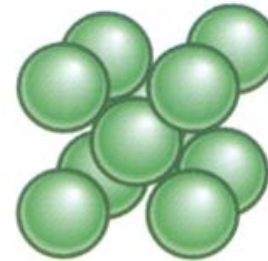
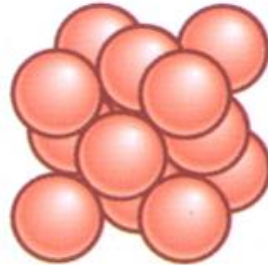
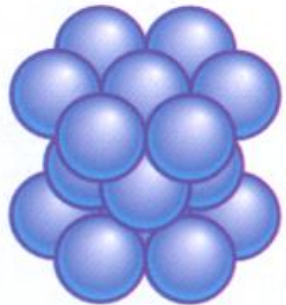
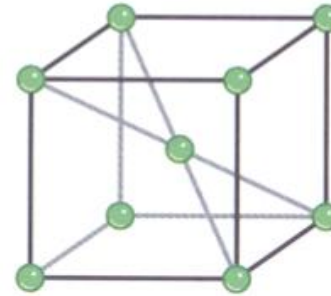
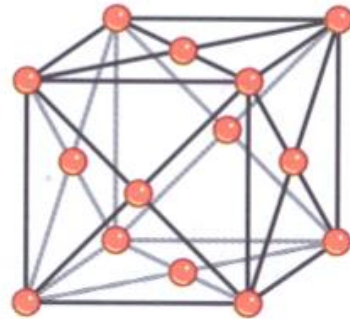
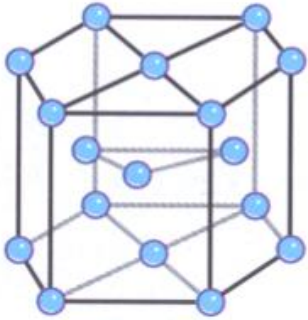


# FÉMEK

szobahőmérsékleten szilárdak (kivéve: higany)

„fémes kötés” – elektronok mobilitása  
jó elektromos és hővezető képesség

nagy sűrűség  
erős fényelnyelés  
fémes fény



**CPH**  
(*cink*)

**FCC**  
(*réz, arany, ezüst*)

**BCC**  
(*vas*)

duktilisak, mechanikailag alakíthatók:  
dróttá húzhatók, lemezzé kalapálhatók

# MEGMUNKÁLÁS

öntött, hőkezelt  
fémek: kevés  
rácshiba, puhák,  
alakíthatók

↓

mechanikai  
alakítás

↓

rácshibák  
felhalmozódása,  
térfogatcsökkenés

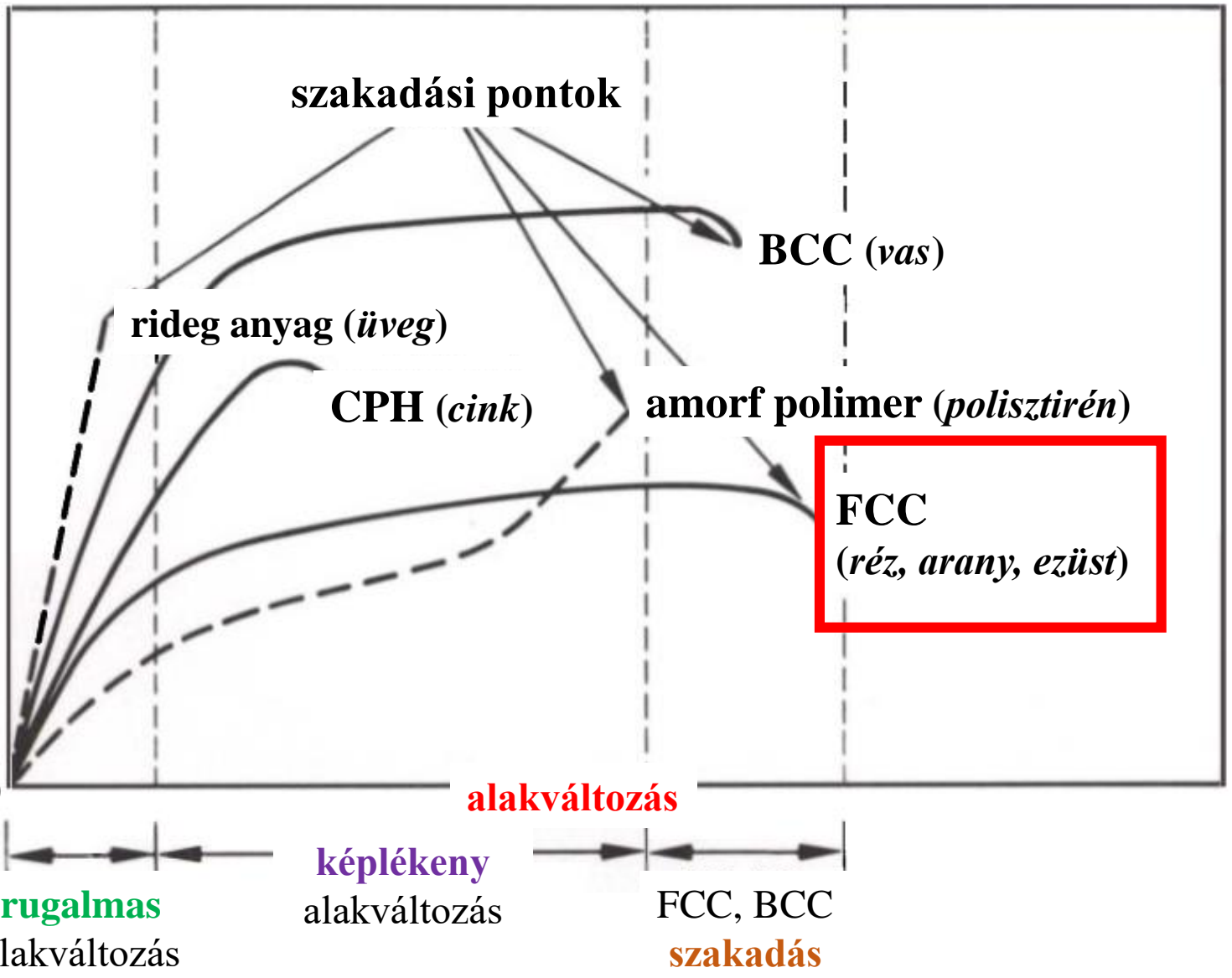
↓

felkeményedés  
(duktilitás csökken)

↓

hőkezelés

**feszültség**

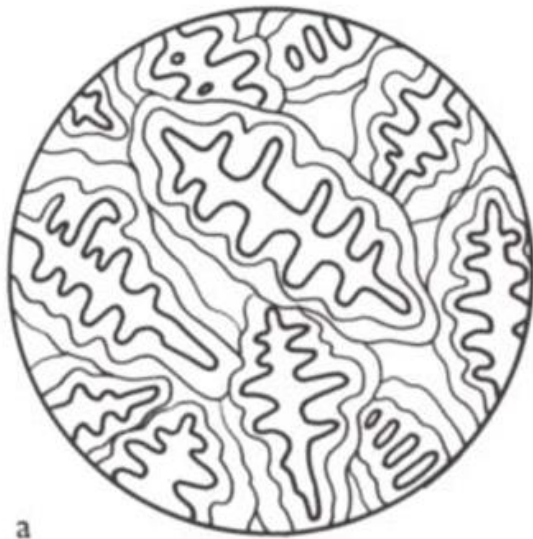


**a fém alakításának története visszafejthető**

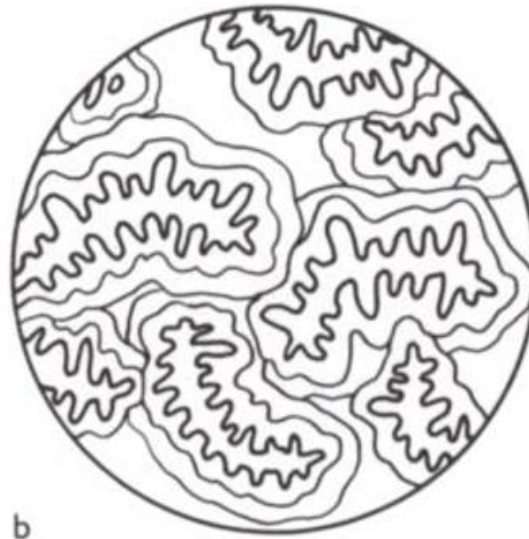
Scott (1991)

A hőkezelési ciklusok finomra hangolásával és a mechanikus alakítás erősségének és irányának megfelelő megválasztásával különböző textúrákat tudunk létrehozni, kontrollálni tudjuk az anyag mechanikai tulajdonságait.

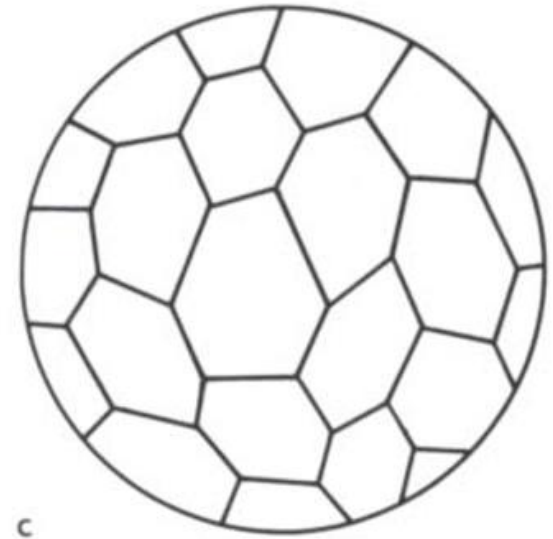
*dendrites szövet*



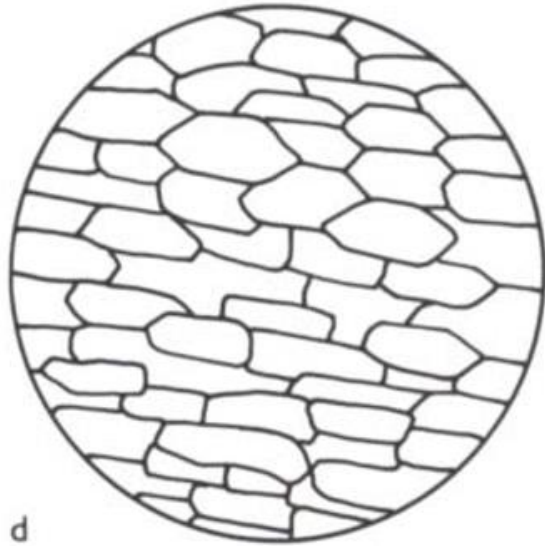
*hidegen alakított  
dendrites szövet*



*hőkezelt homogén  
kristályos anyag*



*hőkezelt majd  
hidegen  
alakított fém  
szöveve*



*hideg  
megtunkálás  
után ismét  
hőkezelt fém  
szöveve*



*hőkezelés után  
újra hidegen  
megtunkált  
fém szöveve*





# ÖSSZETÉTEL

**Ötvözetek:** két vagy több komponensből állnak.

A komponensek egymásban való oldhatósága különböző lehet.

1. teljesen oldódnak egymásban: arany-ezüst
2. részben oldódnak egymásban: réz-ezüst
3. egyáltalán nem oldódnak egymásban: réz-kobalt

## FÁZISDIAGRAMOK

*tumbaga*: réz + arany,


prekolumbián Közép-Amerika

*niello*: sötét színű szulfidok (réz~, ezüst~)

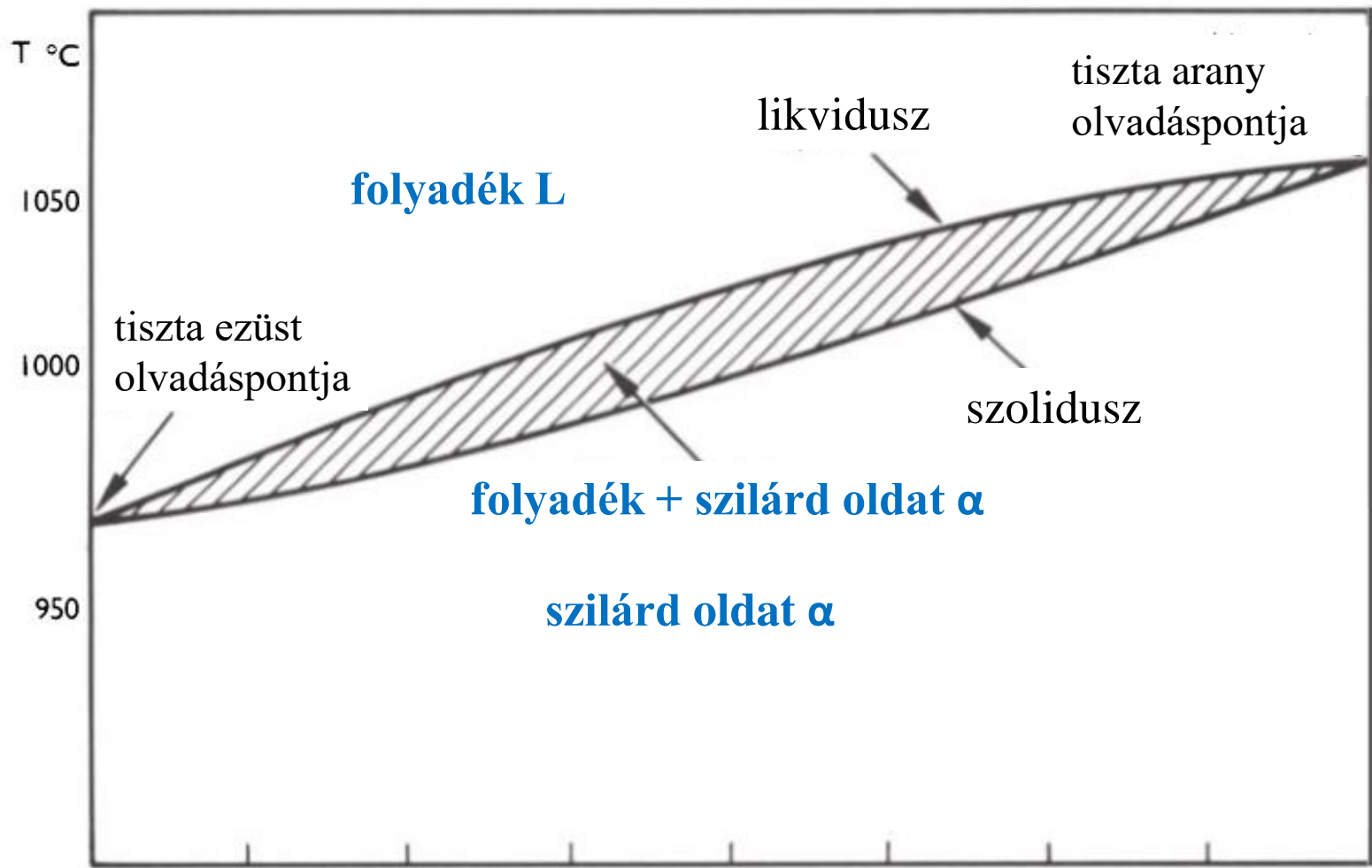
*shakudo*: arany + réz, kék-lila patina,

Japán

Térképek, amiknek a segítségével megjósolhatjuk, hogy **egyensúlyi** állapotban milyen fázisok lesznek jelen egy ötvözetben.

**lassú hűlés**  a régészeti leletek többsége

Scott (1991)

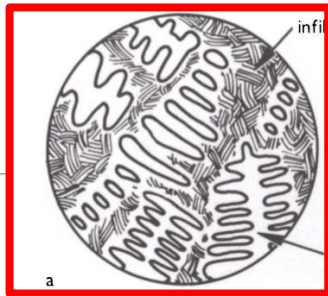


**100% ezüst**  
0% arany

50% ezüst  
50% arany

**100% arany**  
0% ezüst

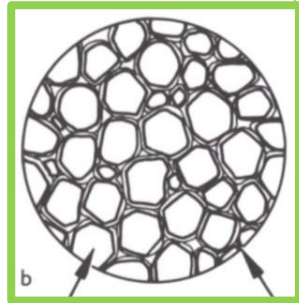
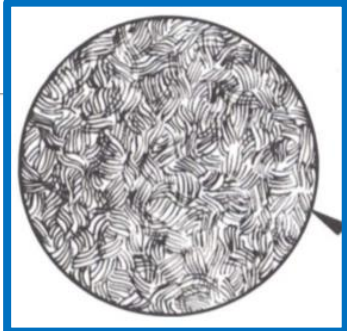
Scott (1991)



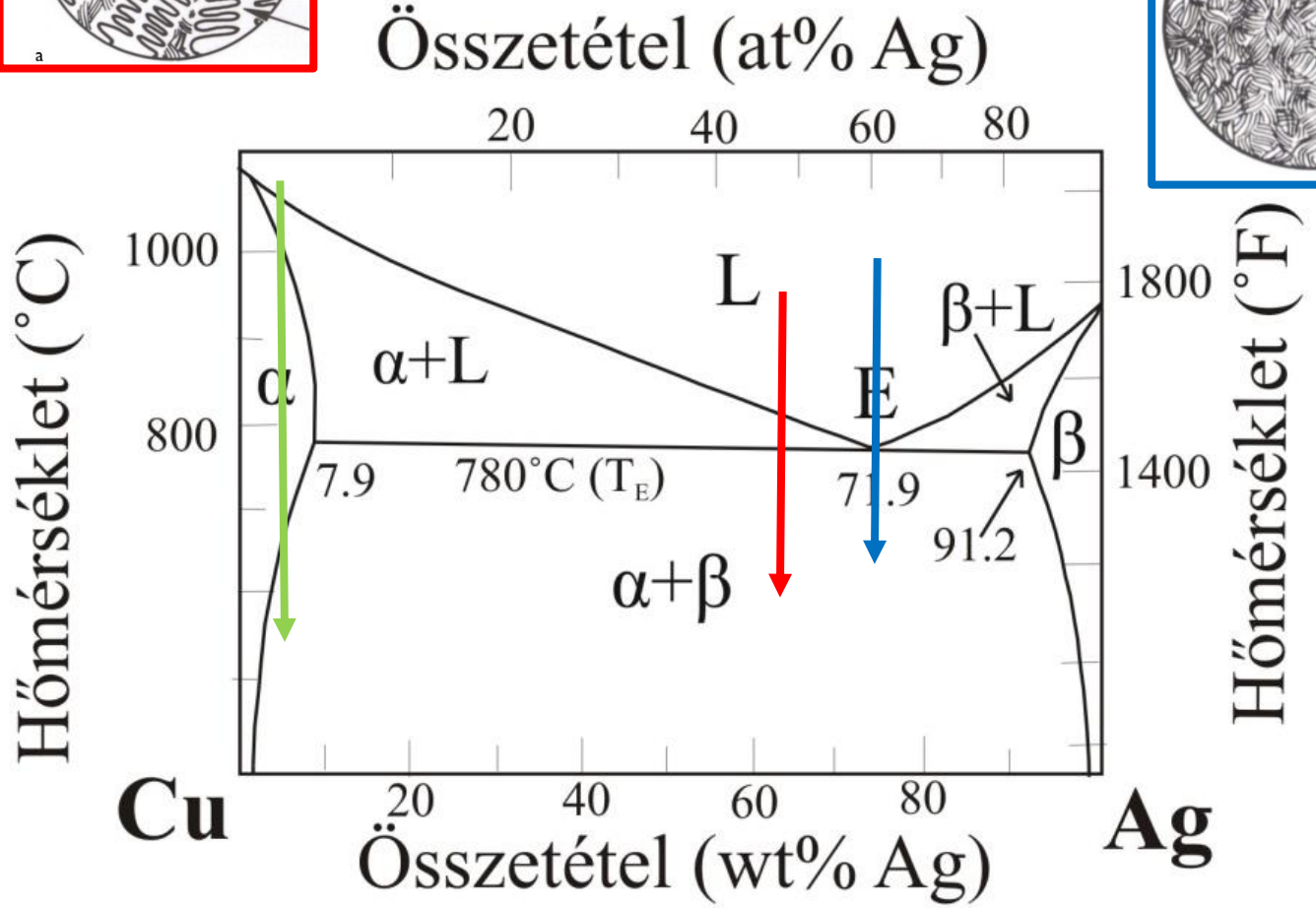
$\alpha + \beta$  eutektikum

$\alpha + \beta$  eutektikum

$\alpha$  dendrit



$\alpha$  szemcse  $\beta$  film



Callister - Materials Science and Engineering: An Introduction, 2000

Scott (1991)

# KORRÓZIÓ

Elektrokémiai reakció egy fém és vízzel telített környezete között.

