



Autóelektronika, meghibásodás, biztonság

Dr. Harsányi Gábor
egyetemi tanár

Medgyes Bálint, Illés Balázs,
Hurtony Tamás, Gordon Péter



BMEETT
ELEKTRONIKAI TECHNOLÓGIA TANSZÉK

BUDAPEST MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
ELEKTRONIKAI TECHNOLÓGIA TANSZÉK

Tartalom

- A megbízhatóságról
- Megbízhatóság vizsgálatok
- Terepről származó esettanulmányok
- Az elektrokémiai migráció veszélyei
- Élettartam modellek és vizsgálatok problémái
- Védekezés, megelőzés
- További problémák: a whiskerek titkai
- Konklúzió

A magyarországi elektronikai gyártóipar

- elsősorban felületi szereléstechológia (SMT)
- többnyire szerződéses gyártók, pl.
AUTÓELEKTRONIKAI BESZÁLLÍTÓK

JELENTŐS IGÉNYÜK VAN:

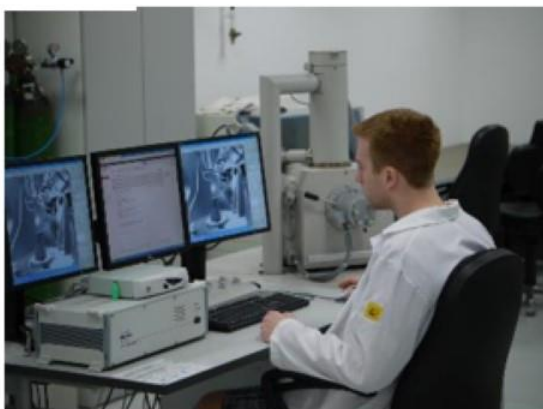
- megbízhatóság és
- minőség javítására
- hibaokok felderítésére

Ebben kínál a BME-
ETT együttműködési
lehetőséget.



A BMEETT hibaanalitikai vizsgálati módszerei

PEM



RTG



Alkatrész letolás



AFM



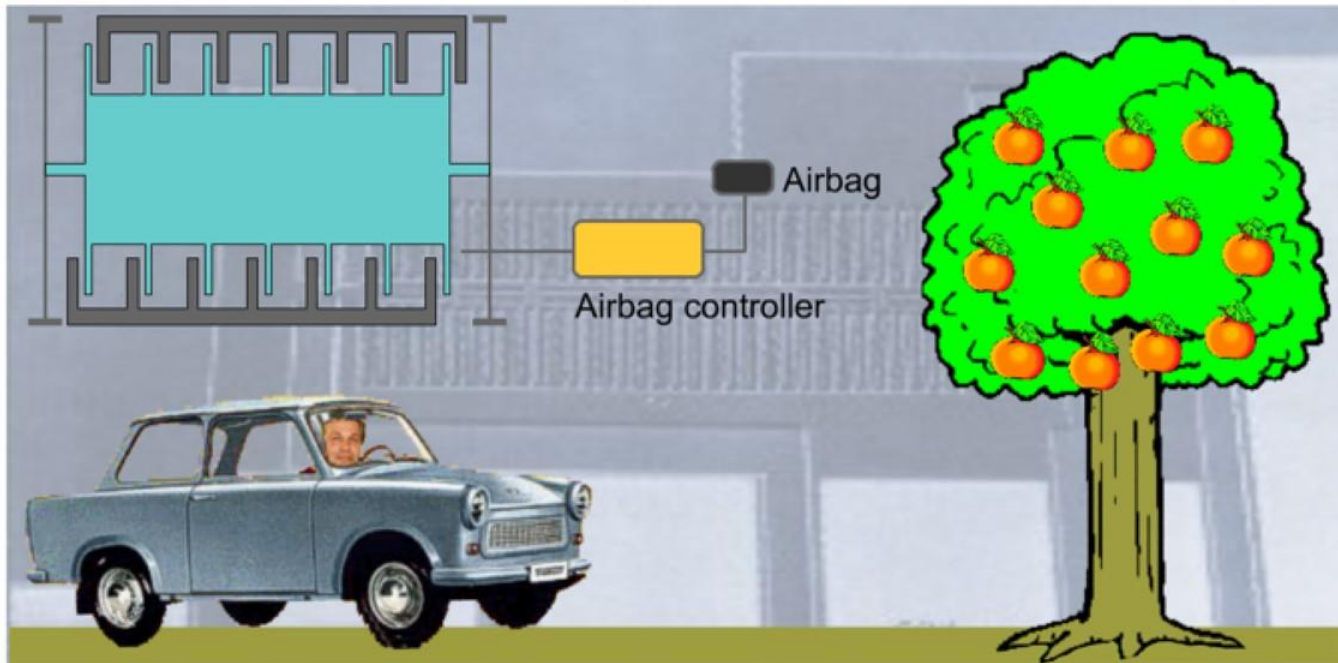
Klímakamrák

Mi a biztonság az autóban?

- Az elektronika vigyázza életünket

Acceleration sensors in automotive application

[Related topics](#)



- Megment, de nem „bánt”

Autonóm rendszerek problémái (pl. önvezető autó)

Amikről sokat beszélünk:

- Az MI döntések filozófiai-erkölcsi problémái
- Fokozott cyberbiztonság (visszaélések!)
- Szoftverfelügyelet, önjavító, hibatűrő rendszerek
- Redundáns hardverrendszerek (tartalék CPU, stb.)

Amiről nem beszélünk:

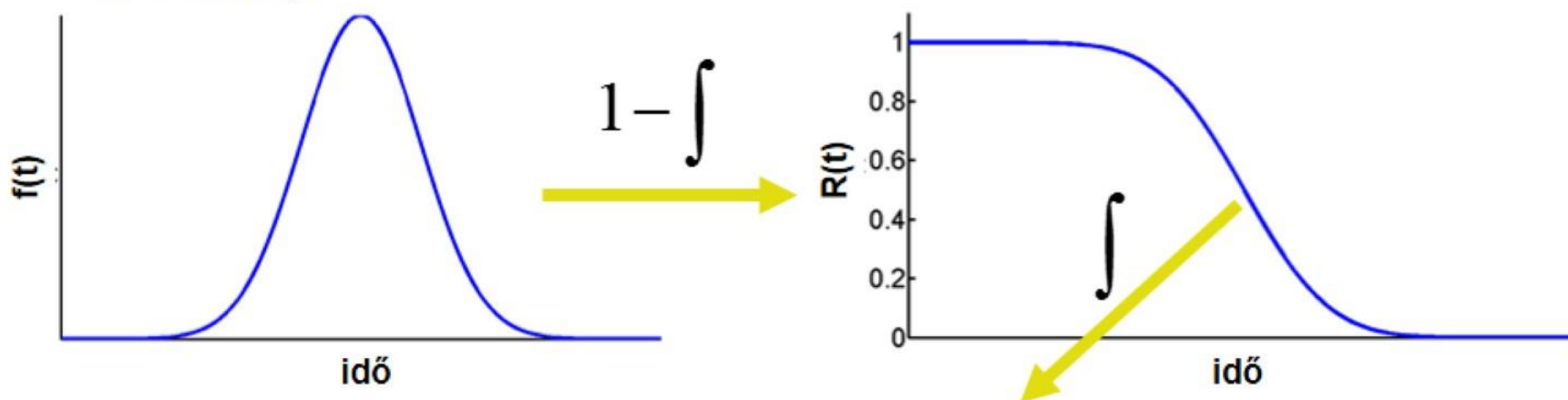
- A hardver rendszerek megbízhatóságának az anyagok természetéből fakadó korlátai

A MEGBÍZHATÓSÁG

a hibamentes működés valószínűsége

A megbízhatósági függvény, $R(t)$ jellemzői:

- 1-ről indul (a nulla időpillanatban minden alkatrész működőképes),
- 0-hoz tart (minden alkatrész meghibásodik),
- csökkenő jelleget mutat (az alkatrészek öregednek),
- $f(t)$ elsőrendű momentuma a várható élettartamot adja (MTTF, Mean Time To Failure).



$$\text{MTTF} = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

MEGBÍZHATÓSÁGI TERVEZÉS

A rendszerek meghatározott körülmények között történő (hibamentes) működése meghatározott pontossággal tervezhető, „jósolható”:

- megtalálható a termékek megbízhatóságának optimuma (a gyártói költségek tükrében),
- kritikus rendszerek esetén tervezhető a preventív javítás időpontja,
- tervezhető a termékek élettartama (korai meghibásodás, erkölcsi elavulás),
- kritikus rendszerek esetén tervezhető a tartalékolás mértéke,
- a termék elemeinek megbízhatósága összehangolható.

→ A klasszikus módszer: az **MTTF** meghatározása.

