die thermische Aktivierungsenergie, der Oberflächen- und Kontaktdegradation entsprechend, etwa 1 eV beträgt, aber dieselbe c) in der Frühfallperiode ziemlich niedriger, vermutlich ein Wert von etwa 0,4 eV ist, was eine Erklärung bezüglich der bisherigen widerspruchsvollen Angaben der Literatur darstellt; d) über 150 °C Chip-temperatur nach einige tausend Stunden kommen die „Purpurpestfänger“ der Thermokompressionsbindungen wie auch die Unterbrechungen der metallischen Dünnschichtleiterbahnen in Vordergrund, welche ausgesprochen auf Alterung (Verschleiß) hinweisen

## Обобщения

ДК 534.76:681.84.087.7

Антал, Л.:

## Субъективные испытания на дискретных матрицообразных квадрофонических системах

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт) XXVI, (1975) № 11.

Статья рассматривает испытания локализации и прослушивания на системах матриц SQ и QS. Их результаты показывают, что дискретная передача дает возможность очень хорошей локализации основных направлений, но локализация виртуальных направлений нехороша. Испытания прослушивания тоже доказали определяющую роль основных направлений, поэтому эти являются решающими факторами пространственного осущения квадрофонических систем.

ДК 620.199:621.3.019.3:621.3.049.771.14:681.325

Д-р Кемень, А.—Калмар, Г.:

## Новые результаты испытаний надежности цифровых интегральных схем типа TTL малой степени интеграции в течение 100 миллионов прибор-часов. II. часть: Результаты испытаний и их истолкование по физике отказов

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт) XXVI, (1975) № 11

В течение испытаний срока службы 5—15 тысячи часов, между температурами 70—200 °C, с нагрузками запоминающего, статического и динамического типа было установлено, что а) интенсивность отказов экстраполированная на средние рабочие условия при 55 °C находится между  $10^{-8}$ — $10^{-9}$ /час, величина достаточно мала для такого семейства производственных надежных типов; в) температура термоактивации в соответствии с поверхностной и контактной деградации является около 1 eV, но с) в промежутке преждевременных отказов значительно меньше, предположительно около 0,4 eV, давая выяснение противоречивых данных в литературе до сих пор, d) над температурой 150 °C чипа, после несколько тысячи часов появляются отказы термокомпрессионных соединений вследствие чумы, а также отказы металлизированных соединений из-за разрыва, которые показывают решительно старение.

## Summaries

Antal, L.:

## Subjective Test with Discrete and Matrix Quadraphony

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXVI. (1975) No. 11.

In the paper localizability and listening tests made with SQ and QS matrix systems are discussed. The achieved results show that the discrete transmission make very good localization of the main directions possible, but the virtual directions are badly localizable. The listening tests proved also the determining role of the main directions, these are therefore the decisive factors of the quadraphonic spatial experiences.

UDC 620.199:621.3.019.3:621.3.049.771.14:681.325

Dr. Kemény, Á.—Kalmár, G.:

## New Results Concerning the 100 Million Device-hr Reliability Assessment of TTL SSI Integrated Circuits. Part II: Test Results and Their Interpretation from a Failure Physics Aspect

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXVI. (1975) No. 11.

Dealing with the results of storage as well as d.c. and switched operational life tests between 70 and 200 °C ambients and having 5...15 thousand hr duration it has been proved that a) the failure rate extrapolated to a usual operating condition of approx. 55 °C lies between some  $10^{-8}$ ... $10^{-9}$  per hr which is more than adequate for such a reliable type series; b) the temperature activation energy related to surface- and contact failure mechanisms amounts to approx. 1 eV but c) it is considerably less (presumably around 0.4 eV) in the "early failures" period which gives an authentic explanation of the most inconsistent findings in literature; d) above 150 °C chip temperature and after some thousand test hr the plague failures of thermocompression bonds and metallization severance begin to prevail giving rise to a distinct wearout period.

## Résumés

CDU 534.76:681.84.087.7

Antal, L.:

**Essais subjectifs sur systèmes quadrophoniques discrets et matriciels**

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXVI. (1975) N° 11.

L'article discute les essais de localisation et d'écoute faits sur systèmes ayant des matrices SQ et QS. Les résultats de ceux-ci indiquent, que la transmission discrète permet une localisation très facile des directions principales, alors que les directions virtuelles peuvent être localisées difficilement. Les essais d'écoute prouvaient aussi la rôle déterminante des directions principales, donc celles sont les facteurs décisifs de l'expérience spatiale quadrophonique.

CDU 620.199:621.3.019.3:621.3.049.771.14:681.325

Dr. Kemény Á.—Kalmár G.:

**Nouveaux résultats des essais de fiabilité des circuits intégrés numériques de série TTL à faible échelle d'intégration (SSI). Partie II: Résultats d'essais et leur interprétation par la physique des défaillances**

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXVI. (1975) N° 11.

Il était prouvé au cours des essais avec charges à haute température statiques et dynamiques pendant 5-15 000 heures entre températures de 70-200 °C, que a) le taux des défaillances extrapolé aux conditions de service moyennes à 55 °C se trouve entre  $10^{-8}$ - $10^{-9}$ /heure, valeurs assez basses pour une telle famille des types industriels; b) l'énergie d'activation thermique correspondant à la dégradation superficielle et des contacts est environ 1eV, mais c) dans l'intervalle des défaillances précoces celle-ci est beaucoup plus basse, présumablement 0,4 eV, donnant une explication en ce qui concerne les valeurs contradictoires jusqu'à présent dans la littérature, d) au dessus des températures de chip 150 °C, après quelques milles heures les défaillances de peste des connexions à thermocompression et les défaillances de rupture des connexions métallisées, indiquant vieillissement, avancent au premier plan.