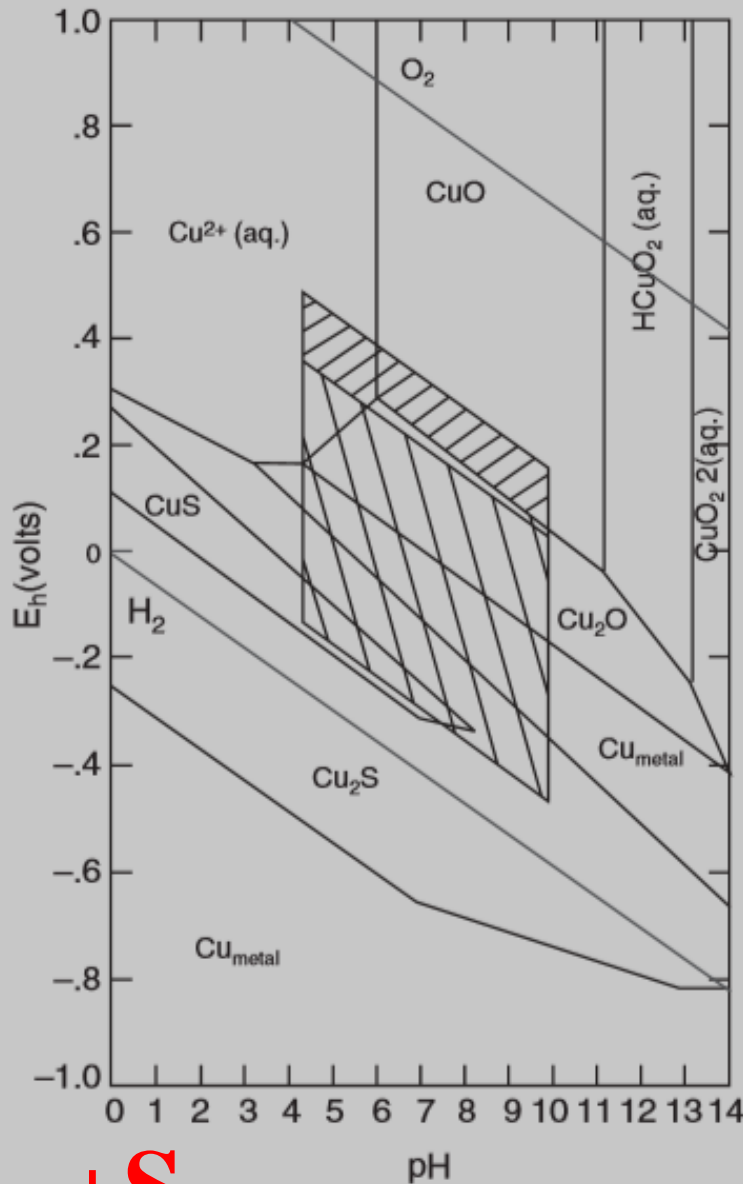
Pl. vas rozsdásodása, azaz nemfémes korróziós termékekké alakulása.

Korrózióvizsgálat a kulturális örökség tárgyain

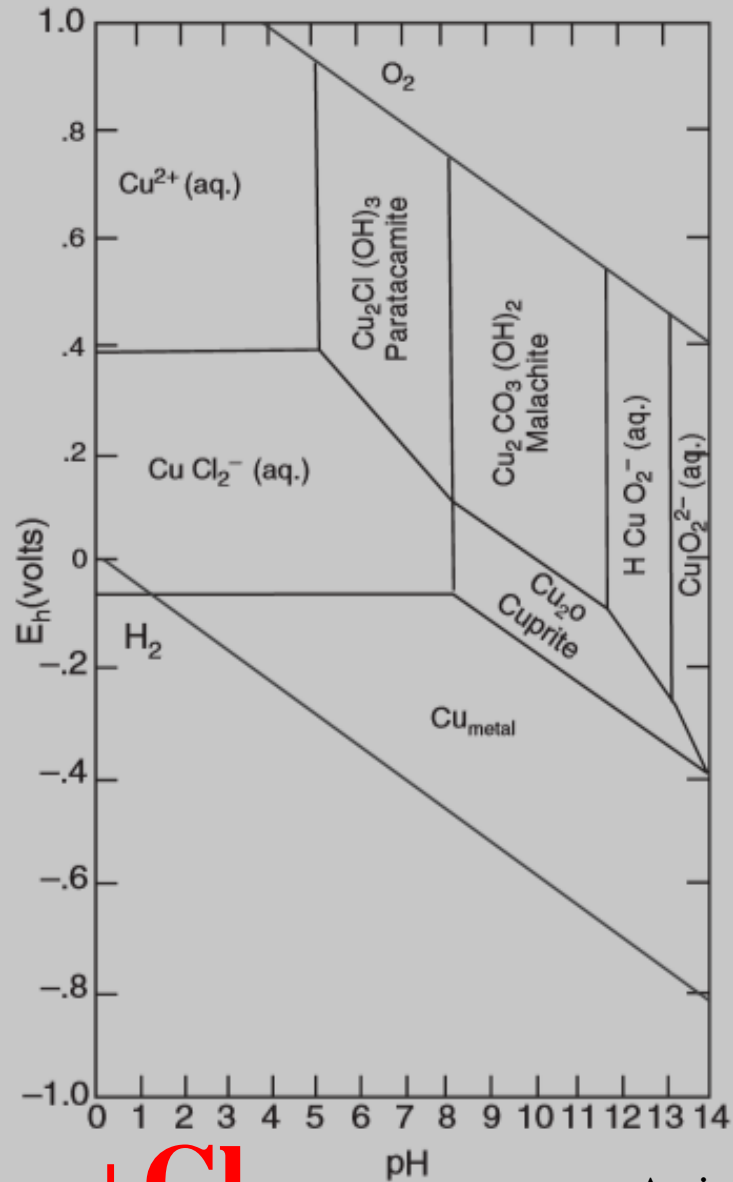
1. Információ a tárgyak eredeti állapotáról
2. Bizonyíték lehet a tárgy eredetiségére
3. Megfelelő restaurálási eljárások kiválasztása

## STABILITÁSI DIAGRAMOK

# Réz-víz rendszer stabilitási diagramjai



**+S**



**+Cl**

**Table 3.14.** List of metal elements and alloys used in the past, with the approximate time of widespread use (modified from Killick 2001)

Compound	Elemental composition	Earliest reported widespread use	Place
Copper	Cu	7000 BC (native) 5000 BC (smelted)	Near East
Lead	Pb	6th millennium BC	Balkans, Near East
Gold	Au	5th millennium BC	Balkans
Antimony/copper alloy (Sb-bronze)	Sb/Cu	5th millennium BC	Near East
Arsenic/copper alloy (As-bronze)	As/Cu	5th millennium BC	Balkans, Near East
Silver	Ag	4th millennium BC	Balkans, Near East
Tin	Sn	4th millennium BC	Near East
Tin/copper alloy (Sn-bronze)	Sn/Cu	4th millennium BC	Near East, Iran
Zinc/copper alloy (brass)	Zn/Cu	3rd millennium BC	Lesbos
Zinc/tin/copper alloy (gunmetal)	Cu/Sn/Zn	3rd millennium BC	Iraq
Nickel/copper alloy	Ni/Cu	2nd millennium BC	Near East
Iron	Fe	2nd millennium BC	Near East
Tin-lead (pewter)	Sn/Pb	ca 1500 BC	Egypt
Low carbon-bloom	C/Fe	ca 1300–1500 BC	Near East
Mercury	Hg	1st millennium BC	China
Zinc/tin/copper alloy (gunmetal)	Cu/Sn/Zn	ca 500 BC	India
Wootz steel	C/Fe	ca 300 BC	India
Sulphur/copper (niello)	S/Cu	1st century BC	Roman world
Zinc/copper alloy (brass)	Zn/Cu	1st century BC	Roman world
Noric steel	C/Fe	ca 50 BC	Austria
Platinum	Pt	ca AD 100	South America
Sulphur/silver (niello)	S/Ag	4th century AD	Roman world
Gold/copper alloy (tumbaga)	Au/Cu	ca 500 AD	Central America
Damascus steel	C/Fe	900–1100 AD	Near East
Zinc	Zn	10th century AD	India
Sulphur/silver/copper/lead (niello)	S/Ag/Cu/Pb	11th century AD	Byzantine/Islamic
Gold/copper (shakudo)	Au/Cu	12th century AD	Japan
Bismuth/copper alloy	Bi/Cu	ca AD 1500	Peru

a legkorábban  
felhasznált fémek  
(Cu, Au, Ag)  
a legritkábbak a  
földkéregben

Table 3.15. List of principal minerals used for metal extraction in the past

Metal	Native	Oxidic ore	Sulphidic ore
Ag	silver Ag	Ag-rich argentorjarosite $AgFe_3(OH)_6(SO_4)_2$	chamite-argentite $Ag_2S$ roussite $Ag_3AsS_3$ pyrrargyrite $Ag_8SbS_3$ Ag-rich galena (Pb,Ag)S
Au	gold Au		aurstibite $AuSb_2$ gold-amalgam (Au,Ag)Hg ylvanite $(Au,Ag)_2Te_4$
As	arsenic As	hullockite $(Fe,Pb)As_2O_6$ scorodite $FeAsO_4 \cdot 2H_2O$ conichalcite $CaCa(AsO_4)OH$ autinite $CaZn(AsO_4)OH$ erythrite $Co_3(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$ beudantite $PbFe_3(AsO_4)_2(OH)_4$	kutnerudite $(Co,Ni)As_4$ calgar $AsS$ orpiment $As_2S_3$ arsenopyrite $FeAsS$ yeraldofite $NiAsS$ cobaltite $CoAsS$
Cu	copper Cu	cuprite $Cu_2O$ tenorite $CaO$ delafoosite $CuFeO_2$ malachite $Cu_2(CO_3)(OH)_2$ brochantite $Cu_4(SO_4)(OH)_6$ azurite $Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$ olivine $Cu_2(AsO_4)OH$ chrysocolla $(Cu,Al)_2H_2Si_2O_7(OH)_4 \cdot n(H_2O)$ chalcantite $CuSO_4 \cdot 5(H_2O)$ atacamite $Cu_2(OH)_2Cl$	chalcopyrite $CuFeS_2$ chalcocite $Cu_2S$ ligenite $Cu_2S_3$ covellite $CuS$ tormite $Cu_3FeS_4$ ubanite $CuFeSnS_4$ ennaite $(Cu,Fe)_{10}As_2S_{11}$ tetrahedrite $(Cu,Fe)_{13}Sb_4S_{13}$ ournonite $CuPbSbS_3$ nargite $Cu_3As_4$
Fe		goethite $FeO(OH)$ lepidocrocite $FeO(OH)$ magnetite $Fe_3O_4$ hematite $Fe_2O_3$ siderite $FeCO_3$ ankerite $Ca(Fe,Mg,Mn)(CO_3)_2$ jarosite $KFe_3(OH)_6(SO_4)_2$	pyrrhotite $Fe_{1-x}S_x$ pyrite-marcasite $FeS_2$ arsenopyrite $FeAsS$
Hg		montroydite $HgO$	cinnabar $HgS$
Pb		litharge-massicot $PbO$ cerussite $PbCO_3$ anglesite $PbSO_4$ phosgenite $Pb_2(CO_3)Cl_2$ laurionite $Pb(OH)Cl$	galena $PbS$ soulangerite $Pb_2Sb_4S_{11}$ emseyite $Pb_3Sb_4S_{11}$ ournonite $CuPbSbS_3$
Sb		cervantite $Sb_3Sb_5O_4$ kermesite $Sb_2S_5O$ senarmontite $Sb_2O_3$ stibiconite $Sb_7Sb_5O_6(OH)$ valentinite $Sb_2O_3$	tibnite $Sb_2S_3$ tetrahedrite $(Cu,Fe)_{13}Sb_4S_{13}$ ournonite $CuPbSbS_3$ soulangerite $Pb_2Sb_4S_{11}$ emseyite $Pb_3Sb_4S_{11}$ pyrrargyrite $Ag_8SbS_3$ illmannite $NiSbS$
Sn		cassiterite $SnO_2$	tennite $Cu_3FeSnS_4$
Zn		zincite $(Zn,Mn)O$ smithsonite $ZnCO_3$ emmonphite $Zn_4$ hemimorphite $Zn_4(OH)_2CO_3$	phalerite-wurtzite $(Zn,Fe)S$

Az egyes fémek történeti felhasználása a fém-oxigén kötés felszakíthatóságával függ össze. Azaz egy fém széles körű történeti felhasználása attól függött, hogy redukáló atmoszférában el tudták-e érni az oxigén-fém kötés felszakításához szükséges hőmérsékletet. Egyszerű pirotechnológiai eszközökkel (1200-1300 °C a korai kemencékben) az elterjedt oxidos érceknek csak egy kisebb része volt fémmé redukálható.

# ESETTANULMÁNY

történeti fémfonalak  
készítéstechnikájának vizsgálata



**Azonosíthatók-e a korabeli  
fémfonalkészítési technikák?**



**Rekonstruálható-e az  
aranyozás módja?**

Milyen a fonalak finom rétegszerkezete?



Milyen vastag a felületi aranyréteg?

Hogyan változik a kémiai összetétel a rétegeken keresztül:

van-e az aranyozási technikára utaló elemdúsulás (Cu, Hg) az arany/ezüst réteghatáron?