MEGBÍZHATÓSÁGI TERVEZÉS

Amihez hozzászoktunk a napjainkban: („hibatűrő emberek”):

- gyors avulás, rövid használati periódus, nem érdekes az élettartam
- gyakori a hiba miatti csere
- a hibaanalízis gyakran hosszadalmas vagy nem igényelt: a katasztrófák hosszadalmas vizsgálata mellett tömeges a nem feltárt hibák:

NFF „No Fault Founds”

Ami az autonóm rendszerek kihívása:

- Hosszútávú, hibamentes üzemelés (akár évtizedekig)
- Ehhez kulcsfontosságú lesz a First TTF (FTTF) meghatározása:

$$R(t)=1, \text{ ha } t < \text{FTTF}$$

→ az MTTF szórása is kell, ami meghatározása „random” folyamatoknál igen nehéz .

A MEGBÍZHATÓSÁG FÜGG

Az egység kivitelétől és üzemétől:

- alkalmazott anyagok és előállítás technológiák,
- kiviteli típus (kereskedelmi, ipari, katonai), alkalmazott védelmek (bevonat, tok, ház, stb.)
- üzemi terhelés (U, I),
- üzemi hőmérséklet

A környezeti körülményektől:

- Mechanikai : rázás, ütés, mech. feszültségek,
- Elektromágneses hatások és sugárzások
- Vegyi hatások (pl. korrozív környezet, olaj)
- **Klimatikus (T és páratartalom és ingadozása),**
- egyéb

**Bizonytalan!
(legrosszabb
esetre tervezés)**

Az MTTF meghatározásának lehetőségei:

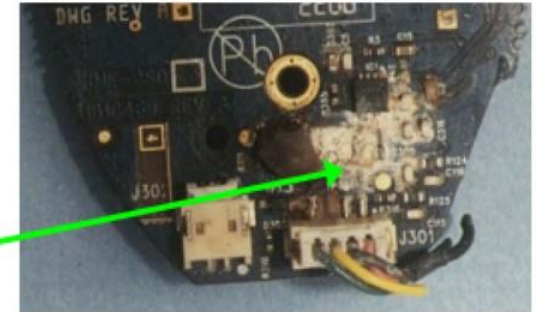
- alkatrészek modellezésével (bonyolultsága miatt erősen korlátozott),
- kísérletileg: gyorsított élettartam teszt mérésekkel és ún. gyorsítási modellek alkalmazásával :

$$MTTF_{\text{becsült}} = MTTF_{\text{teszt}} \times ACCF \text{ (acceleration factor, az alk. teszt gyorsítási tényezője)}$$

A KÉSZÜLÉKEK „ÉLETE” SORÁN KIALAKULÓ MEGHIBÁSODÁSOK

- **Korrózió:**

a szerkezeti anyagok felületéről kiinduló, kémiai, illetve elektrokémiai folyamatok következtében létrejövő károsodás.



- **Fáradásos/túlterheléses törés:**

a szerkezeti anyagok kis-, illetve nagyciklusszámú fáradása okán bekövetkező károsodás. (pl. hőciklus v. mech. terhelés)

- **ESD/EOS (Electrostatic Discharge/Electric Overstress):**

a meghibásodást a hőhatás járulékos jelenségei váltják ki.

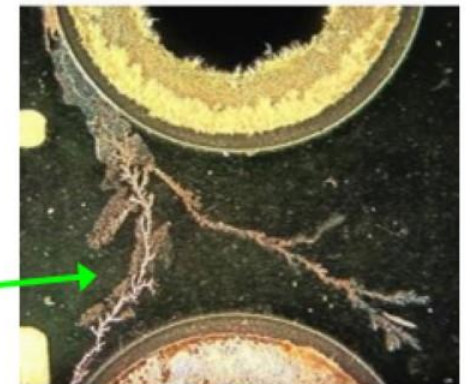
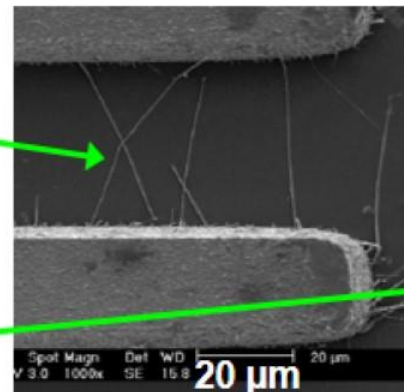


- **Whisker:**

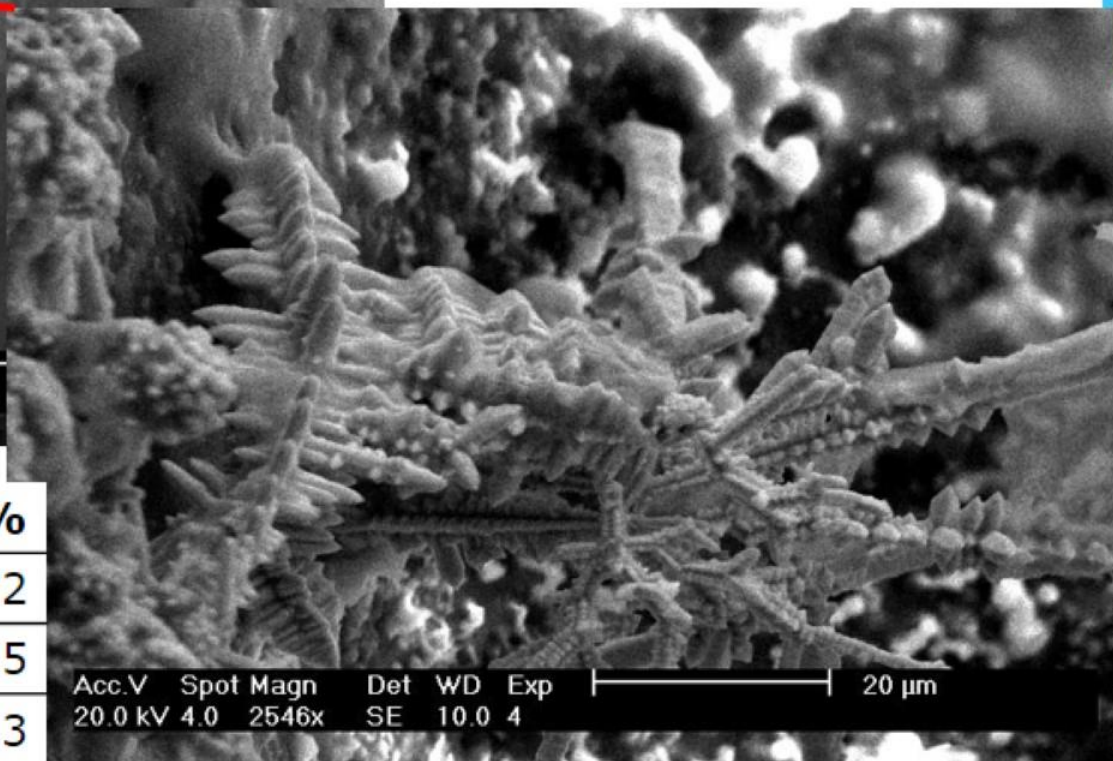
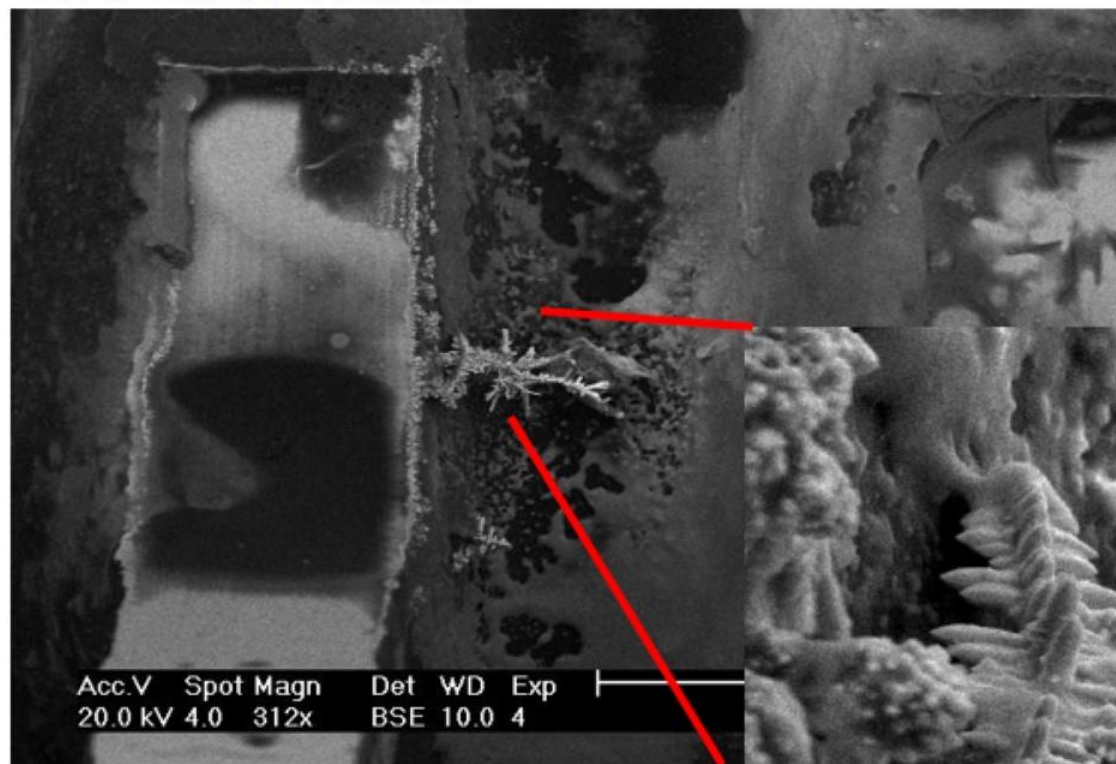
tűszerű egykristályok kinövése fémekből, melyek rövidzárlatot okozhatnak.