# A MINTÁK



mintaelőkészítés: cm – mm

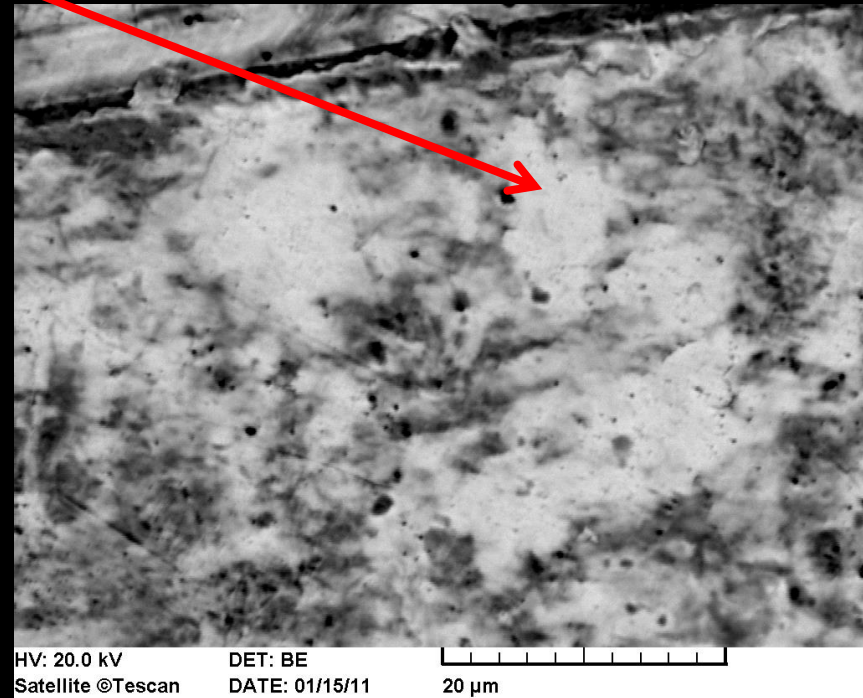
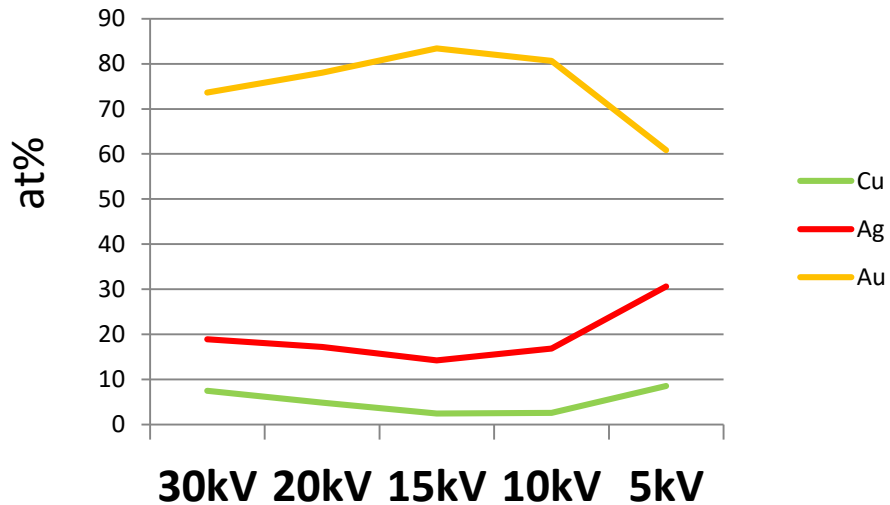


400 μm

szoknya hímzése, kontúrozó, magyar hímzés c. 1610

# ELSŐ VIZSGÁLATOK

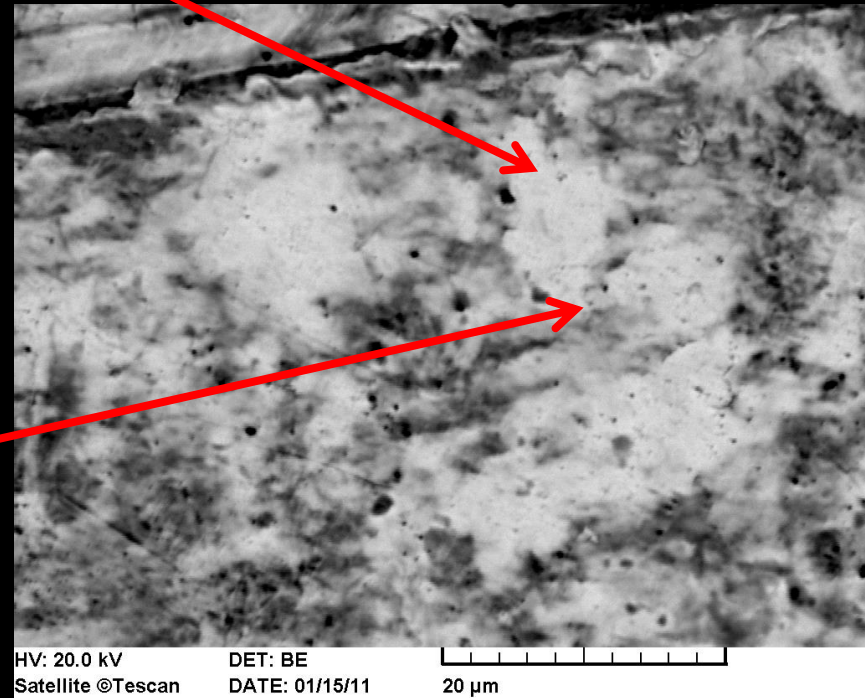
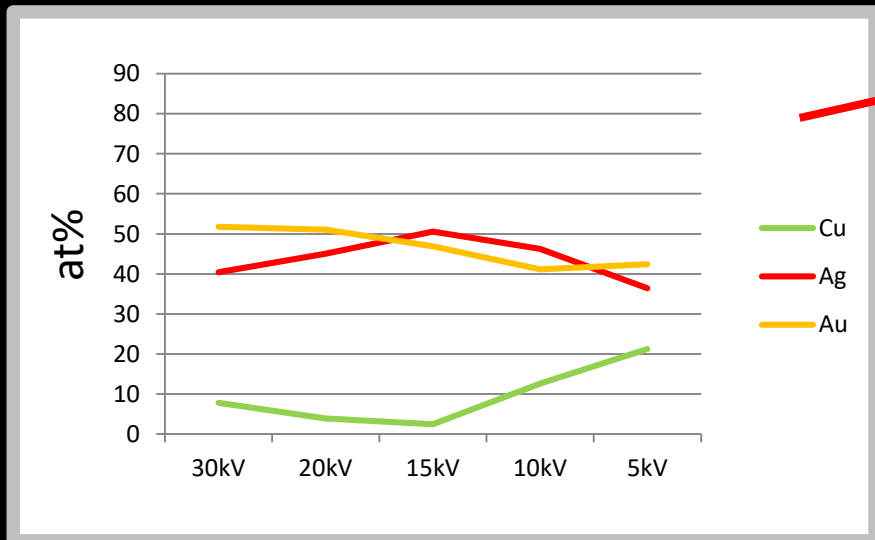
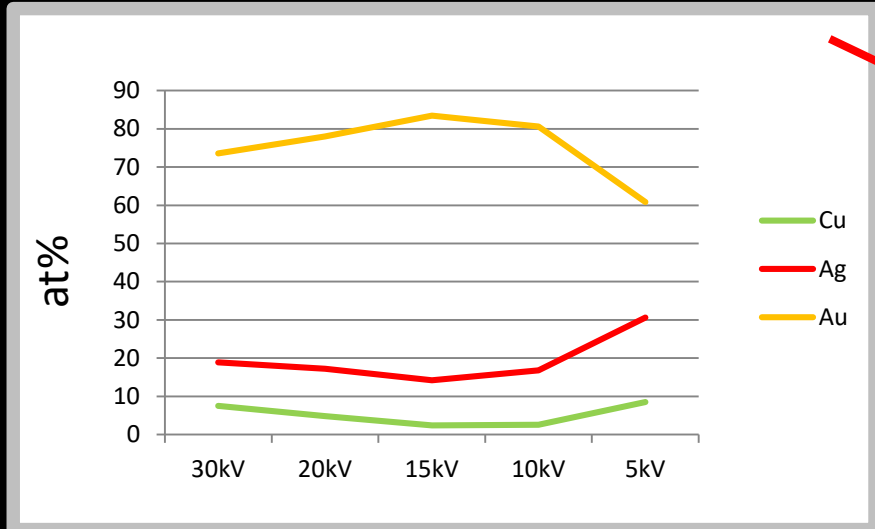
## FELÜLETI EPMA



$\text{Cu/Ag} = 0.05 \text{---} 0.58$

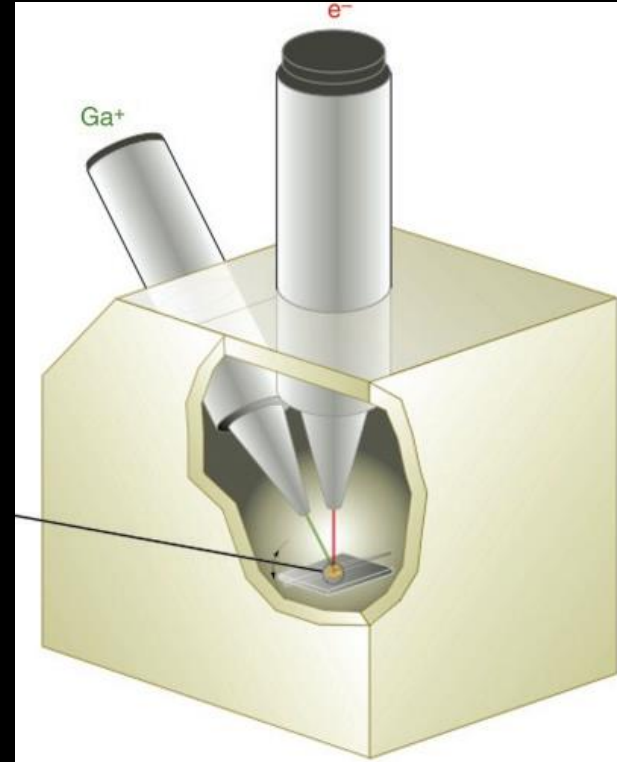
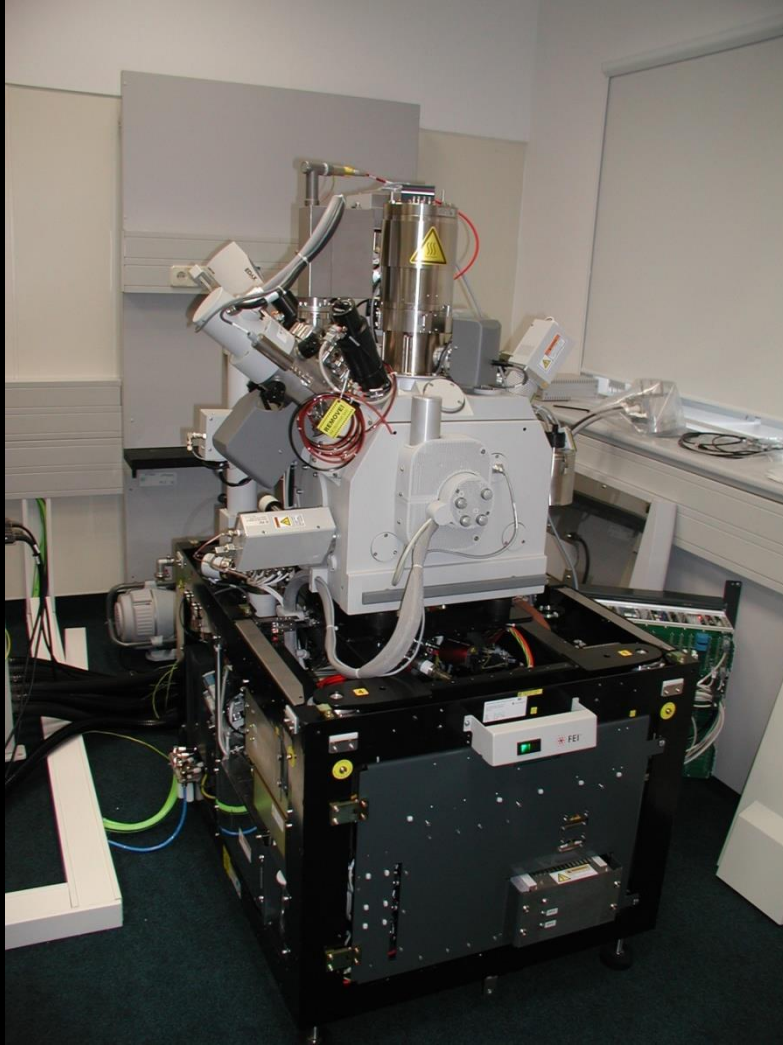
# ELSŐ VIZSGÁLATOK

## FELÜLETI EPMA

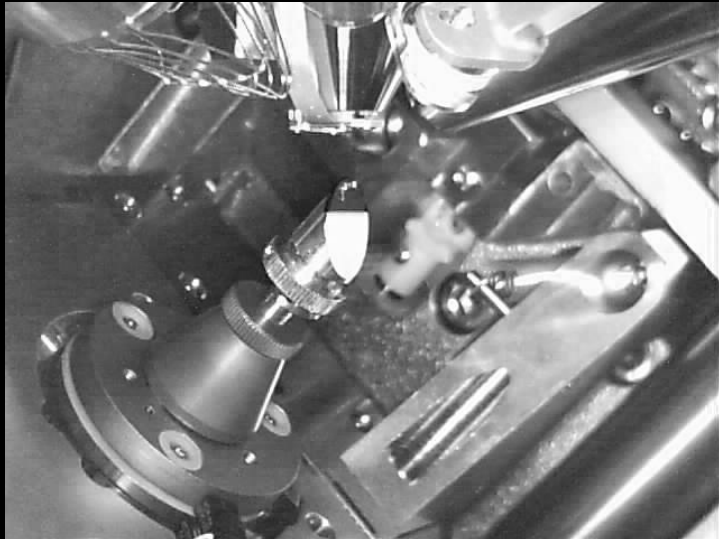


$Cu/Ag=0.05—0.58$

# AZ ÚJ MÓDSZER: ELEKTRONSUGARAS MIKROELEMZÉSSEL KOMBINÁLT FIB/SEM ANALÍZIS

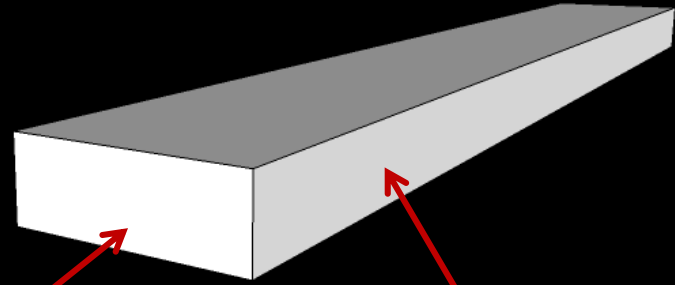


# A MÓDSZER



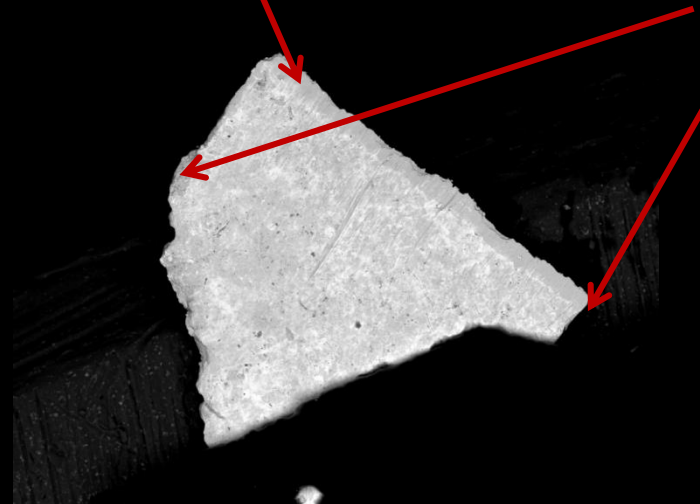
4/13/2011 11:25:23 AM det IR x: 1.2990 mm tilt y: -5.0579 mm 45 °

mintaelőkészítés:  
mm –  $\mu\text{m}$



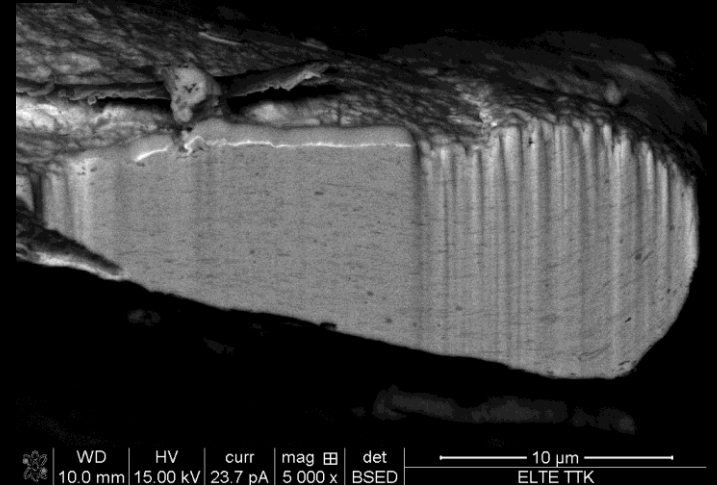
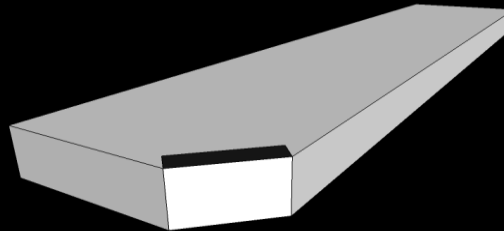
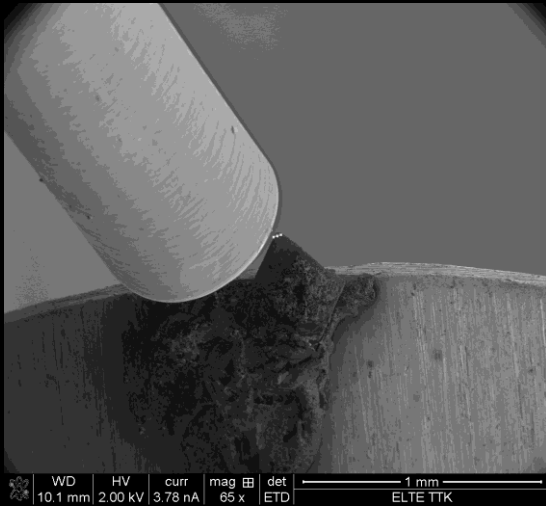
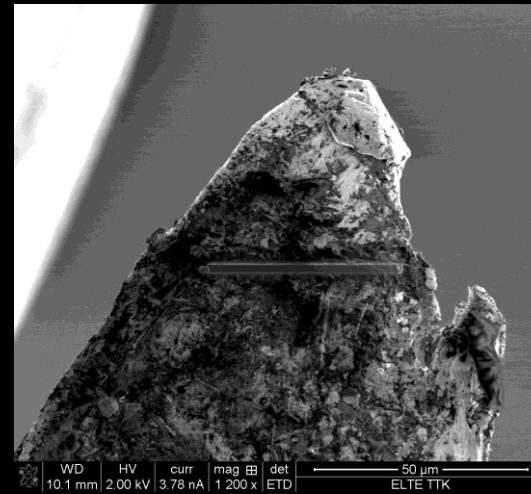
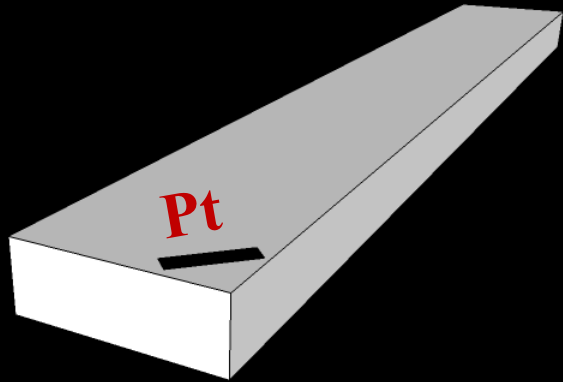
új, a  
mintaelőkészítés  
során kialakult  
él