- **Dendrit:**

vezetők között, elektrokémiai migráció következtében kialakuló fémkiválás, amely rövidzárlatot okozhat.

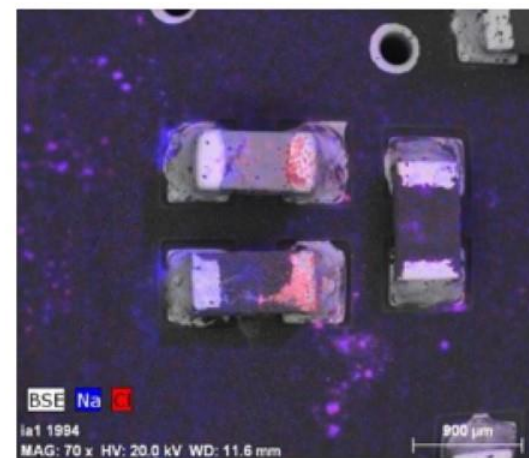
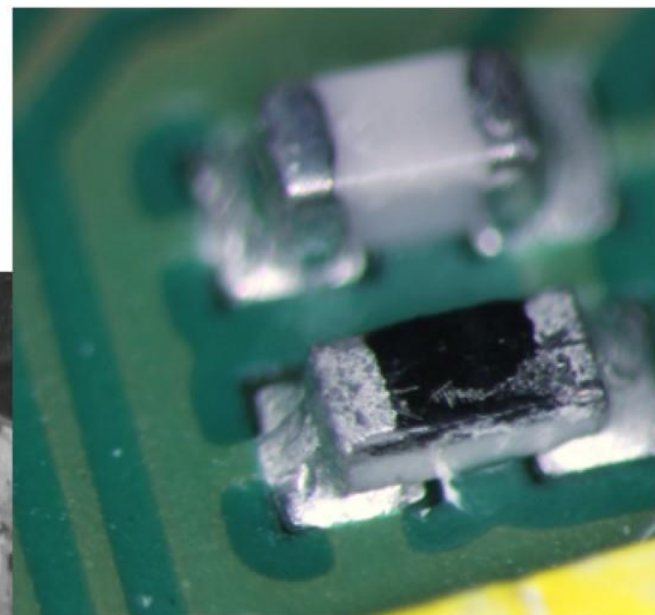
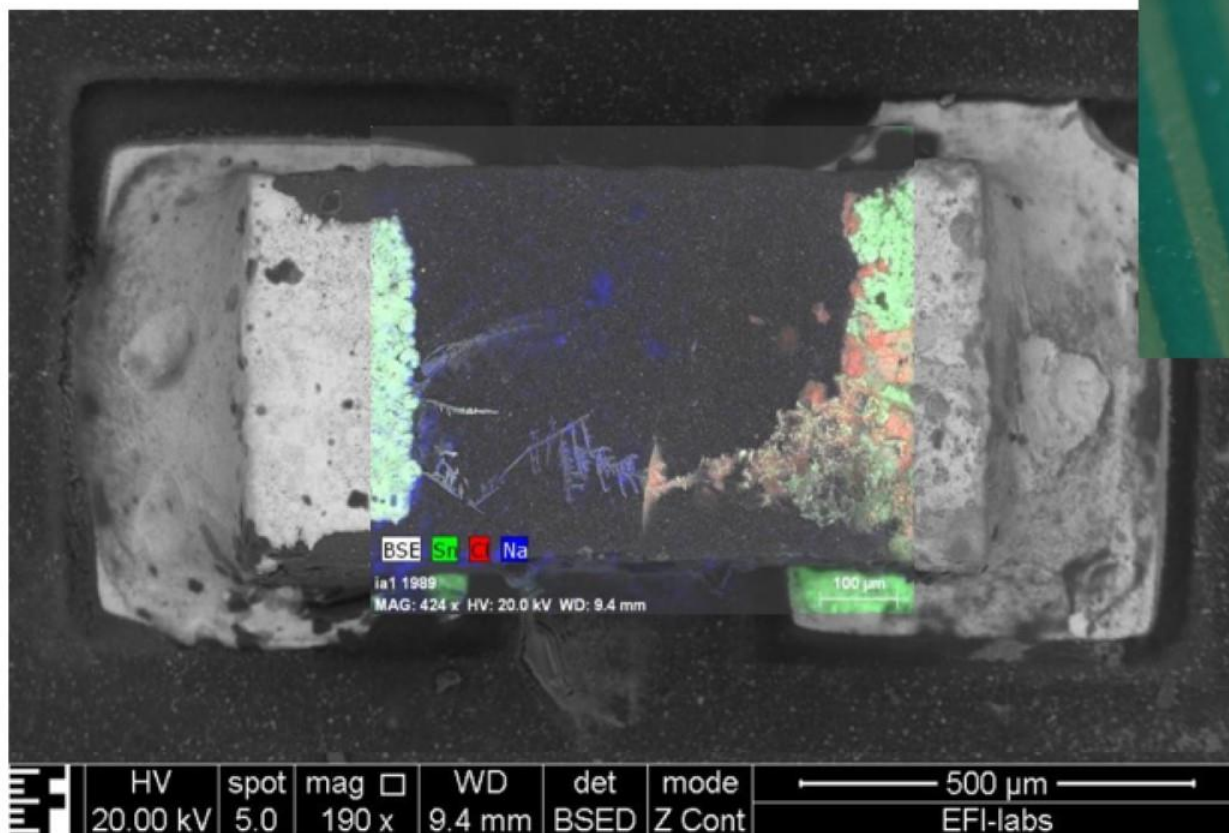


Példa a terepről: dendritek (faágszerű képződmények) okozta rövidzár



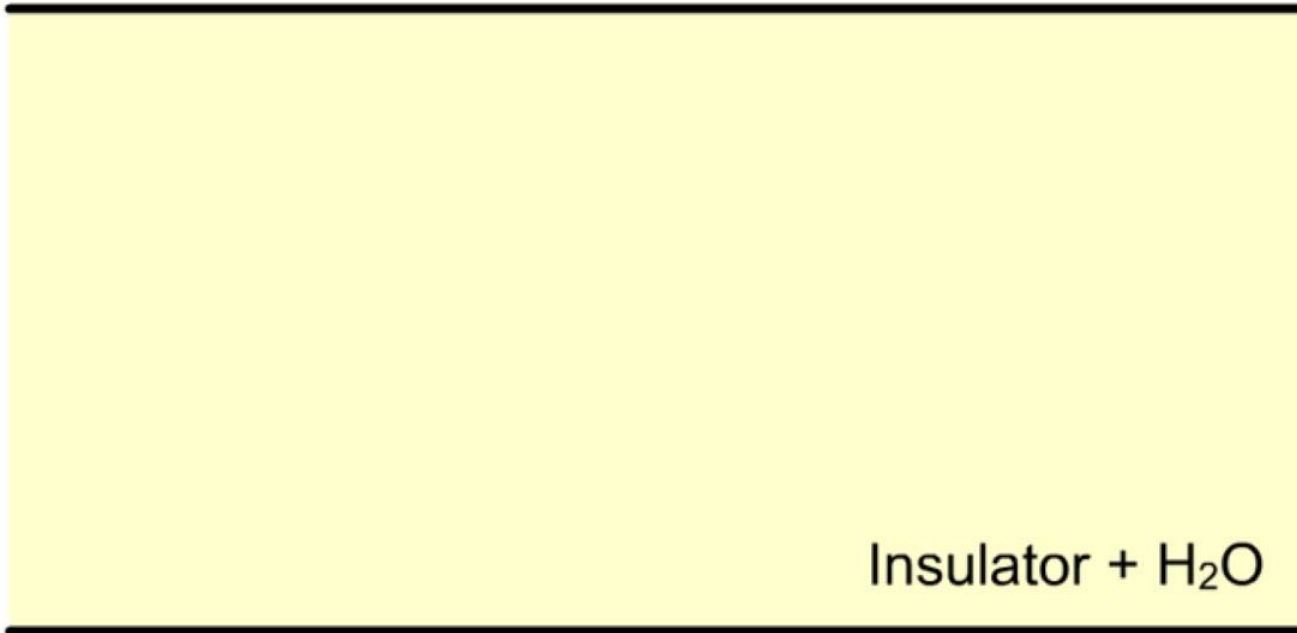
Element	Wt %	At %
SnL	29.03	38.72
CuK	4.07	10.15
PbL	66.90	51.13

Példa a terepről: NaCl szennyezés okozta migráció



Az elektrokémiai migráció modellje:

Cathode -



Anode +

Az elektrokémiai migráció (ECM) folyamata

- Dendritképződés okozta rövidzárok kialakulása miatt katasztrofális hibák kialakulása
- Működés közben, klimatikus viszonyok speciális alakulása ill. külső szennyezések idézhetik elő
- Önjavulás és hibaregenerációs ciklusok kialakulása, beazonosítása nehéz
- A folyamat:
 - Párhuzamos vezetők között villamos feszültség
 - Összefüggő nedvességréteg kialakulása
 - Ionos oldódás az anódon
 - Ionvándorlás a katód felé
 - Ionok kiválása dendrites formában a katódon
 - Dendritek átnövése
 - Rövidzár
 - Rövidzár felszakadása
 - Újabb rövidzárok, stb.

Elektrokémiai migrációs vizsgálati módszerek

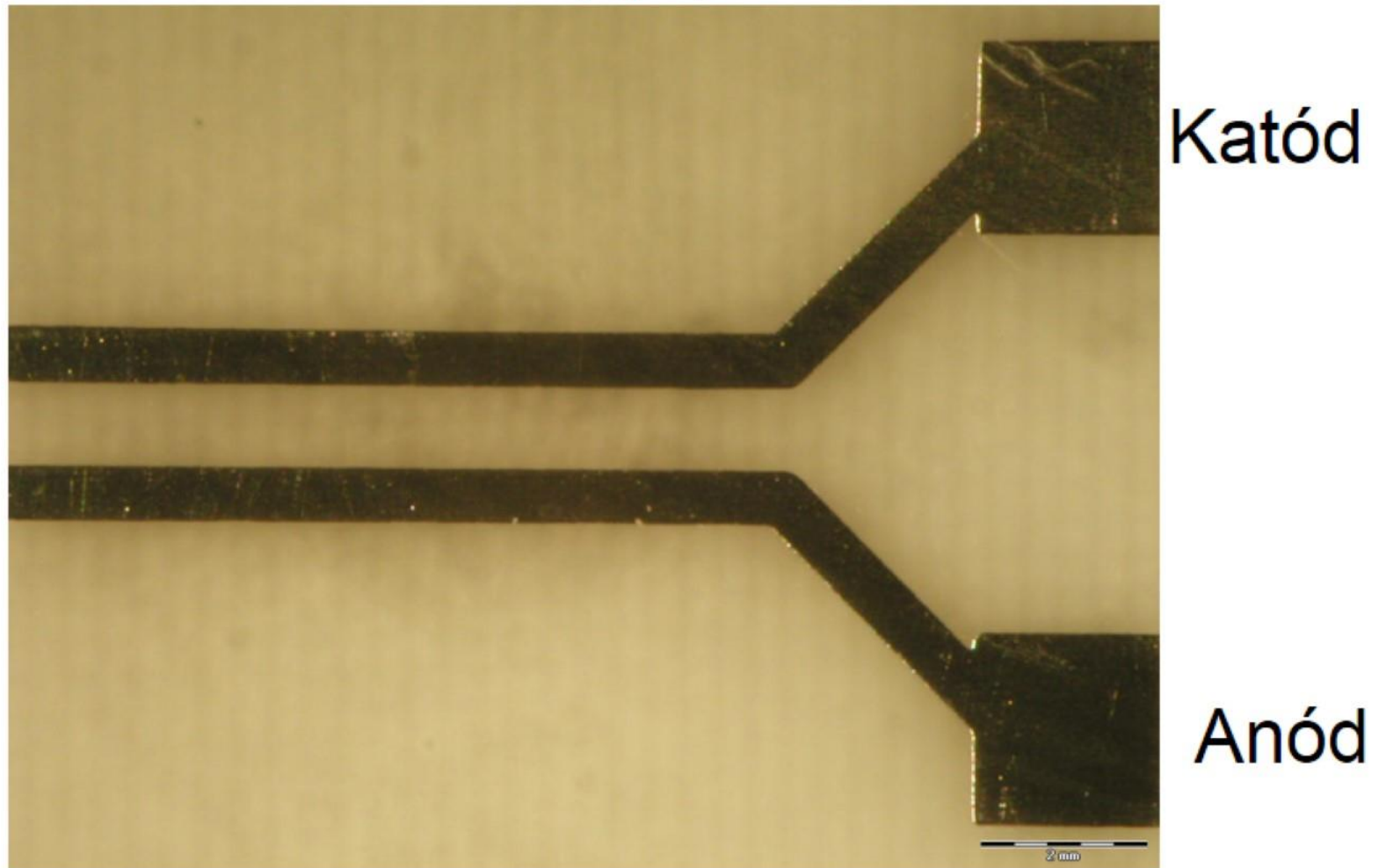
- *Vízcsepp teszt:*
 - *odatesszük a vízcseppet:*
- *csak a migrációs folyamatot figyeljük a zárlat kialakulásáig*



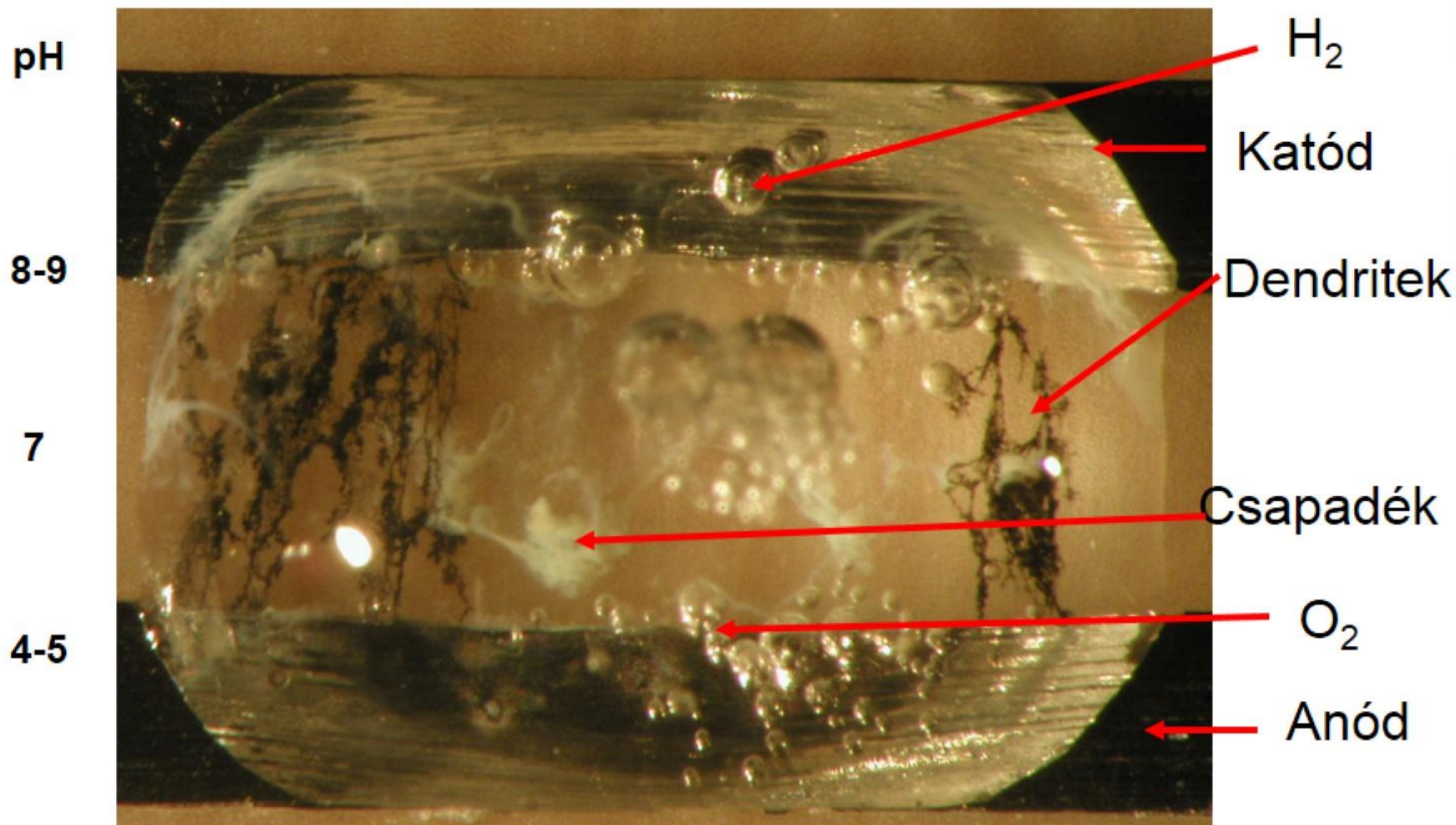
- *Klímakamrás vizsgálatok:*
 - *Valós környezeti hatások (pl.: T, RH) szimulációja*
- *Belemérjük a kondenzációs folyamat idejét is (további random tényező)*



Tesztábra a vízcsepp (WD) teszthez



Az ECM folyamata



Becsülhető-e az MTTF ill. FTTF ?