eredeti, a 15.  
századi  
aranyműves  
vágta él



HV: 20.0 kV DET: BSE  
Satellite ©Tescan DATE: 07/27/11 100  $\mu\text{m}$

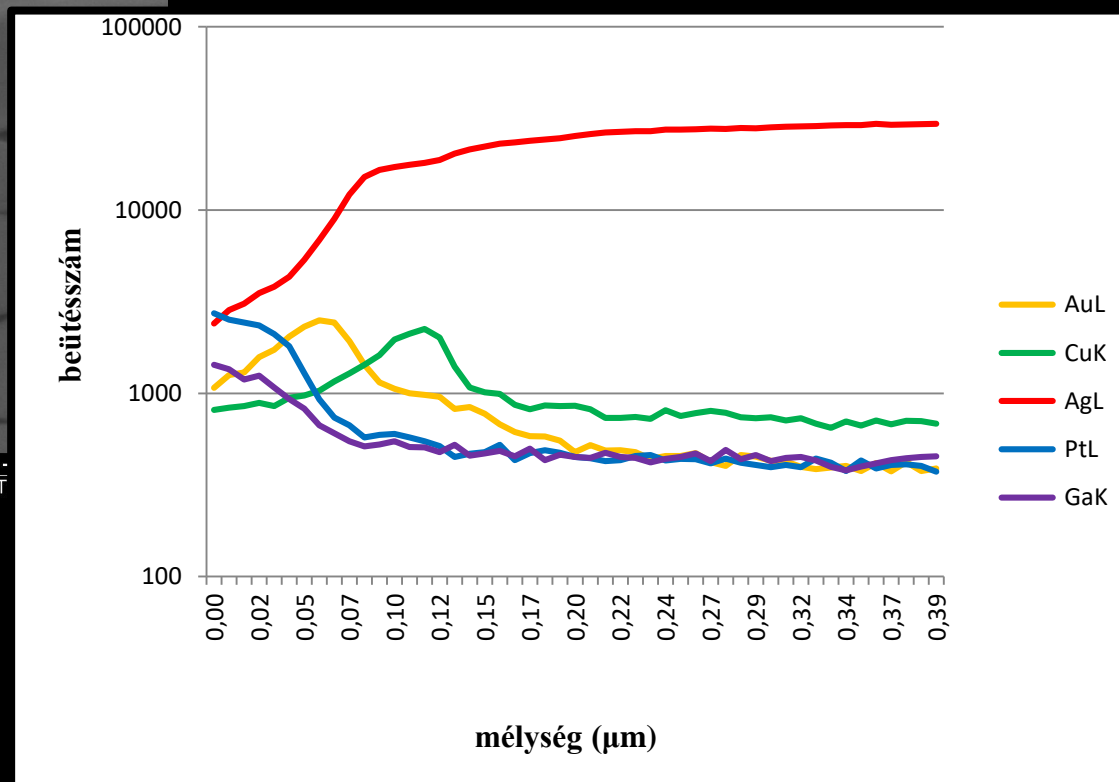
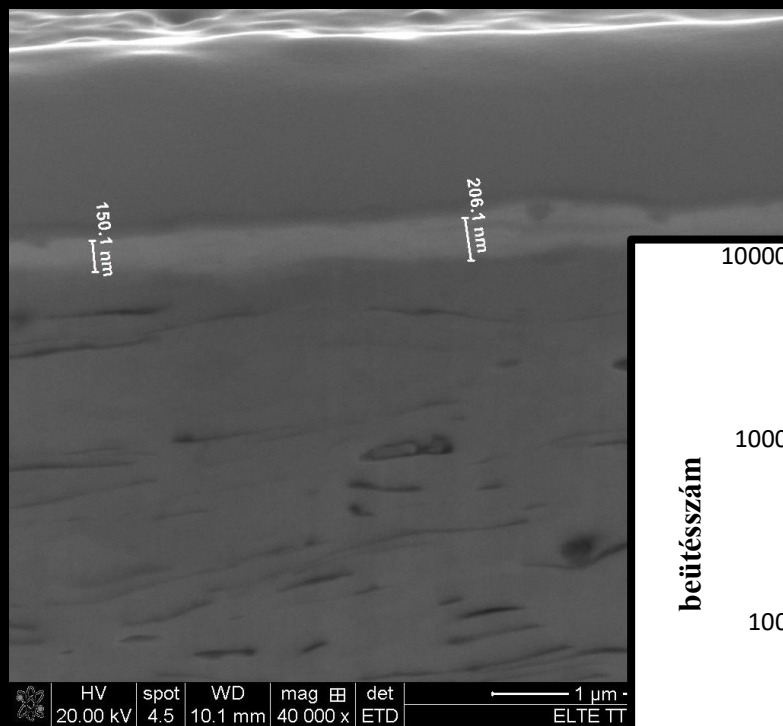
# A MÓDSZER



mintaelőkészítés:  $\mu\text{m}$  –  $\text{nm}$   
Pt-lerakás, ionmegmunkálás

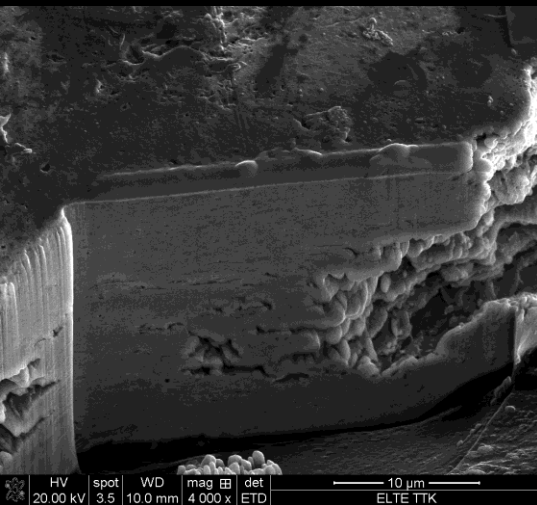
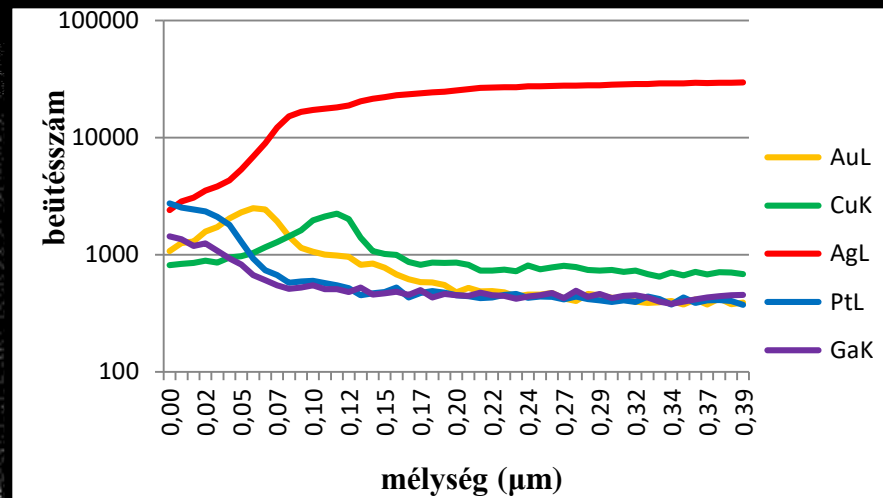
# ELSŐ VIZSGÁLATOK

## KERESZTMETSZETI EPMA



# ELSŐ VIZSGÁLATOK

## KERESZTMETSZETI EPMA

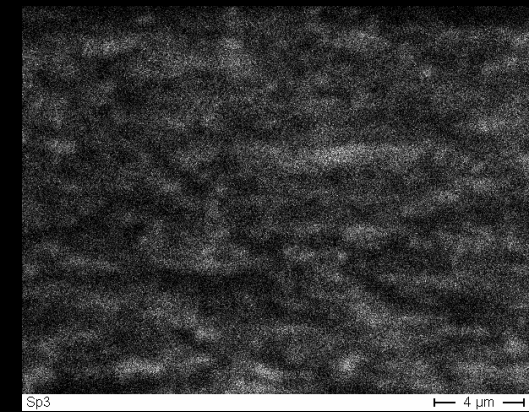
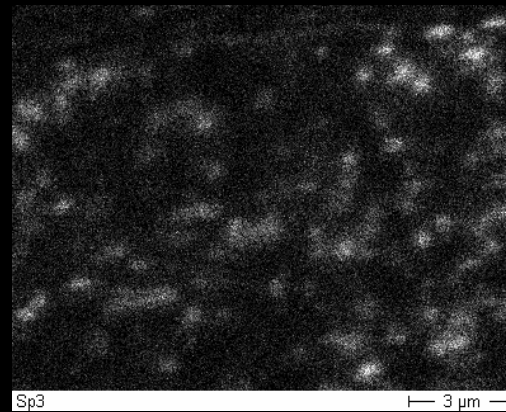
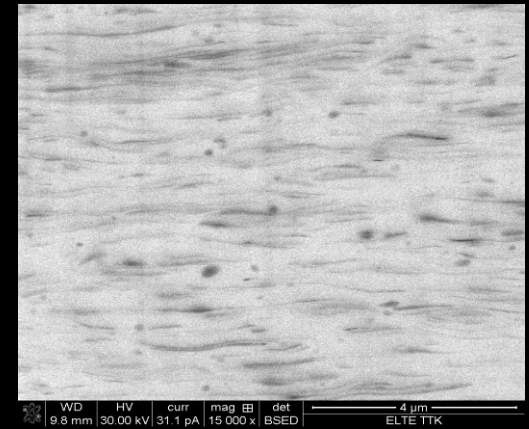
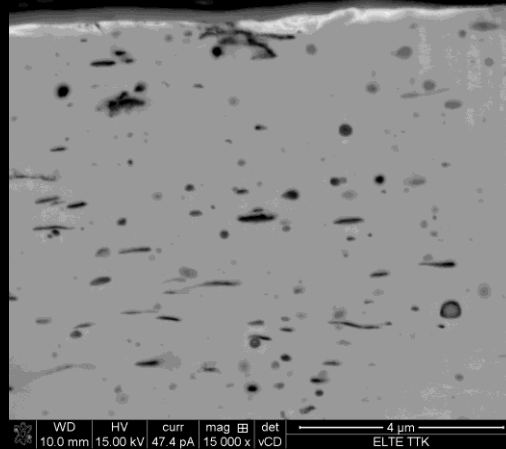
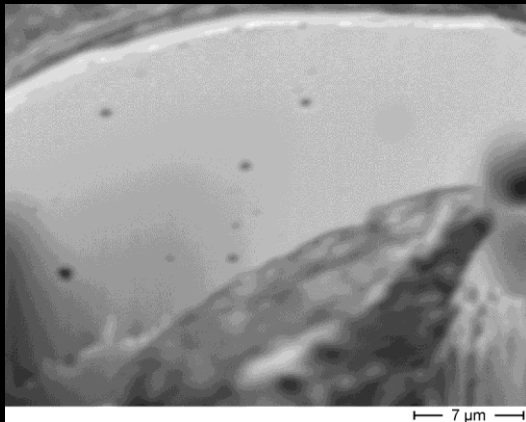


Sp3

8 µm

# EREDMÉNYEK az ezüst alapfém 1

*finom textúra/fémötvözés*



Cu

	wt%	at%
<b>Cu</b>	<b>1,11</b>	1,86
Ag	98,89	98,14

2x2 µm<sup>2</sup>

	wt%	at%
<b>Cu</b>	<b>4,65</b>	7,64
Ag	95,35	92,36

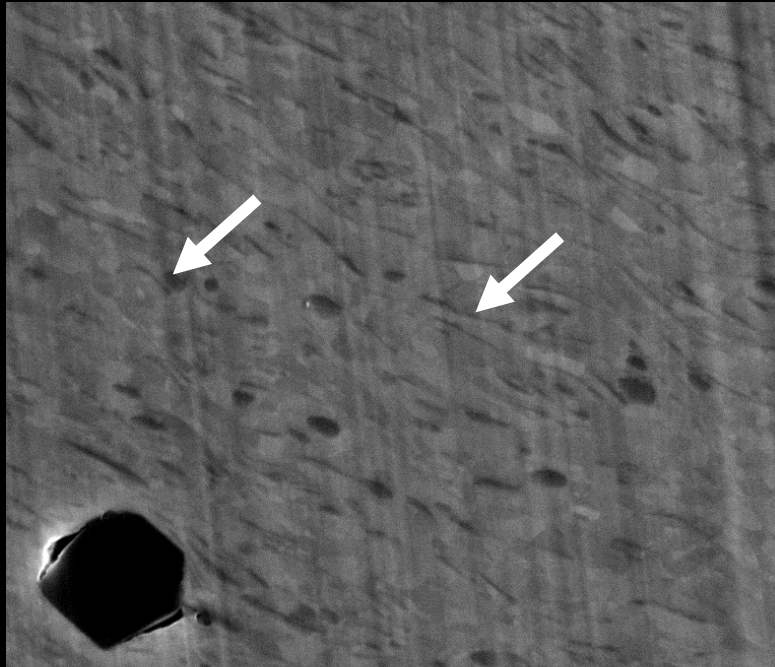
térképezett terület

	wt%	at%
<b>Cu</b>	<b>9,23</b>	14,73
Ag	90,77	85,27

térképezett terület

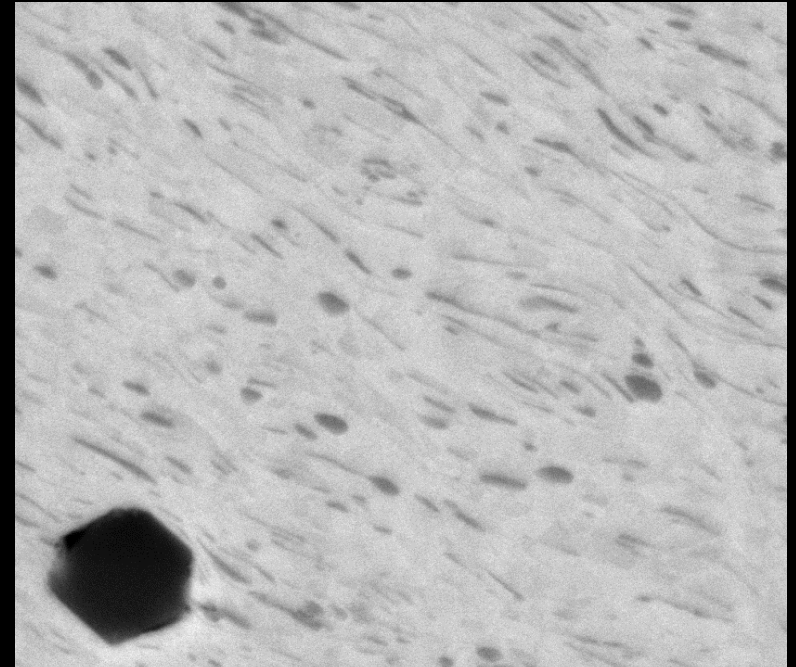
# EREDMÉNYEK az ezüst alapfém 1

*finom textúra/fémötvözés*



WD	HV	curr	mag	det	
10.0 mm	15.00 kV	23.7 pA	25 000 x	ETD	

2 μm  
ELTE TTK



WD	HV	curr	mag	det	
10.0 mm	15.00 kV	23.7 pA	25 000 x	BSED	

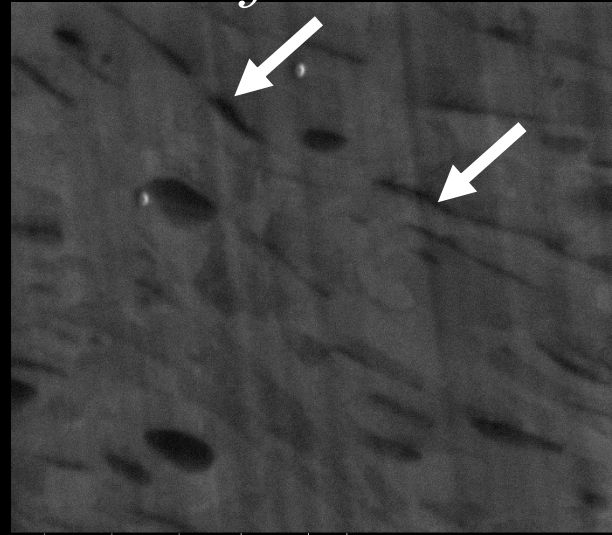
2 μm  
ELTE TTK

# EREDMÉNYEK az ezüst alapfém 1

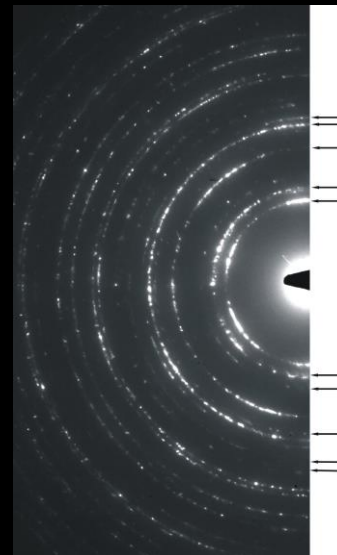
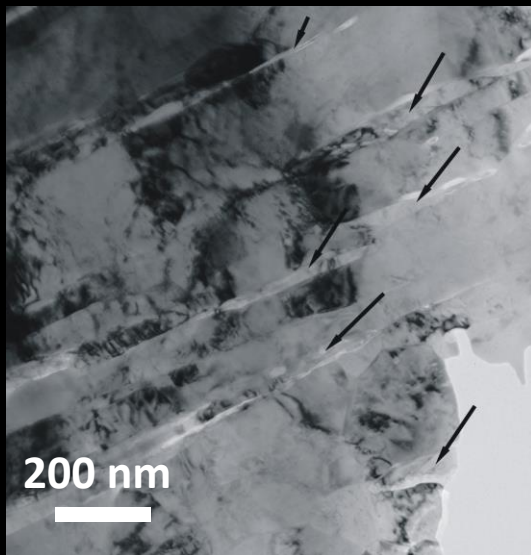
*finom textúra/fémötvözés*