Gyorsítási modell?

$$MTTF = C \times \left(\frac{L^q}{U^p} \right) \times (RH)^{-x} \times e^{\left(E_a / kT \right)}$$

Pecht

Arrhenius

Kondenzáció nélkül

C, p, q, x empirikus állandók,
 U a villamos feszültség,
 L az elektródák közti távolság,
 RH a relatív páratartalom,

E_a az aktivációs energia,
 k a Boltzmann-állandó,
 T meg az abszolút hőmérséklet.

Az ECM kondenzációt feltételez: ez egy RH_{krit} felett indul el,
ami a felületi minőség és szennyezők függvénye

$RH < RH_{krit}$ nincs meghibásodás

$RH > RH_{krit}$ gyors meghibásodás

Becsülhető-e az MTTF ill. FTTF ?

Gyorsítási módszer ?

Gyorsított élettartam vizsgálatok:

- Terhelés (U-I) szükséges: 10 VDC (IPC 2.6.14.1)
 - 85°C/85%RH (JEDEC Test Method A101-B) – nincs kondenzáció
 - THB 40°C/95%RH (IEC 68-2-3) – „random” kondenzáció
 - HAST (Highly Accelerated Stress Test - JEDEC Test Method A110-B), 110°C -130°C/ 85% p > 1atm – kérdéses kondenzáció
 - Autokláv („pressure cooker”, JEDEC Test Method A102-C) : 121°C, 100% RH es 2 atm – biztos kondenzáció
- ➔ Ciklikus „harmatpont” teszt realisztikusnak tűnik: váltakozva 40°C/95RH% - 10°C/60RH% kb. 20 perces szakaszokkal

Problémák

- *Nem tudjuk mi történik pontosan a dendrit képződési folyamat megindulása előtti szakaszban (pl.: nedvesség kondenzáció során) és ez hogyan befolyásolja a meghibásodásig eltelt teljes időt.*
- *A fentiből következően nem található olyan gyorsítási modell sem, ami a hiba bekövetkezéséig a teljes folyamat leírását célozza.*

Elektrokémiai migráció elleni védelem

Fizikai védelem:

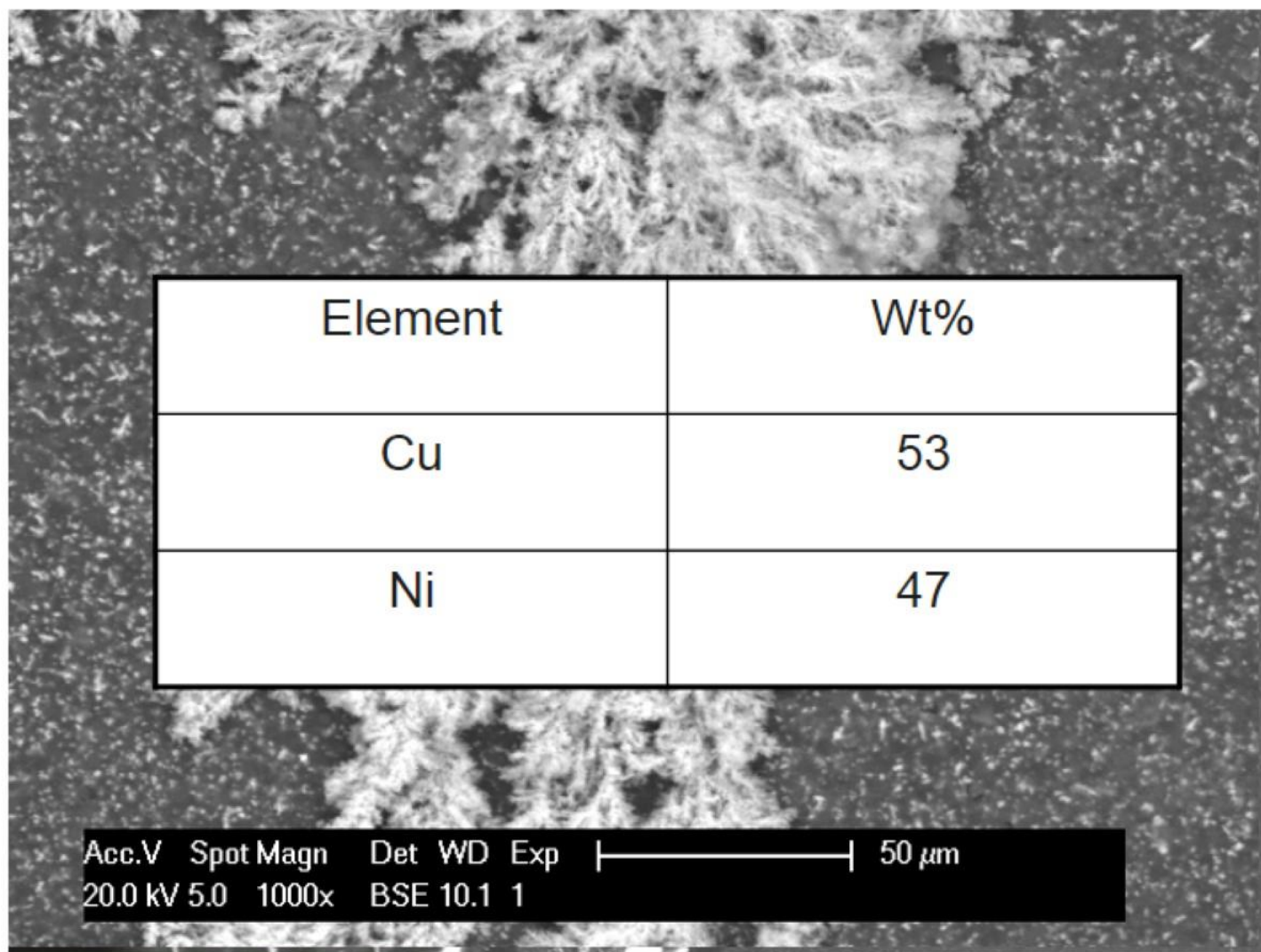
1. Toko­zások (chip szint)
2. Alakkövető bevonatok (modul szint)
3. Kiöntés, alkatrész ház alkalmazása (eszköz szint)

Kémiai/elektrokémiai módszerek:

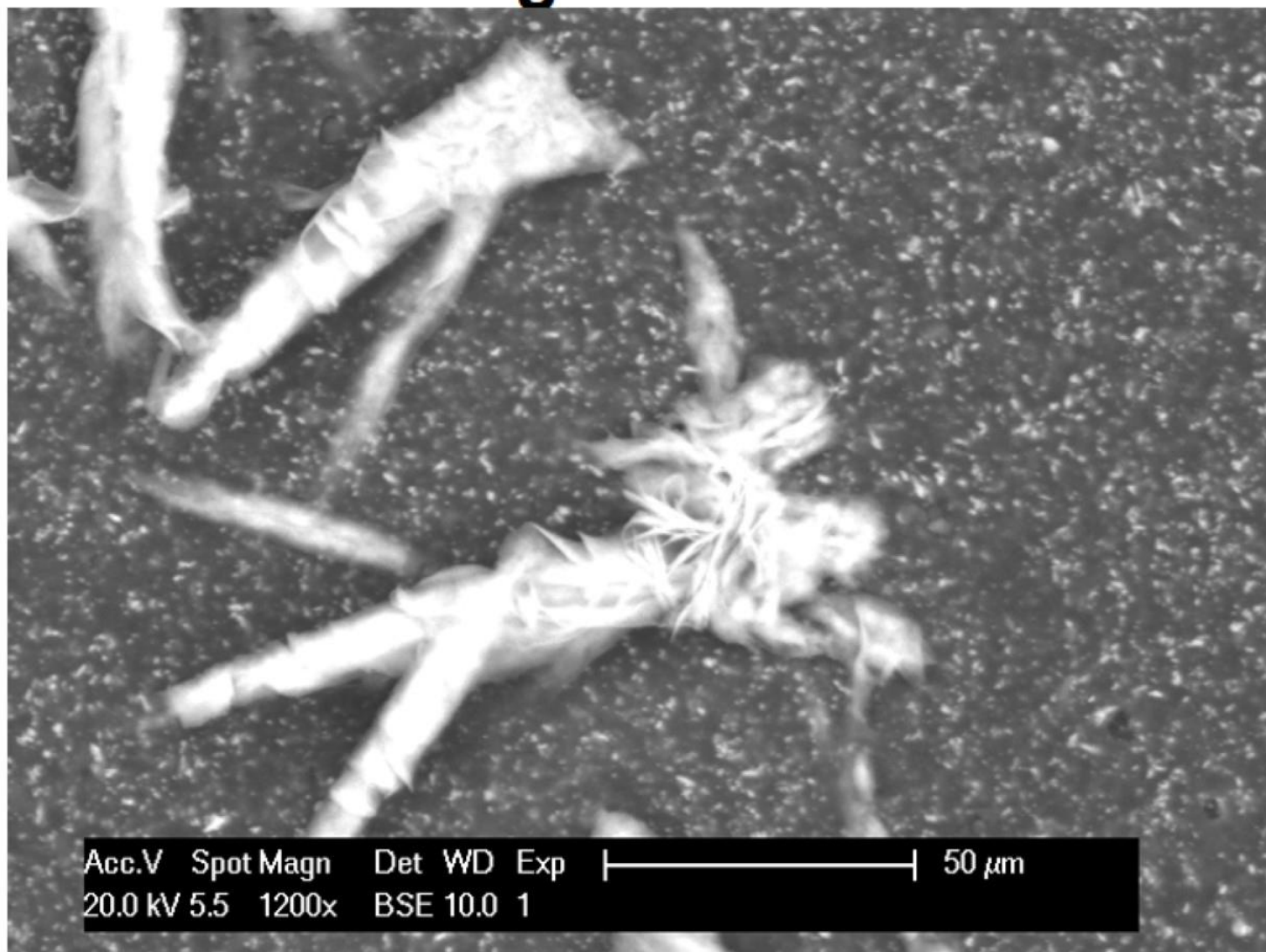
1. Anódos védelem (passzíváló réteg)
2. Katódos védelem (passzív, aktív)
3. Inhibitorok alkalmazása (pl.: Na_2S lassítja az Sn migrációt)

Tudományos megközelítés: Folyamatok mélyebb megismerése vezethet hatékonyabb védelemhez

Cu/Ni dendritek forrasztás gátló bevonaton



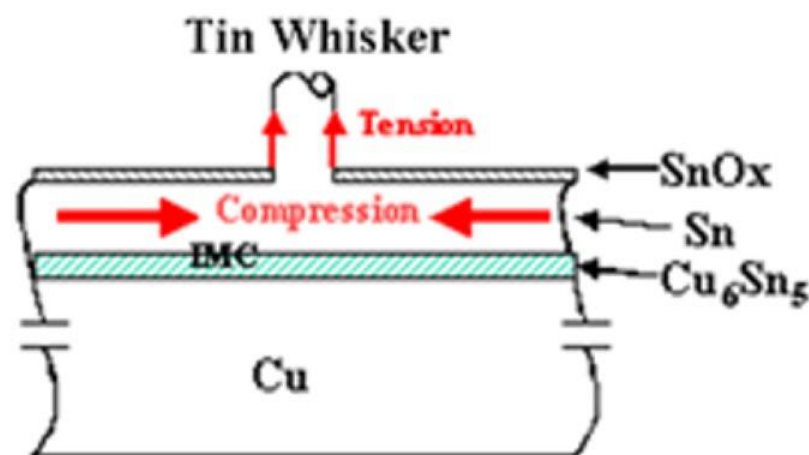
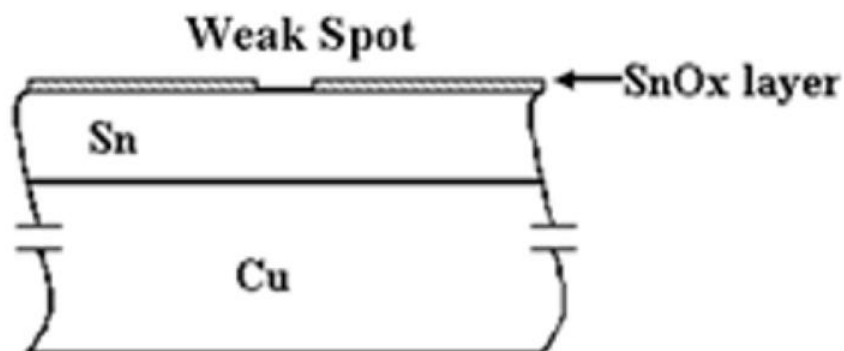
Pb tűk forrasztás gátló bevonaton



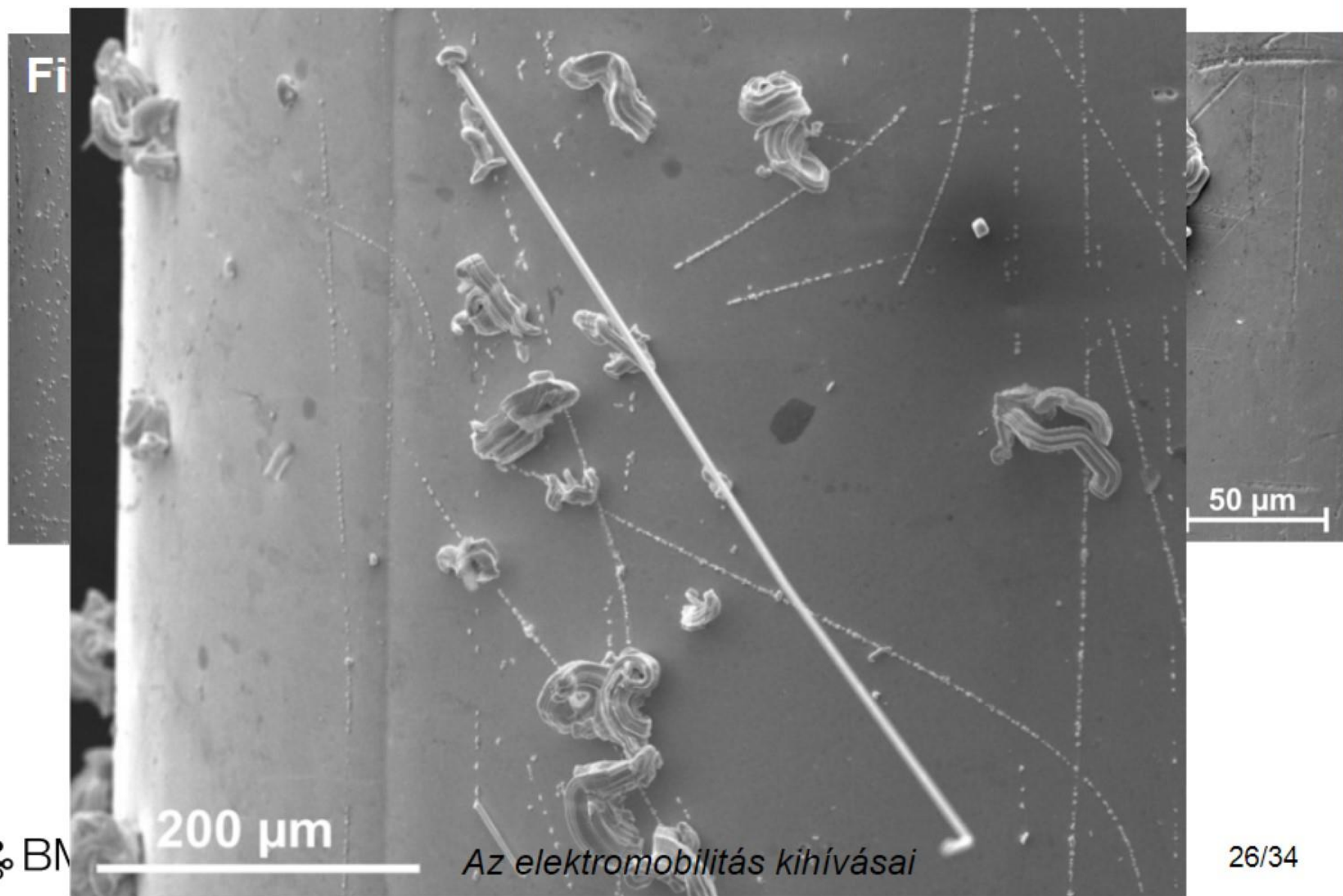
„The show must go on” - Whiskerek

Az ón whisker (tűkristály) kialakulása:

1. Az ón bevonatban mechanikai feszültség lép fel.
2. A felső ón-oxid rétegen lévő repedésen át ónkristály kinövés keletkezik



Fém whiskerek esetei



Őn whisker katasztrófa esetek

- Szívritmus szabályozó meghibásodása.
- F-15 radar meghibásodása.
- Phoenix levegő-levegő rakéta meghibásodása.
- GALAXY 4 meghibásodása. A műhold teljes elvesztése,
- GALAXY 7 meghibásodása. A műhold teljes elvesztése.
- SOLIDARIDAD 1 meghibásodása. A műhold teljes elvesztése.
- Cr47-es dióda meghibásodása nukleáris reaktor vezérlőegységében.
- Millstone nukleáris reaktor meghibásodása.

Védekezés ón whiskerek ellen

1. Pb ötvöző

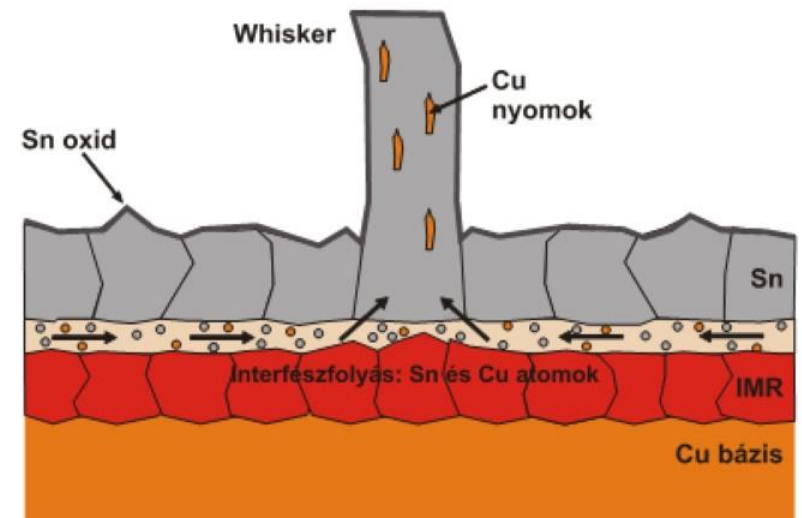
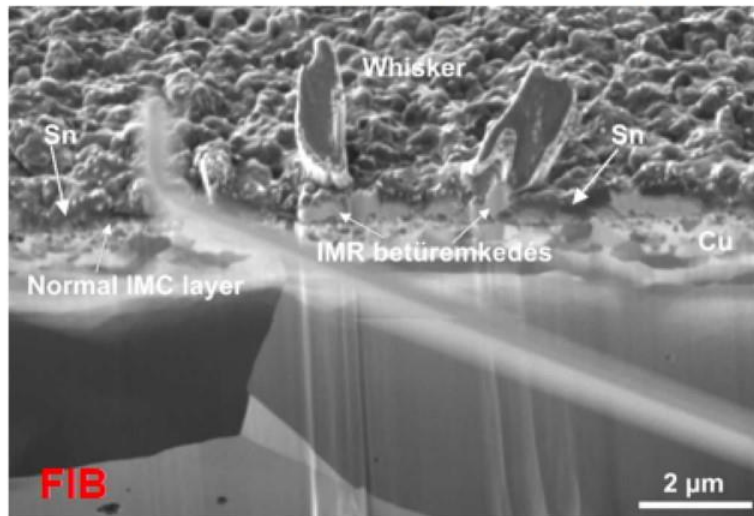
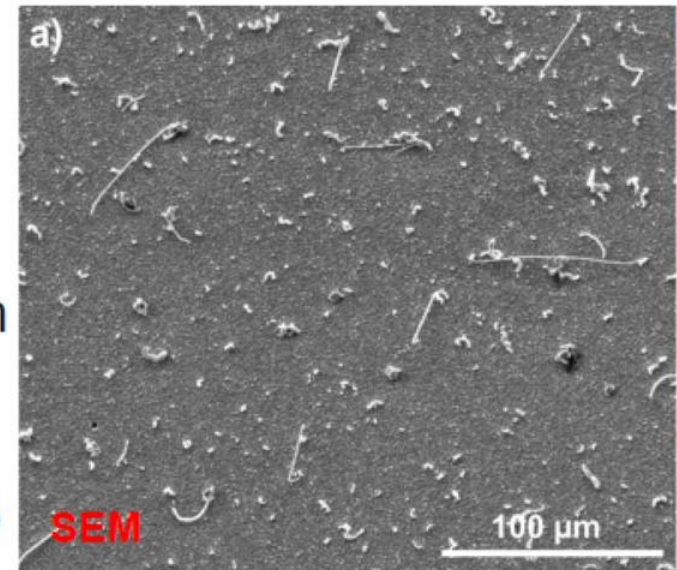
→ 2006 óta nem megoldás

2. Új utak:

- hőkezelés ?
- bevonatok ?

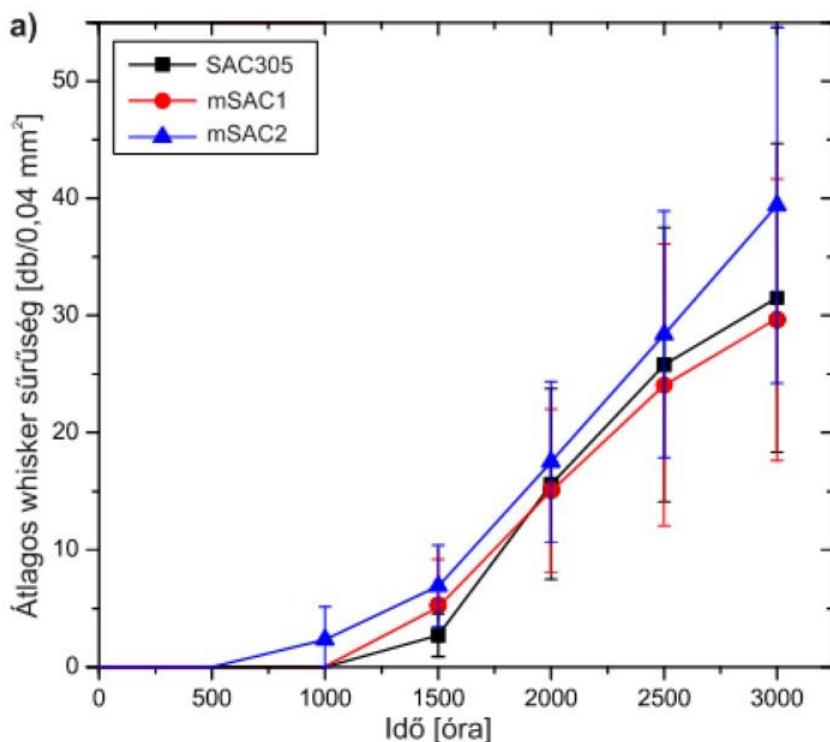
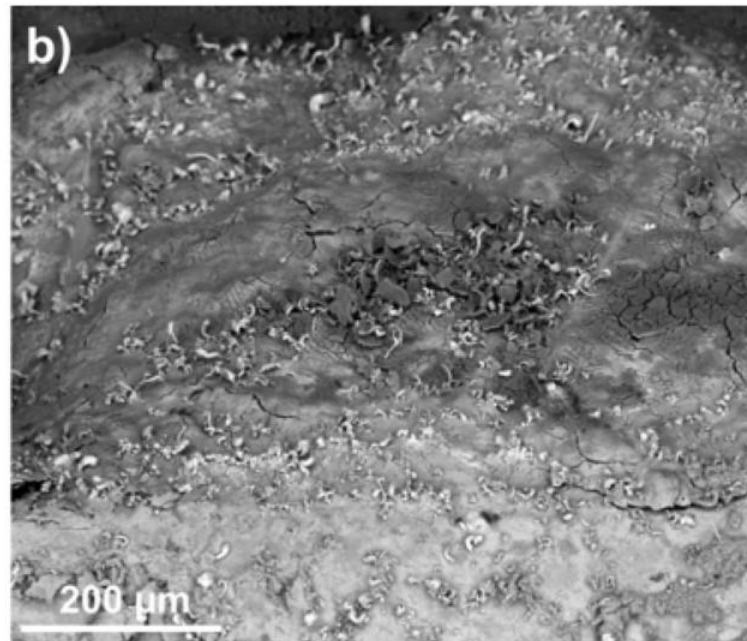
„ANOMÁLIS” WHISKER JELENSÉGEK

- Pl: 400nm-es vákuum párologtatott ón
- Tárolás: **szobahőmérséklet és páratart !**
22°C/50%RH
- 15 nap után nagymennyiségű ($>170\mu\text{m}$) ón whisker megjelenése
- **$\sim 0,5 \mu\text{m/h-s}$** növekedési sebesség
klasszikus modellekkel nem magyarázható
→ **interfészfolyás jelensége**