WD 10.0 mm HV 15.00 kV curr 23.7 pA mag 25 000 x det ETD  
2 µm  
ELTE TTK



WD 10.0 mm HV 15.00 kV curr 23.7 pA mag 65 000 x det ETD  
1 µm  
ELTE TTK

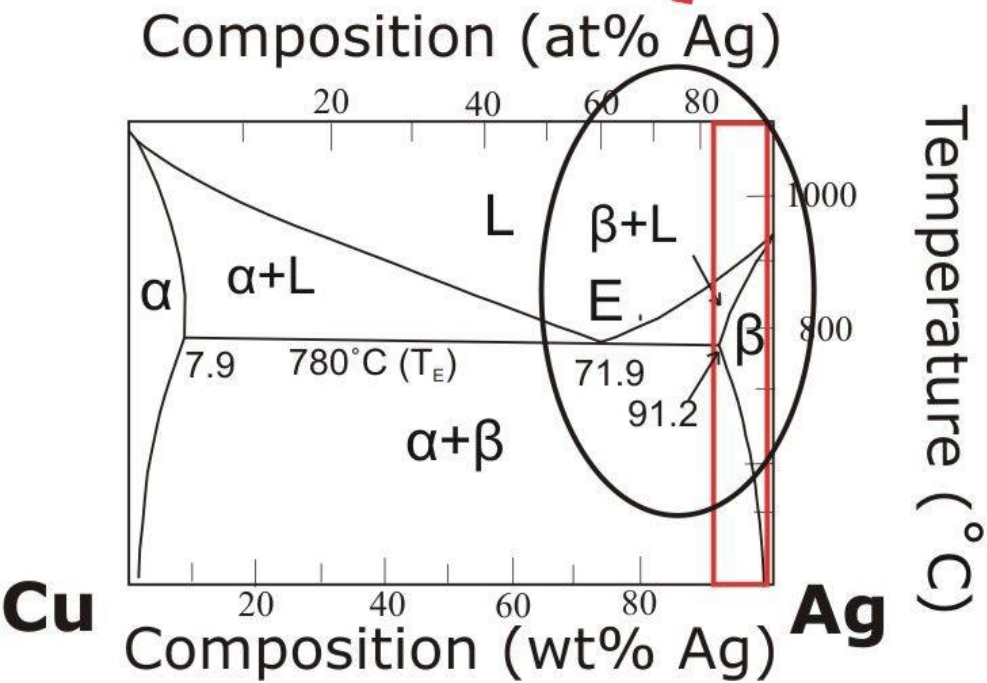


Ag

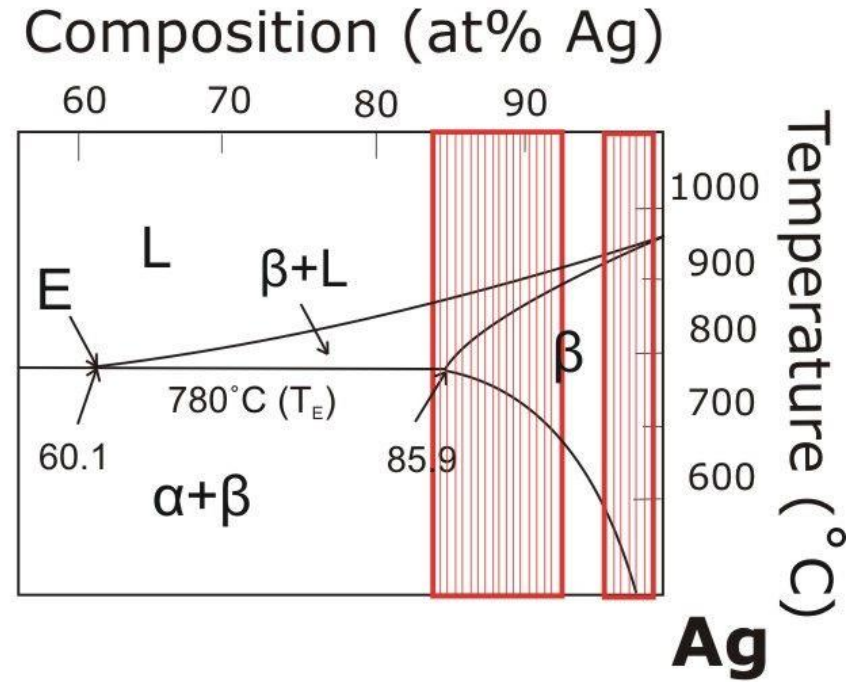
Cu

# EREDMÉNYEK az ezüst alapfém 1 *finom textúra/fémötvözés*

**A**

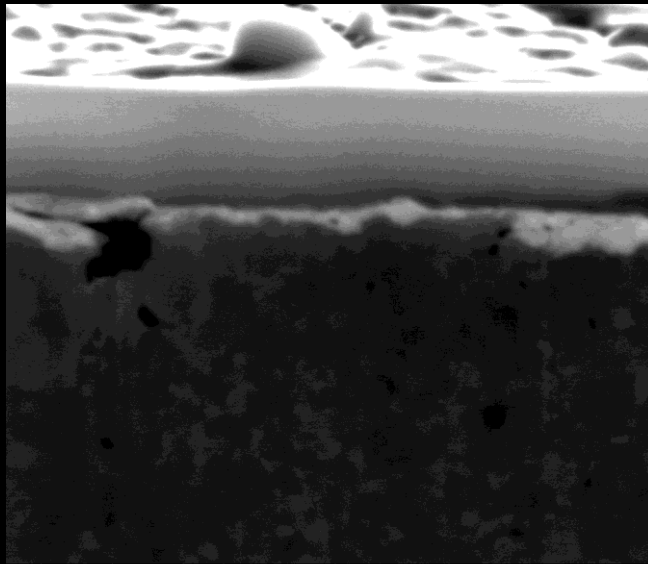


**B**

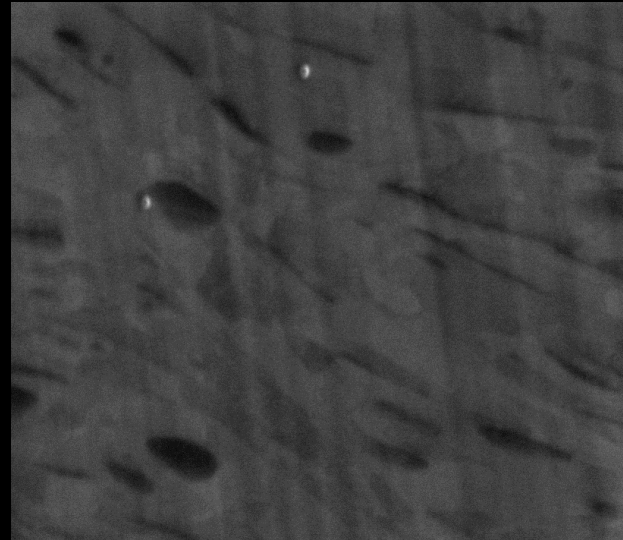


# EREDMÉNYEK az ezüst alapfém 2

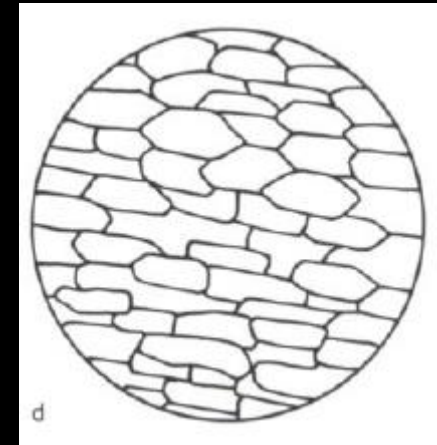
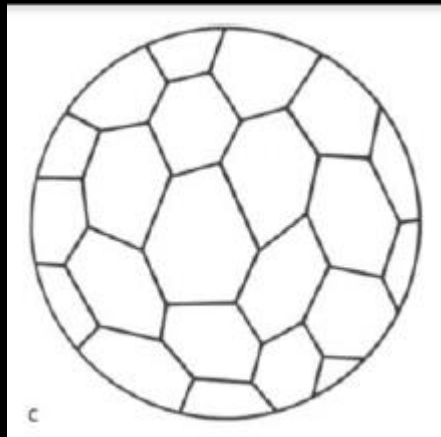
*finom textúra/fémmegmunkálás*



HV 20.00 kV | WD 10.0 mm | spot 7.0 | mag 40 000 x | det ETD | 1 µm | ELTE TTK

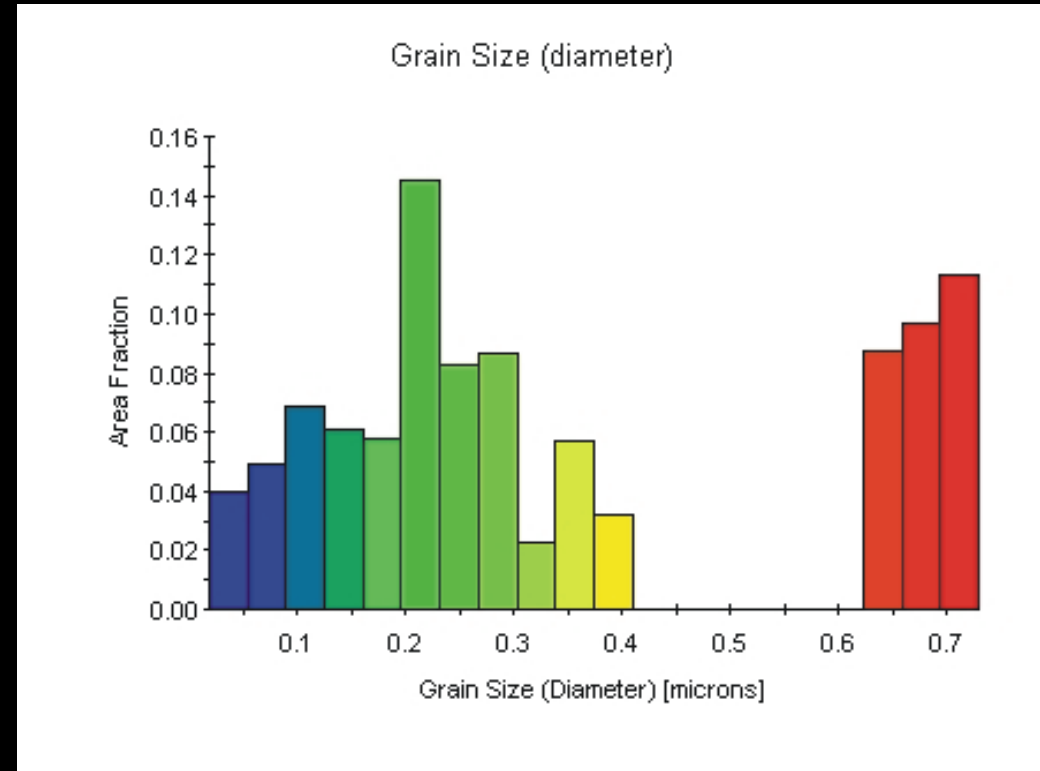
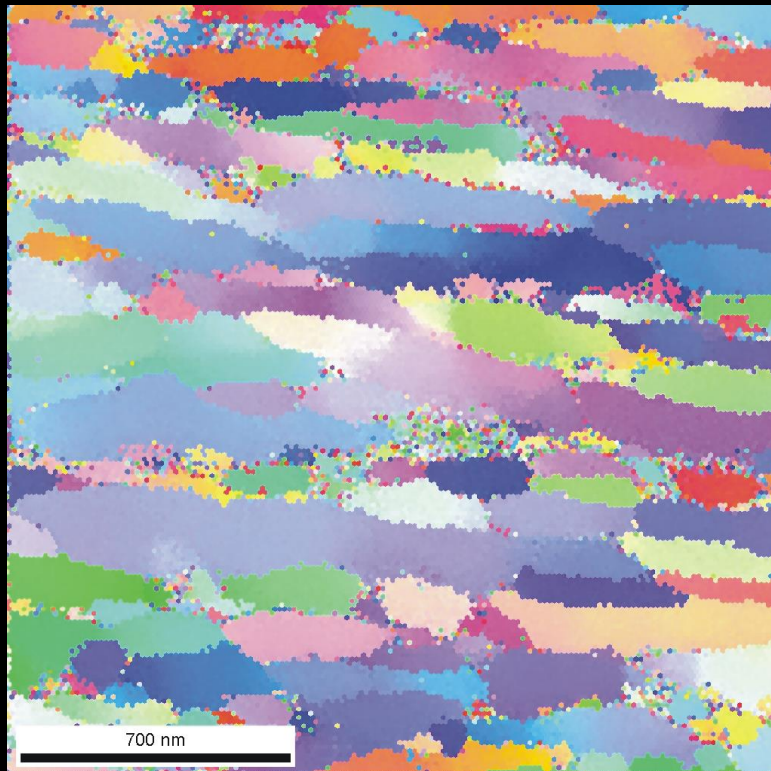


WD 10.0 mm | HV 15.00 kV | curr 23.7 pA | mag 65 000 x | det ETD | 1 µm | ELTE TTK



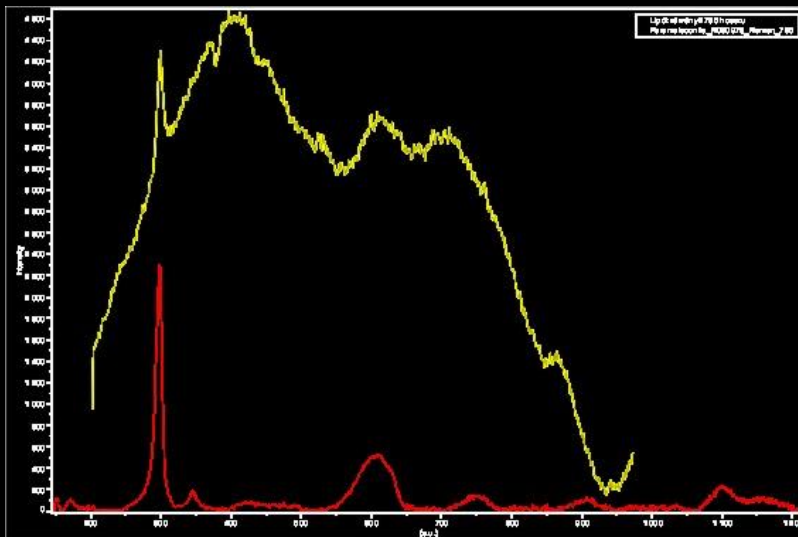
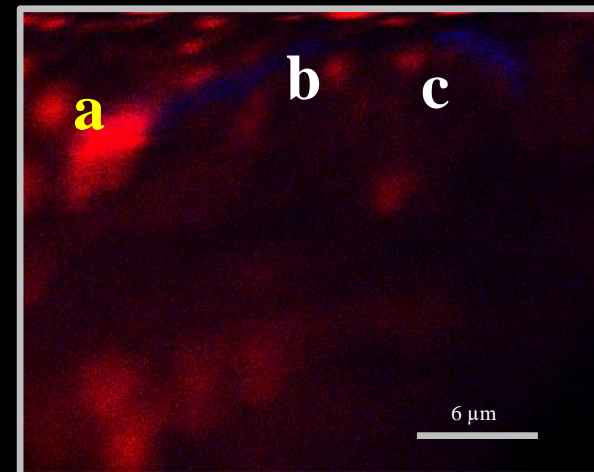
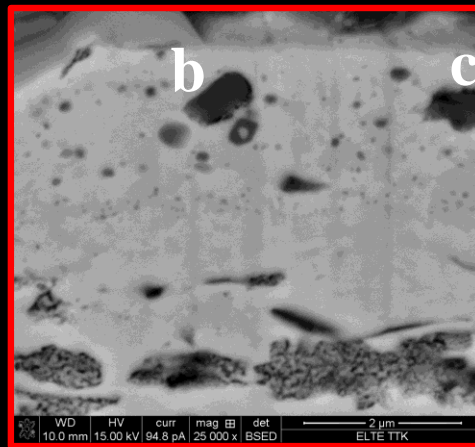
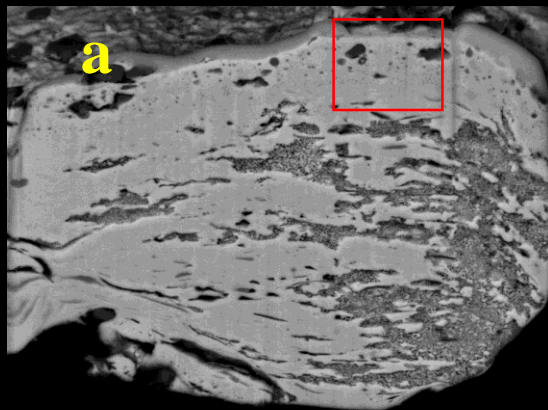
# EREDMÉNYEK az ezüst alapfém 2

## *finom textúra/fémmegmunkálás*



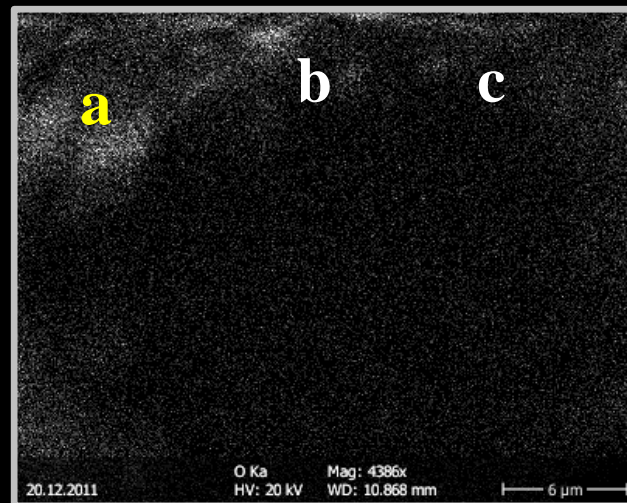
# EREDMÉNYEK az ezüst alapfém 3

*finom textúra/ércfeldolgozás*



**a, paramelakonit ( $\text{Cu}_4\text{O}_3$ )**

(RRUFF: R060978)



O

Pt Cu

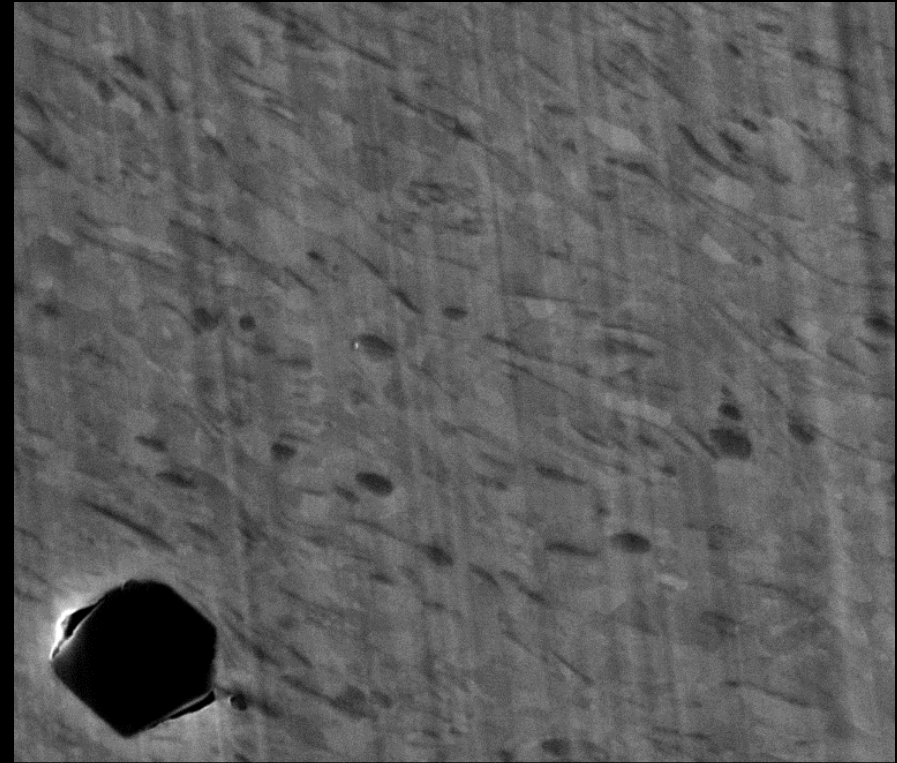
# EREDMÉNYEK az ezüst alapfém 3


*finom textúra/ércfeldolgozás*



	WD	HV	curr	mag	det
10.0 mm	15.00 kV	23.7 pA	3 250 x	BSED	

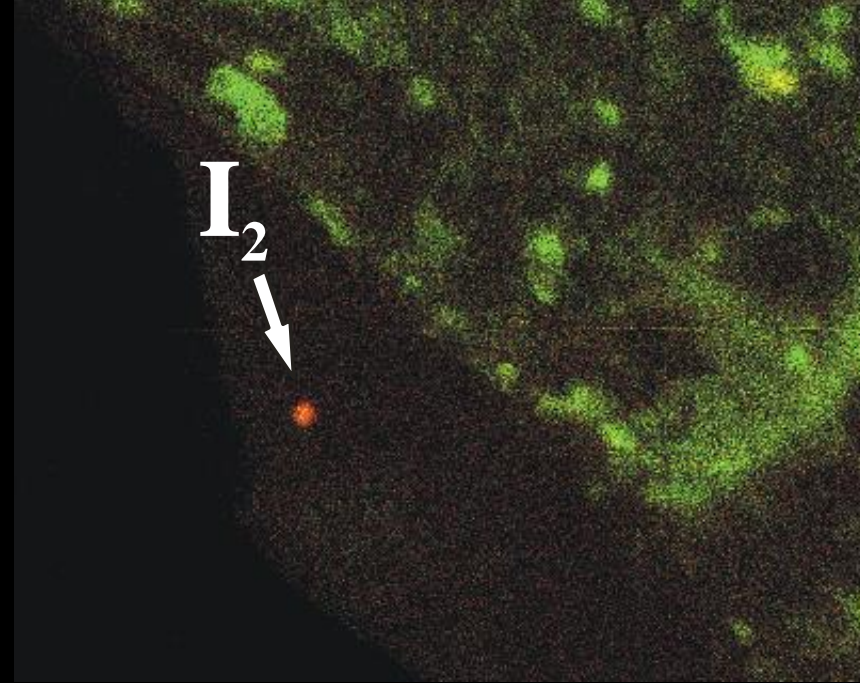
10  $\mu$ m  
ELTE TTK



	WD	HV	curr	mag	det
10.0 mm	15.00 kV	23.7 pA	25 000 x	ETD	

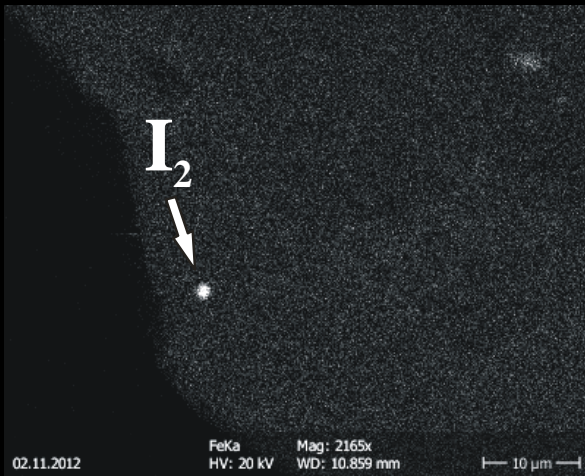
2  $\mu$ m  
ELTE TTK

# EREDMÉNYEK az ezüst alapfém 3 *finom textúra/ércfeldolgozás*

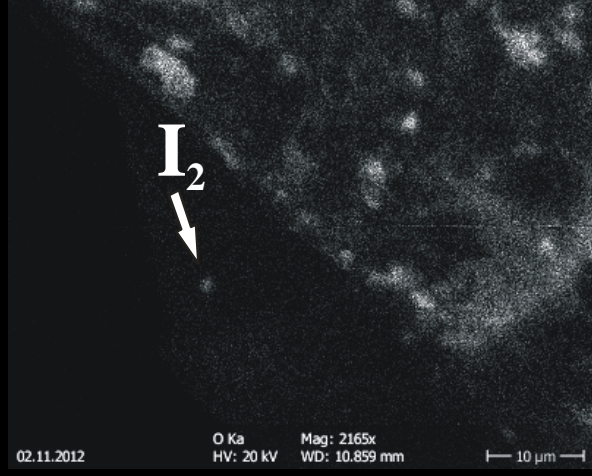


**Fe, Cu**

WD 10.0 mm HV 15.00 kV curr 23.7 pA mag 3 250 x det BSED  
10 µm  
ELTE TTK



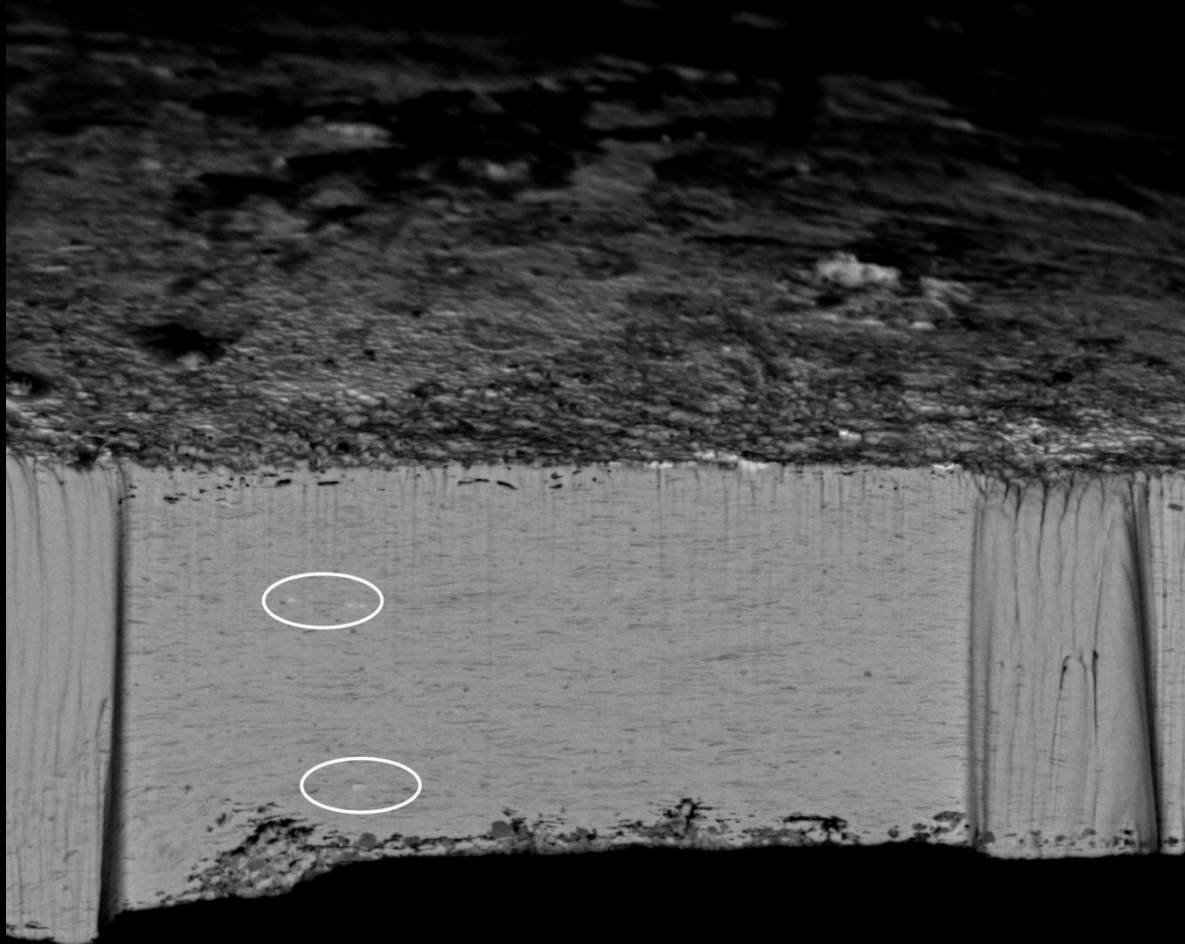
**Fe**



**O**

# EREDMÉNYEK az ezüst alapfém 3

*finom textúra/ércfeldolgozás*



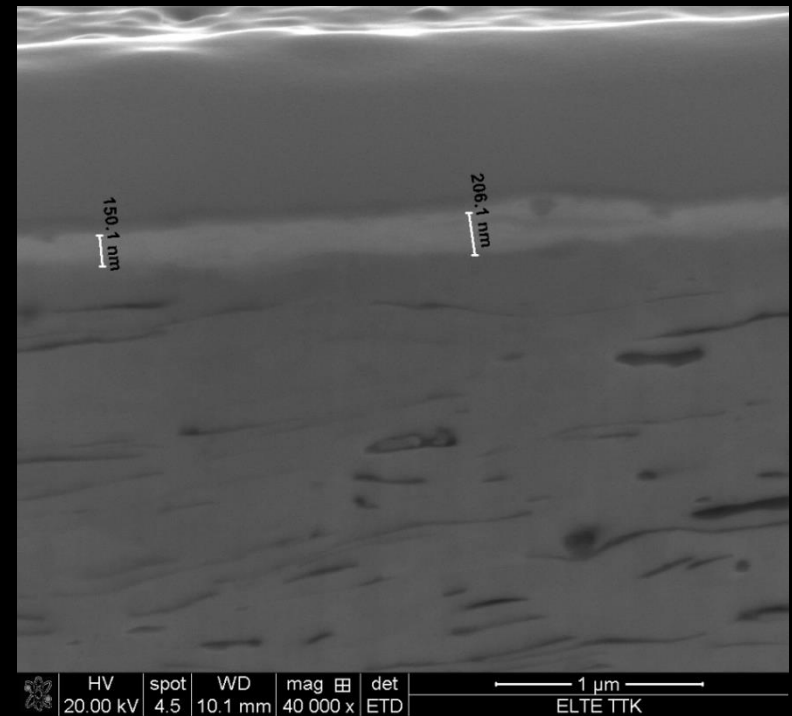
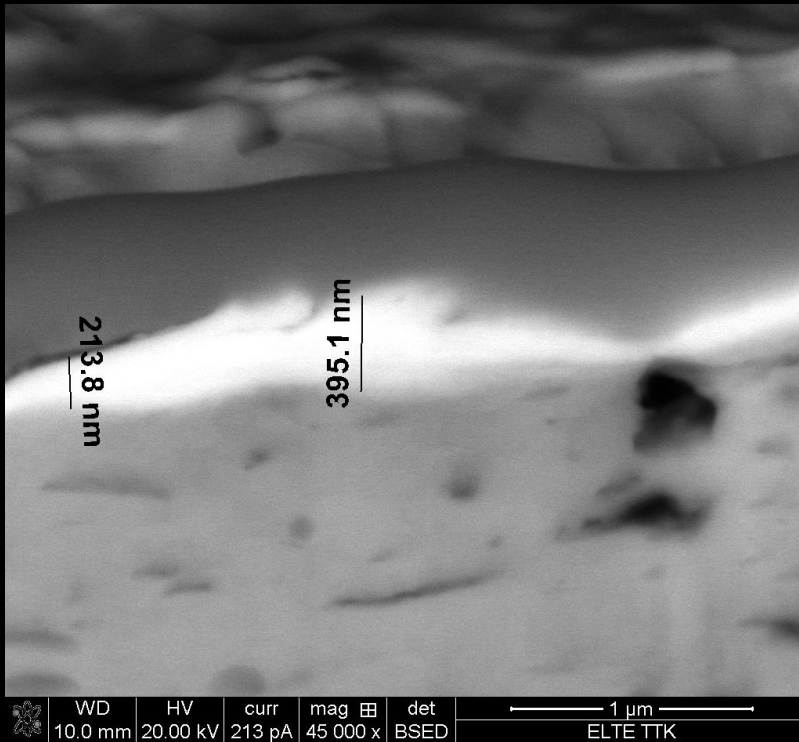
WD	HV	curr	mag	det
10.0 mm	15.00 kV	47.4 pA	2 500 x	BSED

20  $\mu$ m  
ELTE TTK

# EREDMÉNYEK az aranyréteg1

*finom textúra/aranyozás*

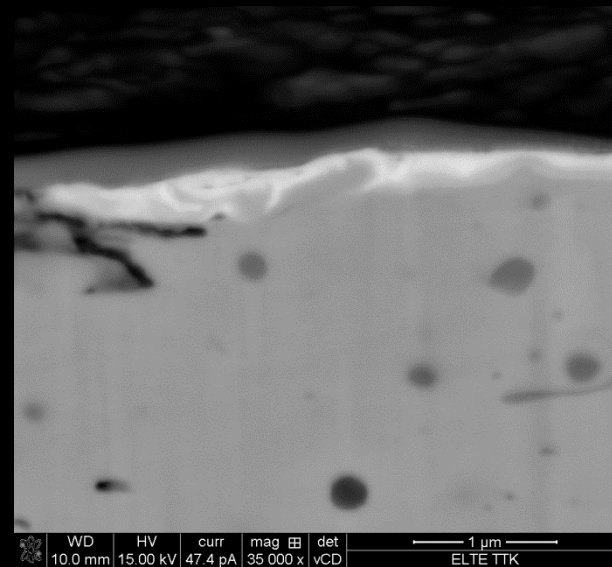
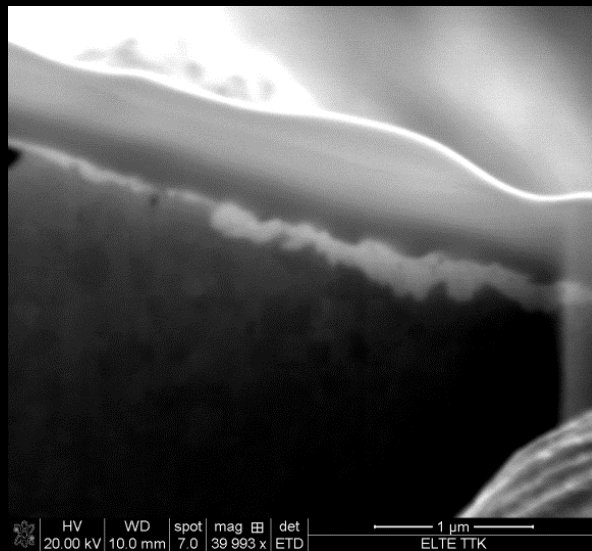
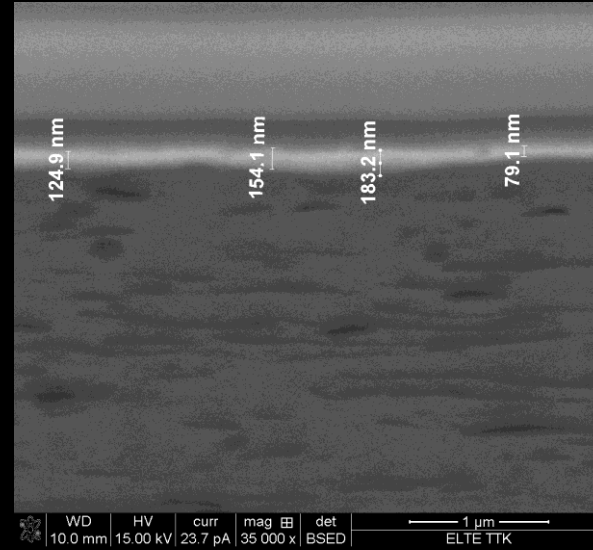
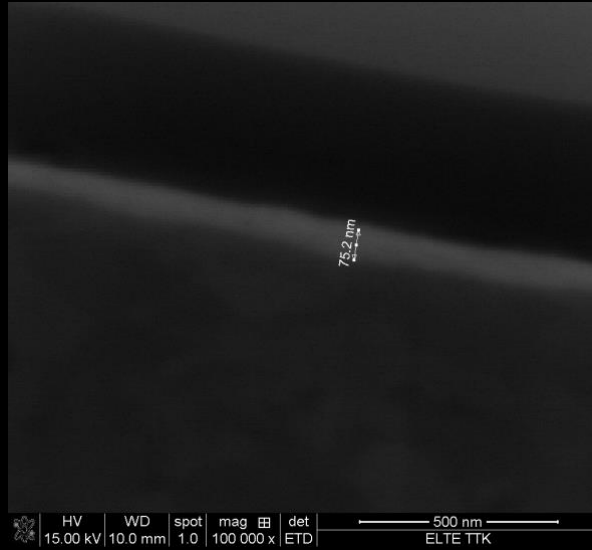
*vastagság*