WHISKEREK SnAgCu FORRASZOKBÓL

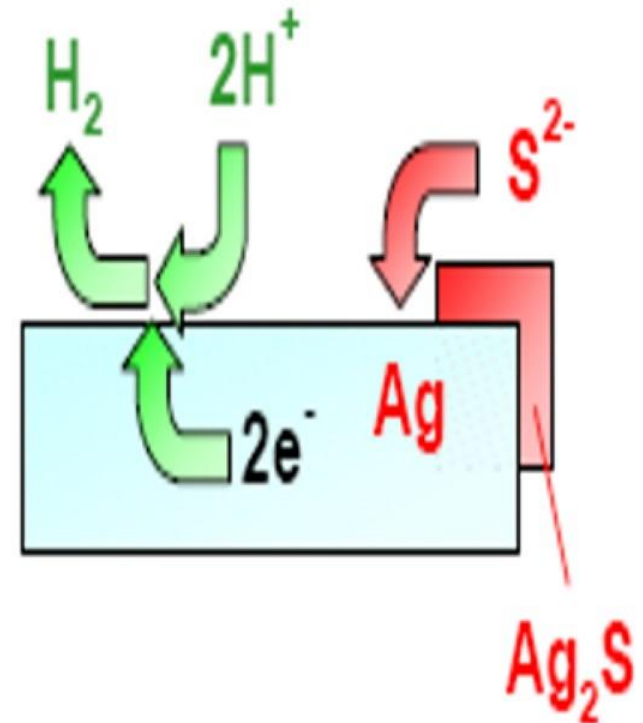
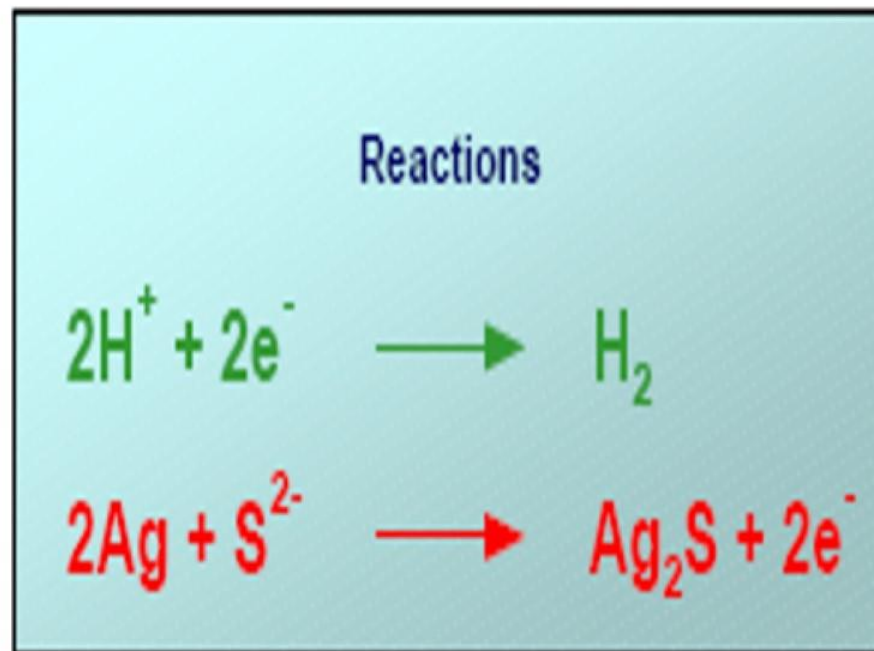
- 85°C/85RH% öregbítés során nagymennyiségű (~1000db/mm²; ~50µm) főleg **nodule típusú** whisker megjelenése



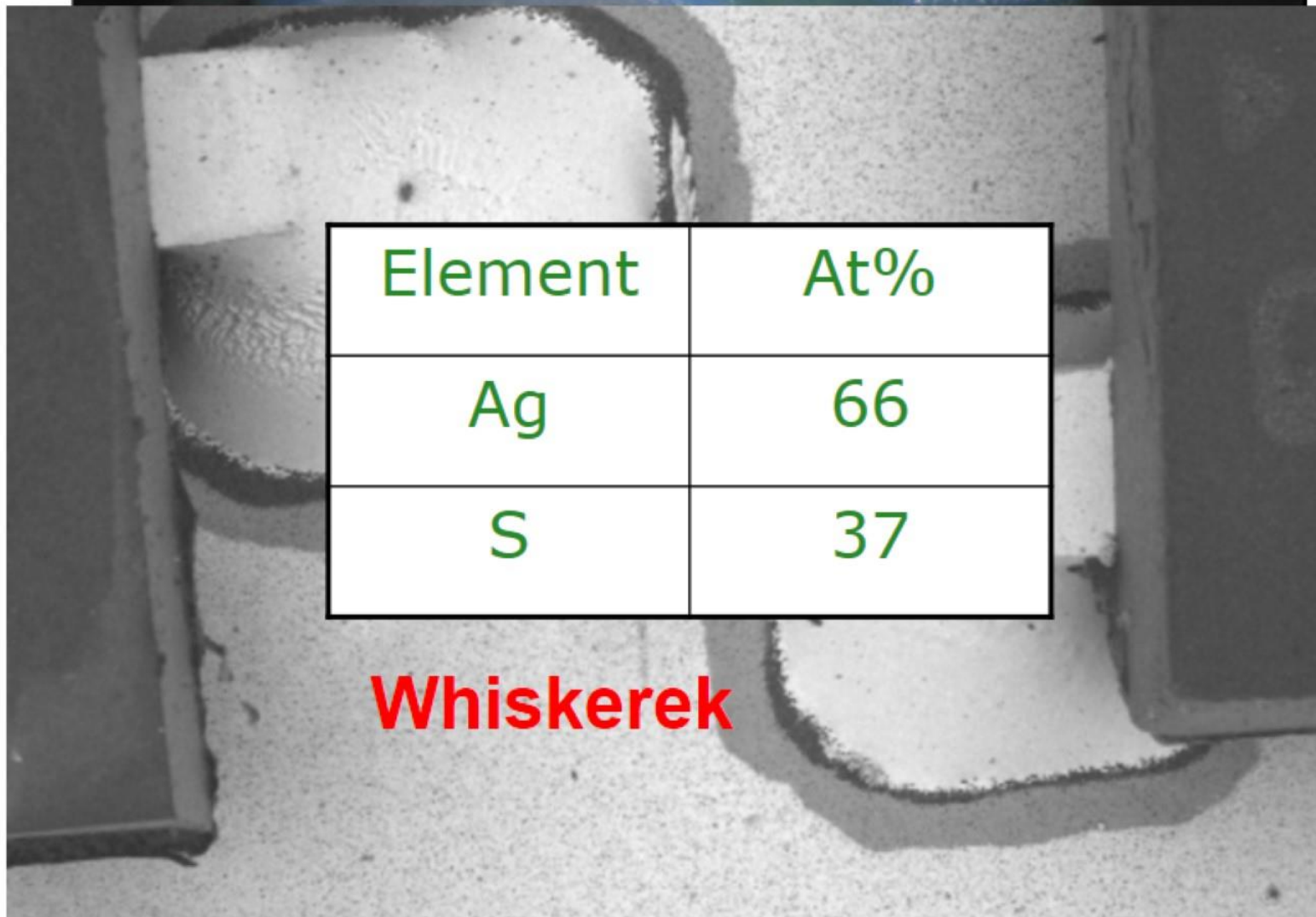
- A „száraz” tesztek esetében nem nőtt whisker → **kiváltó ok a korrózió**

AG₂S WHISKEREK KELETKEZÉSI MECHANIZMUSA

Párás, kénes atmoszférában:



Ag₂S whiskerek forrasztási helyeken



Whiskerek vizsgálati problémái

- Anyagok sokfélesége: Cu, Zn, Sn, Ag, Au, Ag, Ag₂S
- A keletkezési mechanizmusok sokszínűsége:
 - intermetallikus képződés
 - interfészfolyás
 - korrózió
 - felületi oxid v. szulfidképződés
- Különböző gyorsítási modellek (hőciklusok relaxáló hatása, páratartalom vegyes hatása, környező gázok stimulálhatják)

Konklúzió

- Az elektronikus készülékek **katasztrofális** következményekkel járó **meghibásodását** előidéző okok gyakran a dendritek és whiskerek
- Bár a hibamechanizmusok ismertek, a környezeti paraméterek pontos hatásáról **sok a nyitott kérdés**
- Nagyon sok az NFF „**No Fault Founds**” eset
- A teljes eliminálás nem lehetséges, csak az **együttélés „megtanulása”**
- ➔ **Új** élettartam vizsgálatok és **modellek** (szabványok!)
- ➔ **Hardvertervezés** felülvizsgálata (nemcsak anyagok!)
- ➔ Beágyazott Mesterséges Intelligencia a hibák **előre jelzésének** megtanulásához