# EREDMÉNYEK az aranyréteg 2

*arany/ezüst határvonal*

*finom textúra/aranyozás*



# EREDMÉNYEK az aranyréteg 3

*higany*

*finom textúra/aranyozás*

WDX

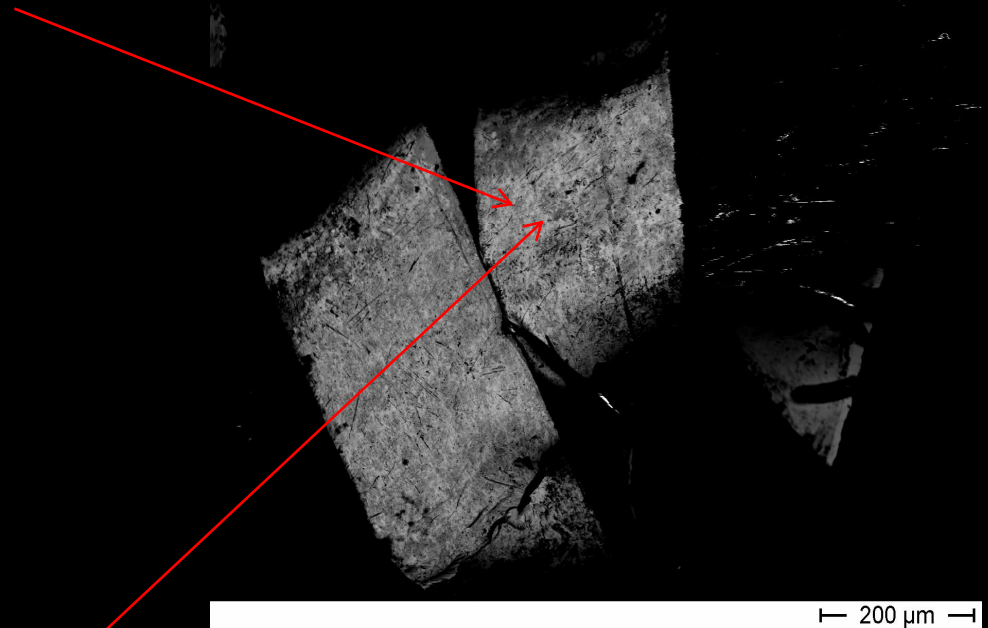
**világos**

	wt%	at%
Cu	3,32	8,07
Ag	25,67	36,72
Au	69,3	54,17
<b>Hg</b>	<b>1,35</b>	<b>1,04</b>
total	99,47	

WDX

**sötét**

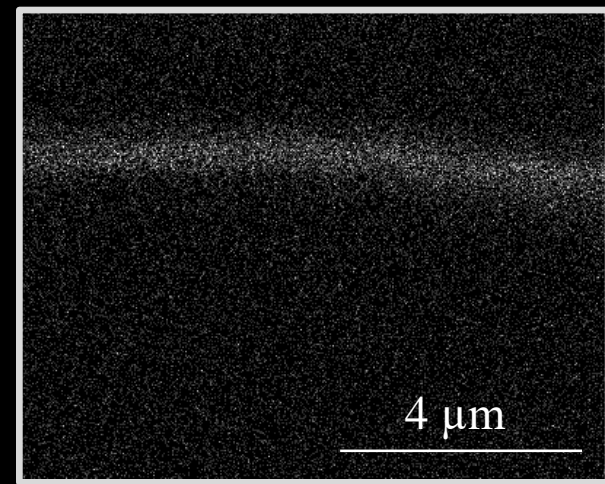
	wt%	at%
Cu	3,6	5,64
Ag	83,93	88,17
Au	10,60	6,10
<b>Hg</b>	<b>0,17</b>	<b>0,10</b>
total	97,86	



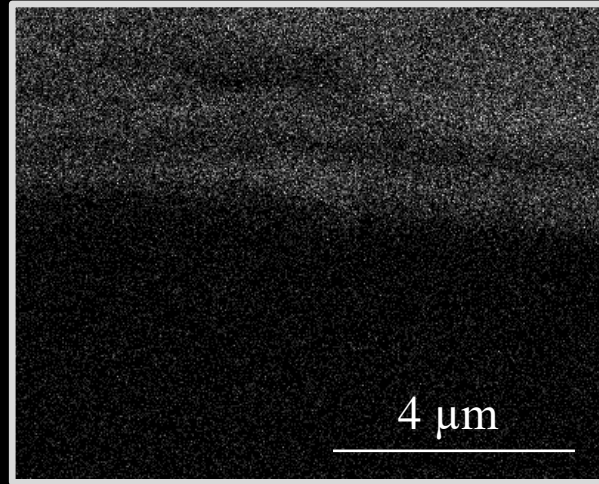
# EREDMÉNYEK az ezüst alapfém 4

*higany*

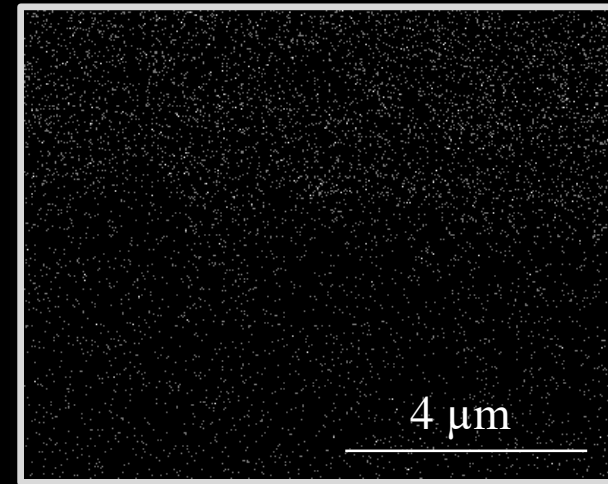
*finom textúra/aranyozás*



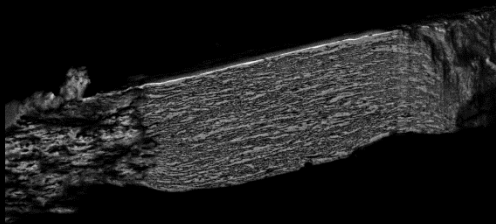
Pt



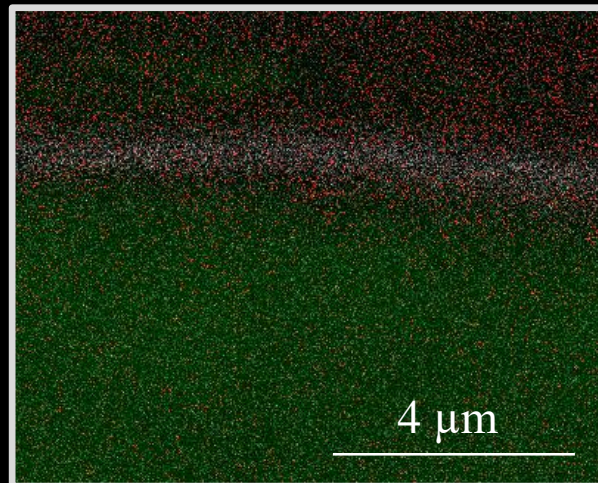
Au



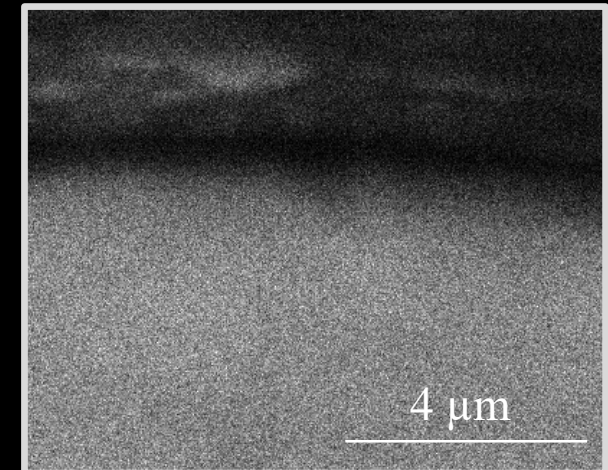
Hg



WD 10.0 mm | HV 15.00 kV | curr 23.7 pA | mag 3.250 x | det BSED | ELTE TTK



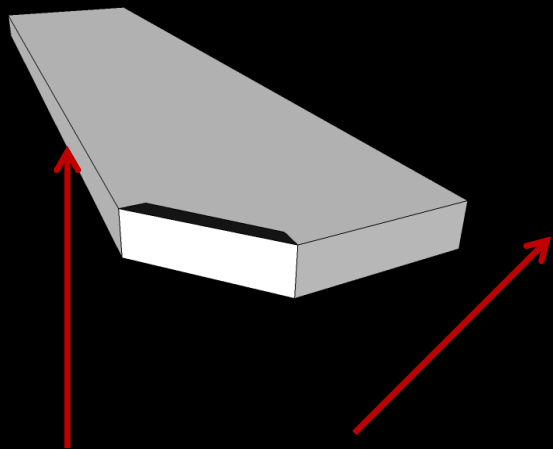
Hg Ag Pt



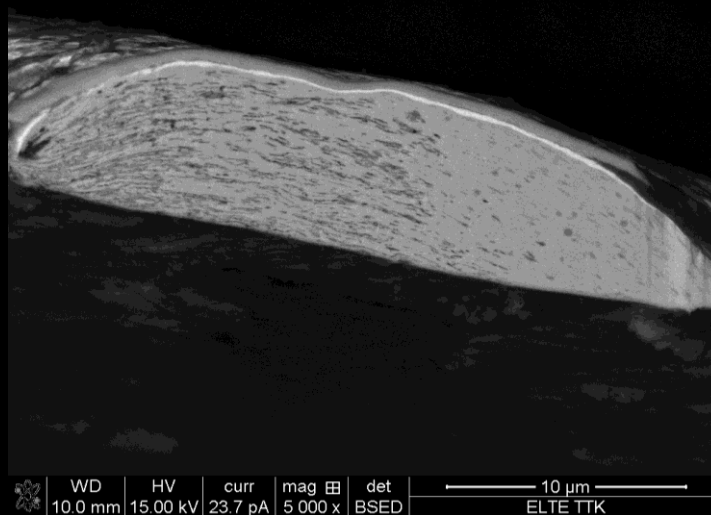
Ag

# EREDMÉNYEK az ezüst alapfém 5

## *korrózió*



eredeti, a 15.  
századi  
aranyműves  
vágta él



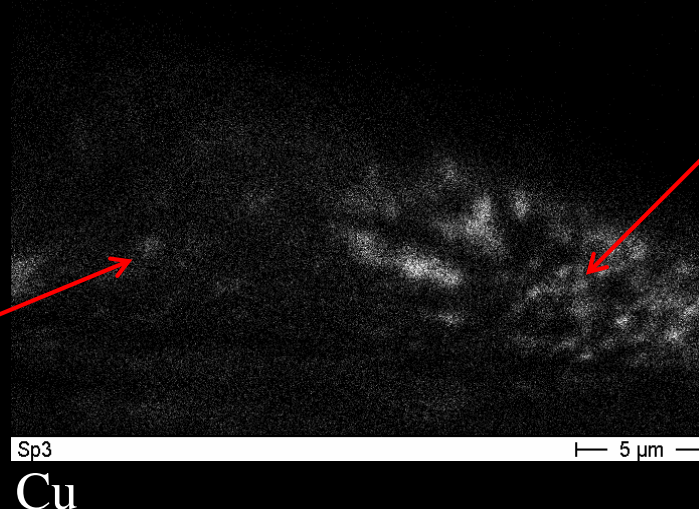
új, a  
mintaelőkészítés  
során kialakult  
él

	wt%	at%
<b>Cu</b>	1,33	2,25
<b>Ag</b>	98,67	97,75

2x2 μm<sup>2</sup> terület

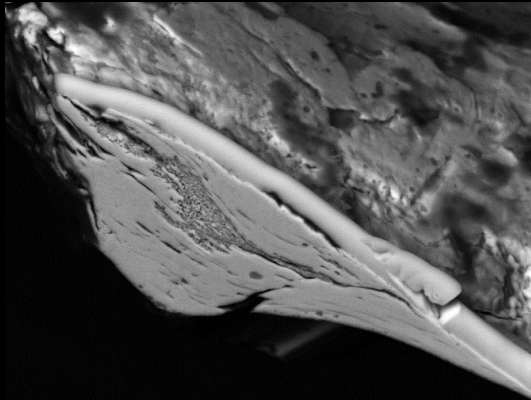
	wt%	at%
<b>Cu</b>	5,6	9,15
<b>Ag</b>	94,4	90,85

2x2 μm<sup>2</sup> terület

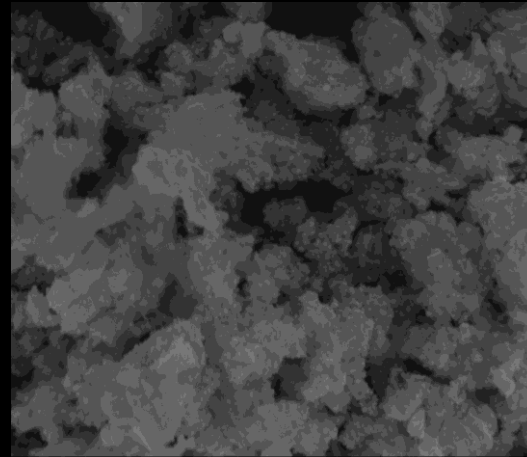


# EREDMÉNYEK az ezüst alapfém 5

*korrózió*

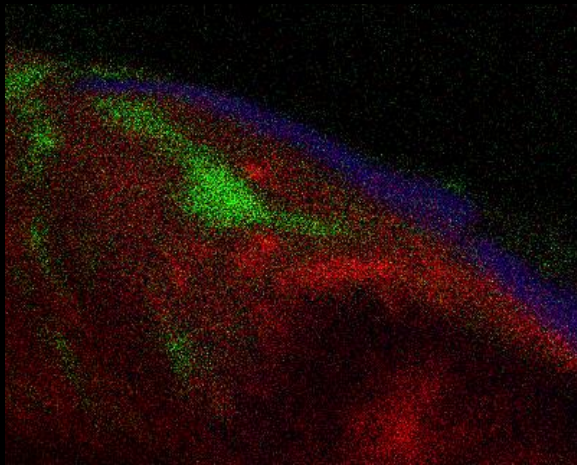


WD 10.0 mm HV 15.00 kV curr 94.8 pA mag 6 500 X det BSED  
5 μm  
ELTE TTK



12/10/2010 HV 15.00 kV curr 5.92 pA det ETD WD 10.1 mm  
11:30:03 AM 3 μm  
ELTE TTK

ezüst-klorid



Pt Cu Cl

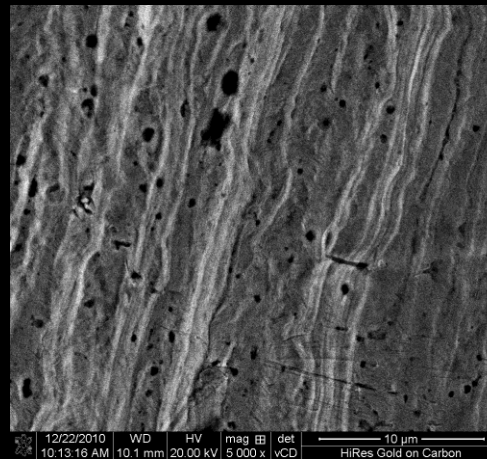
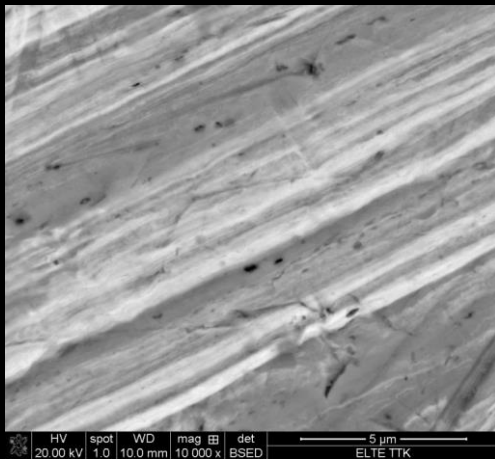
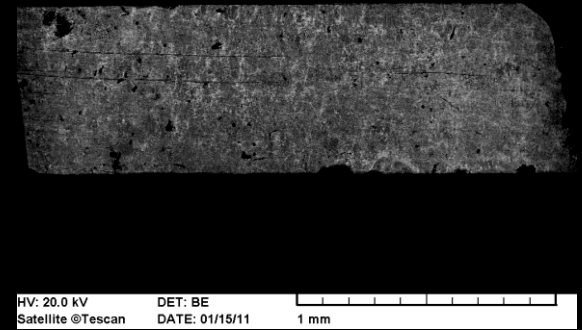
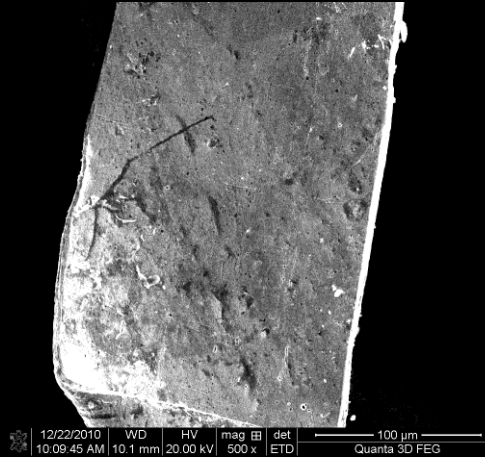
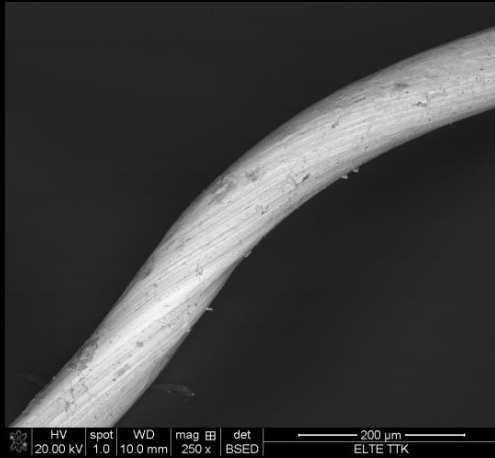


WD 10.0 mm HV 15.00 kV curr 23.7 pA mag 35 000 X det BSED  
1 μm  
ELTE TTK

ezüstsulfid

# EREDMÉNYEK az aranyréteg 1

## *folytonosság/fémmegmunkálás*



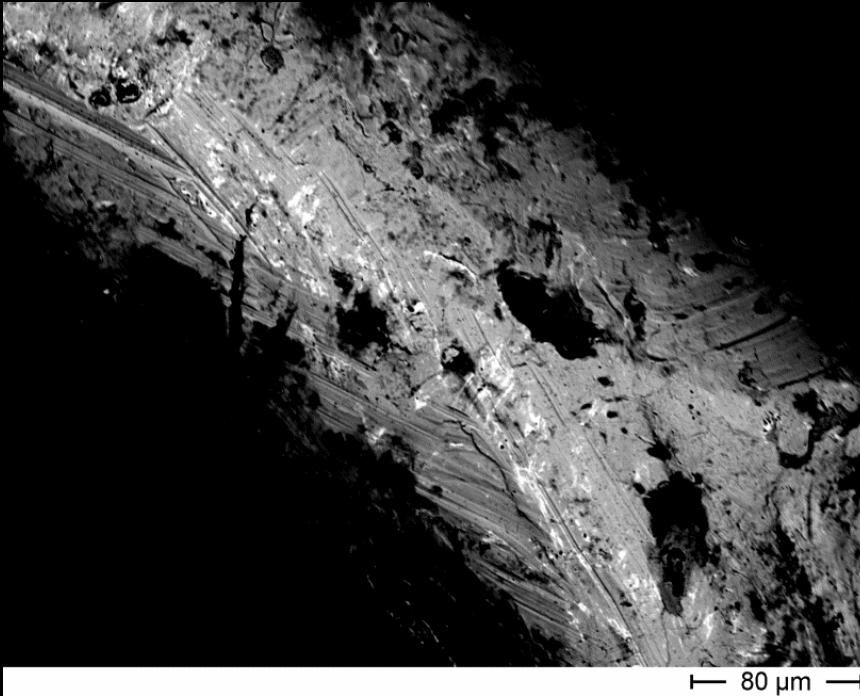
aranyozott ezüstdrót

két oldalon aranyozott  
(aranyozott ezüstdrótból  
hengerelt) szalag

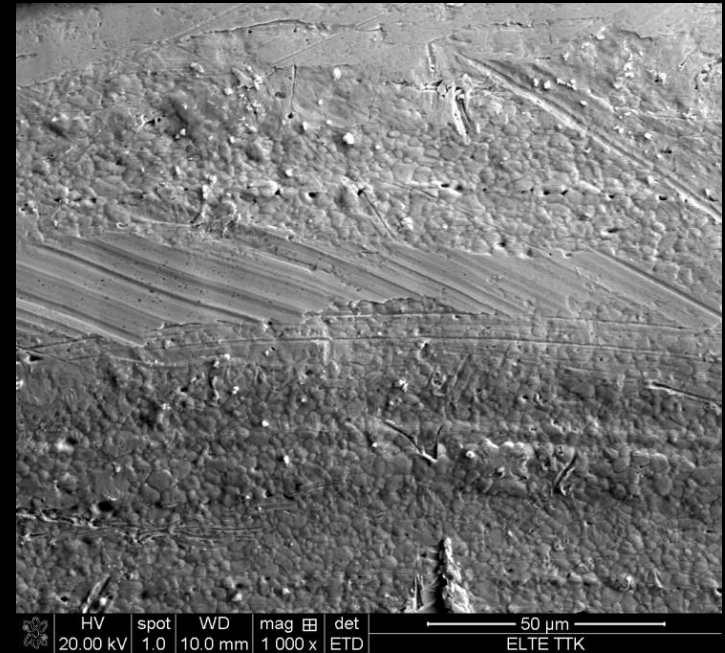
egy oldalon aranyozott  
ezüstszalag

# EREDMÉNYEK az aranyréteg 1

*folytonosság/fémmegmunkálás*



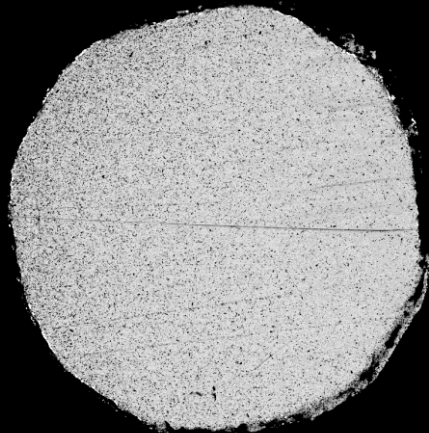
aranyozott(?) ezüstdrót



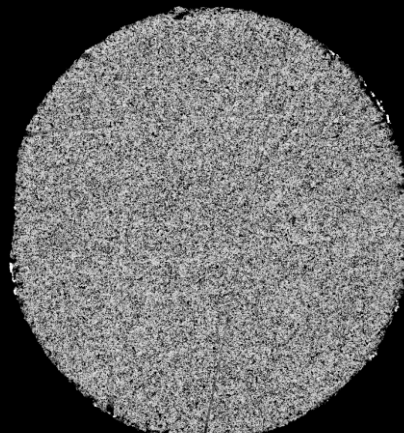


# EREDMÉNYEK az aranyréteg 1

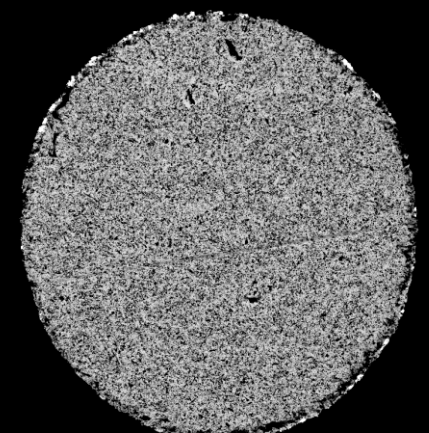
*folytonosság/fémmegmunkálás*



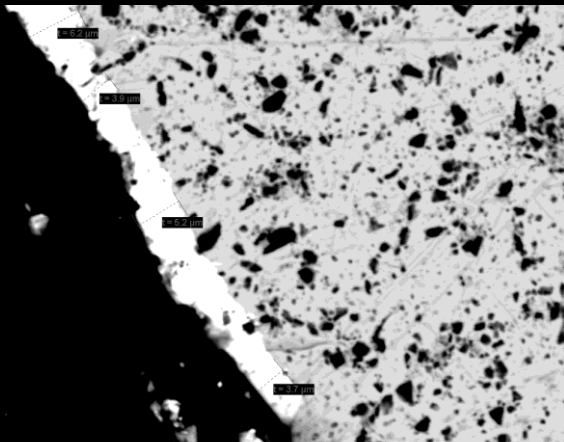
HV: 20.0 kV DET: BE  
Satellite @Tescan DATE: 05/13/11 500  $\mu$ m



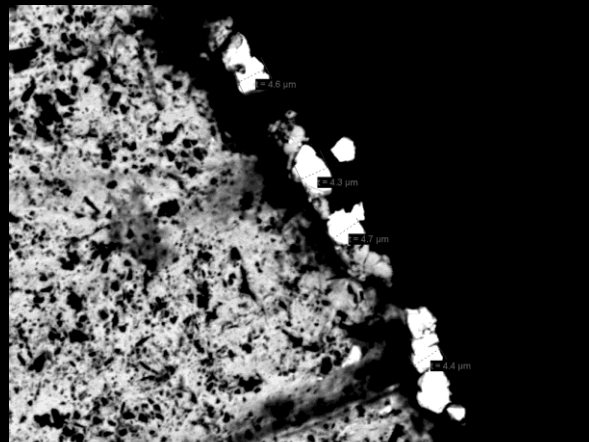
HV: 20.0 kV DET: BE  
Satellite @Tescan DATE: 05/13/11 500  $\mu$ m



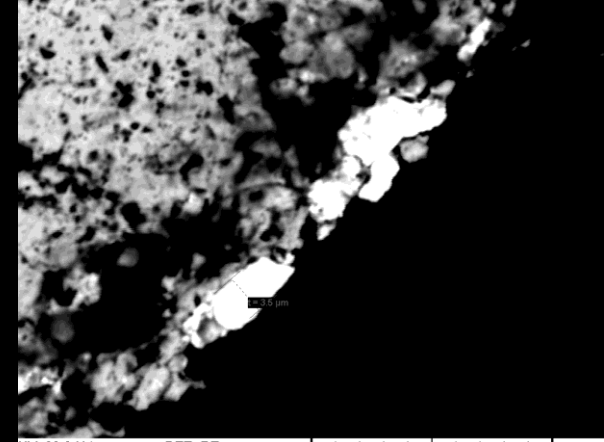
HV: 20.0 kV DET: BE  
Satellite @Tescan DATE: 05/13/11 200  $\mu$ m



HV: 20.0 kV DET: BE  
Satellite @Tescan DATE: 05/13/11 20  $\mu$ m



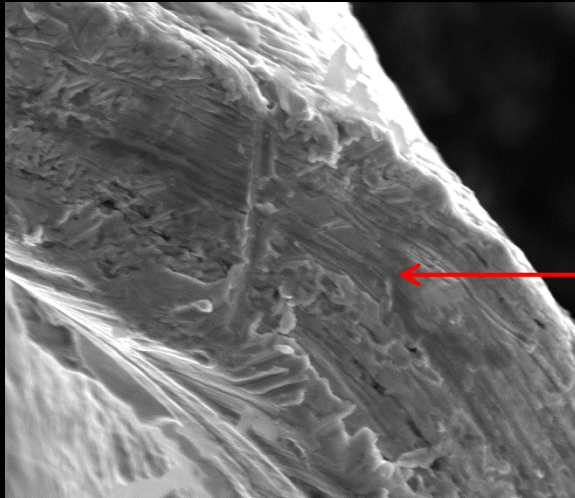
HV: 20.0 kV DET: BE  
Satellite @Tescan DATE: 05/13/11 20  $\mu$ m



HV: 20.0 kV DET: BE  
Satellite @Tescan DATE: 05/13/11 20  $\mu$ m

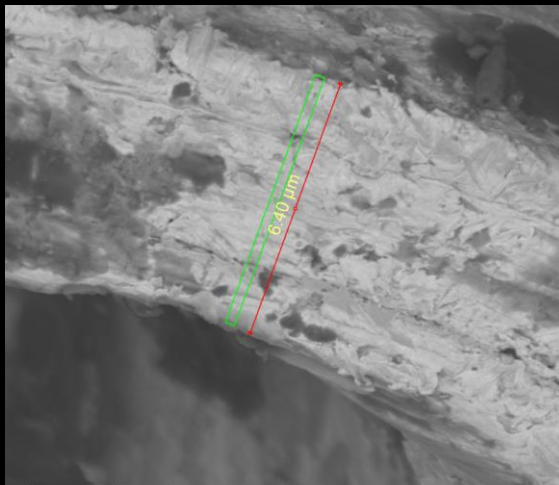
# EREDMÉNYEK

## *fém megmunkálás*

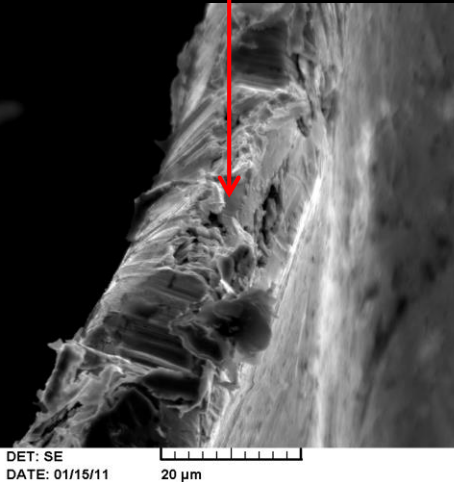


alul, felül üllőszerűen  
túlnyúló szegélyek

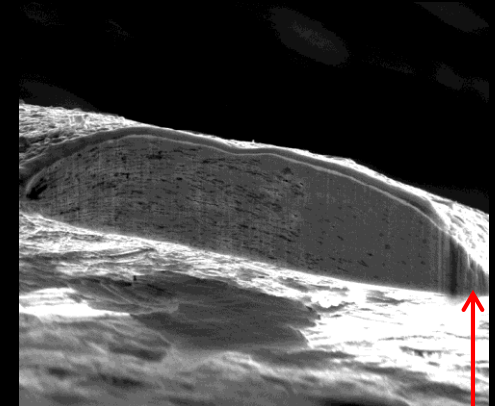
szimmetrikusan  
elkeskenyedő,  
vágásnyomokkal  
szabdalt él



két oldalon aranyozott szalag



egy oldalon aranyozott ezüstszalag



egy oldalon aranyozott  
ezüstszalag

aszimmetrikusan  
elkeskenyedő,  
vágásnyomokkal  
szabdalt él

# KÖVETKEZTETÉSEK 1

a FIB/SEM technika használatával először volt lehetőség

- direkt megfigyelések során megmérni a felületi aranyréteg vastagságát
- jellemezni az arany/ezüst határfelület geometriáját
- megvizsgálni a nanotextúrát és a hozzá kapcsolható kémiai összetételbeli változásokat


**nincs az arany/ezüst határfelülethez köthető eleműdúsulás**



hegesztéses aranyozás  
(nem tűzi aranyozás, forrasztás)

# KÖVETKEZTETÉSEK 2

## az alapfém réztartalmának inhomogén eloszlását

- 
- az ezüstkohászat reziduális melléktermékei,
  - a hűlés során kialakuló nem egyensúlyi eutektikus szerkezetek kialakulása,
  - a réz szemcsehatárokhoz köthető szilárd fázisú/alacsony hőmérsékletű szegregációja,
  - elektrokémiai korrózió okozza

**a felületi elemzések önmagukban nem elegendőek az aranyozási technika meghatározásához**

**KÉMIA + FÁZISANALITIKA + TEXTÚRA**

# OLVASNIVALÓ

1. Scott D.A.: Metallography and microstructure of ancient and historic metals. The Getty Conservation Institute (1991)  
[http://www.getty.edu/conservation/publications\\_resources/pdf\\_publications/metallography.pdf](http://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/metallography.pdf)
2. Scott, D., Podany J., Considine, B.B. Eds.: *Ancient and historic metals*, The Getty Conservation Institute (1991)  
[http://www.getty.edu/conservation/publications\\_resources/pdf\\_publications/ancient\\_metals1.pdf](http://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/ancient_metals1.pdf)
3. Ven der Vort, G.: ASM Handbook Volume 9: Metallography and microstructures (2004)
4. Artioli, G: *Scientific methods and cultural heritage*, Oxford University Press (2010)
5. Aucouturier, M. & Darque-Ceretti, E.: The surface of cultural heritage artefacts: physicochemical investigations for their knowledge and their conservation  
*Chemical Society Reviews*, **36**, 1605–1621 (2007)

# OLVASNIVALÓ

1. Oddy, W. A.: Gilding Through the Ages. *Gold Bull.*, **14**, 75–79 (1981)
2. Nicholson, E.D.: The ancient craft of gold beating. *Gold Bull.*, **12**, 161–166 (1979)
3. Draymann-Weisser, T. (ed): Gilded metals: history, technology and conservation, 241-265 (2000)

# OLVASNIVALÓ

1. Pliny: Natural History (1968) [http://www.masseiana.org/pliny.htm#BOOK XXXIII](http://www.masseiana.org/pliny.htm#BOOK_XXXIII)
2. Vittori, O.: Pliny the Elder on Gilding. *Gold Bulletin*, **12**, 35–39 (1979)
3. Dodwell , C. R. (translator): Theophilus: The Various Arts – De Diversis Artibus (1986)
4. Dodwell, C. R.: Gold metallurgy in the Twelfth Century: The Diversis Artibus of Theophilus the Monk. *Gold Bull.*, 4, 51–55 (1971)
5. Biringuccio, V.: *De la Pirotechnia* (1540)  
<http://fermi.imss.fi.it/rd/bdv?/bdviewer/bid=000000302960>
6. Smith, C.S. and Teach Gnudi, M. (translators): *The Pirotechnia of Vannoccio Biringuccio* (American Inst. of Mining & Metallurgical Eng., New York, 1943)
7. Berthelot, M.: *Collection des Anciens Alchimistes Grecs*, (Steinheil, Paris, 1888)
8. Tylecote, R. F.: *A history of metallurgy* (1976)
9. Hunt, L. B.: The oldest metallurgical handbook: Recipes of a fourth century goldsmith. *Gold Bull.*, **9**, 24–31 (1976)
10. Agricola: De Re Metallica Libri XII (1556)
11. Die Hausbücher, Mendel I. Amb.317.2°Folio 40 verso, <http://www.nuernberger-hausbuecher.de/75-Amb-2-317-40-v/data>

Köszönöm a figyelmet!

