



**Miskolci Egyetem
Műszaki Földtudományi Kar**

**Nyersanyagelőkészítési és
Környezeti Eljárástechnikai Intézet**



Elhasznált SMD kondenzátorok mechanikai előkészítése a tantál kinyerésének érdekében

**Mechanical preparation of waste SMD capacitors in order to recover
tantalum**

TDK dolgozat

Készítette:

Takács Alexandra

IV. éves nyersanyag előkészítéstechnika szakirányos (BSc) hallgató

Konzulensek:

Dr. Faitli József *intézetigazgató, egyetemi docens*

Magyar Tamás *doktorandusz*

Miskolci Egyetem – Műszaki Földtudományi Kar
Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet

**Miskolc
2014**

Eredetiségi nyilatkozat

Eredetiségi nyilatkozat

"Alulírott Takács Alexandra a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karának hallgatója büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és aláírással igazolom, hogy ezt a dolgozatot saját magam készítettem, a benne leírt vizsgálatokat – ha ezt külön nem jeleztem – magam végeztem el, és az ismertetett eredményeket magam értem el. Adatokat, információkat csak az irodalomjegyzékben felsorolt forrásokból használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem."

Miskolc, 2014.

.....
a hallgató aláírása

A konzulens nyilatkozata

Konzulensi nyilatkozat

"Alulírott Dr. Faitli József, a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetének intézetigazgatója és egyetemi docense a TDK dolgozatot beadásra alkalmasnak ítélem."

Egyéb megjegyzések, ajánlás:

Miskolc, 2014.

.....
a konzulens aláírása

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	4
2. Szakirodalmi áttekintés	5
2.1. A tantál jellemzői	5
2.2 A világ bányászati termelése.....	5
2.2. A fő bányászati térségek.....	5
2.2.2 A kitermelés helyének megváltozása	5
2.3. Tantál felhasználás	7
2.4. Tantál kondenzátor.....	7
2.4.1 Általánosságban a kondenzátorokról.....	7
2.4.2 Tantál kondenzátor jellemzői.	8
2.4.3 SMD tantál kondenzátor jellemzői.....	9
2.4.3.1 Anód.	9
2.4.3.2 Dielektromos réteg.	9
2.4.3.3 Katód.	10
2.4.4 SMD tantál kondenzátor szabványos mérete	10
2.4.5 Tantál kondenzátor típusai	11
2.4.6 A 25 legnagyobb tantál kondenzátort gyártó cég.....	12
2.4.7 Tantál kondenzátort gyártó cég: KEMET	12
3. A tantál kondenzátor újrahasznosításának a folyamata.....	13
4. Pásztázó elektronmikroszkópos elemzés.....	16
4.1 SEM működési elve.....	18
4.2 A régebbi típusú SMD tantál kondenzátor elemzése	18
5. Az alkalmazott technológia bemutatása	21
5.1 Oxidáció	21
5.2 Ultrahangfürdő	23
5.3 Szárítás	25
5.4 Örlés	26
5.5 Osztályozás.....	26
5.6 A technológia végtermékei.....	27
6. Dúsító áramláscső	28
7. Analitikai elemzés (ICP-MS).....	30

7.1 Analitikára küldött ymennyiségek.....	30
7.2 Analitika után kapott eredmények.....	31
7.2.1 Anód	31
7.2.2 Műanyag	32
7.2.3 Terminál	33
7.2.4 Ezüst fólia.....	34
8. Összegzés	35
9. Irodalomjegyzék.....	36

1. Bevezetés

A TDK dolgozat a CriticEl projekt 2. alapkutatási programjának keretében készült el. A CriticEl projekt egy nemzetközi együttműködésben megvalósuló alapkutatás a kritikus nyersanyagok hazai gazdaságfejlesztő potenciáljának kiaknázására.

Napjaink technológiai fejlődése szinte tízévente újraírja azoknak a keresett nyersanyagoknak a listáját, amelyek nélkül a csúcstechnológiai termékek előállítása nem lehetséges. Hogyan is állunk ilyen anyagokból? Globális nyersanyag készleteik távoli régiókra összpontosulnak, ahonnan beszerezhetőségükben sok a bizonytalan kérdőjel. 2030-ra viszont hiányuk már jövőbeli ipari fejlődésünk komoly gátja lehet. Ezeknek a nyersanyagoknak a vizsgálatára összpontosít a CiticEl alapkutatási program, részben a természetes ásványi nyersanyagok, részben a különböző eredetű maradvány anyagok, másodnyersanyagok vizsgálatával.[2]

Az elektronikai eszközök -főként a laptopok és mobiltelefonok- folyamatos méretcsökkenési tendenciájának köszönhetően a világpiacon jelentős igény lépett fel a kisméretű, mégis nagy kapacitású tantál kondenzátorok iránt. A tantál kondenzátorok fő alkotója az elemi tantál fém porából pelletált porózus szerkezetű anód. Az anód a kondenzátorok tömegének megközelítőleg 50 %-át adja. A tantált az Európai Unió a kritikus elemek kategóriájába sorolta, amelynek hatására intenzív kutatások folynak a tantál másodnyersanyagokból történő visszanyerhetőségére. A világon jelenleg évente mintegy 2000 tonna tantál előállítása valósul meg, amelynek jelentős részét a tantál kondenzátorok gyártásához használják fel. A 2000-es években a tantál kereslet és kínálat kényes egyensúlya felbomlott a világpiaci igények drasztikus növekedése miatt, ennek eredményeképp a tantál érc ára több mint hatszorosára növekedett, válságot okozva ezzel a tantál kondenzátorokat gyártó cégek körében. Mivel a tantál kondenzátorok gyártása során nagy mennyiségben keletkezik hibás termék, ezért fontos igény lenne egy hatékony, a tantál visszanyerésére irányuló technológia kidolgozására.[4]

2. Szakirodalmi rész

A tantál fém sajátosságairól, bányászatáról, illetve a jövőbeni tantál felhasználás változásáról számos tanulmányt találtam. Általánosságban azonban elmondható, hogy magáról a tantál kondenzátorról és annak a mechanikai előkészítéséről csak korlátozott mennyiségben érhetőek el adatok.

2.1 A tantál jellemzői

A szürkés tantál fémnek kiváló a korrózióval szembeni ellenállása, a tűzállósága, nagy a sűrűsége, jól nyújtható annak ellenére, hogy nagyon erős és kemény. Jól vezeti az elektromosságot és a hőt. [5] Természetben tiszta fémként nem fordul elő, azonban az oxid ásványok széles körében igen, úgymint a mikrolitban $(\text{Na}, \text{Ca})_2\text{Ta}_2\text{O}_6(\text{O}, \text{OH}, \text{F})$, tapiolitban $(\text{Fe}, \text{Mn})(\text{Ta}, \text{Nb})_2\text{O}_6$, ixiolitban $(\text{Ta}, \text{Nb}, \text{Sn}, \text{Mn}, \text{Fe})_4\text{O}_8$, wodginitban $(\text{Ta}, \text{Nb}, \text{Sn}, \text{Mn}, \text{Fe})\text{O}_2$. [9]

Olvadáspontja igen magas, 3017°C , forráspontja 5458°C . Igen kemény, Vickers-keménysége 873. Sűrűsége szobahőmérsékleten $16,69 \text{ g/cm}^3$, olvadásponton 15 g/cm^3 . [9]

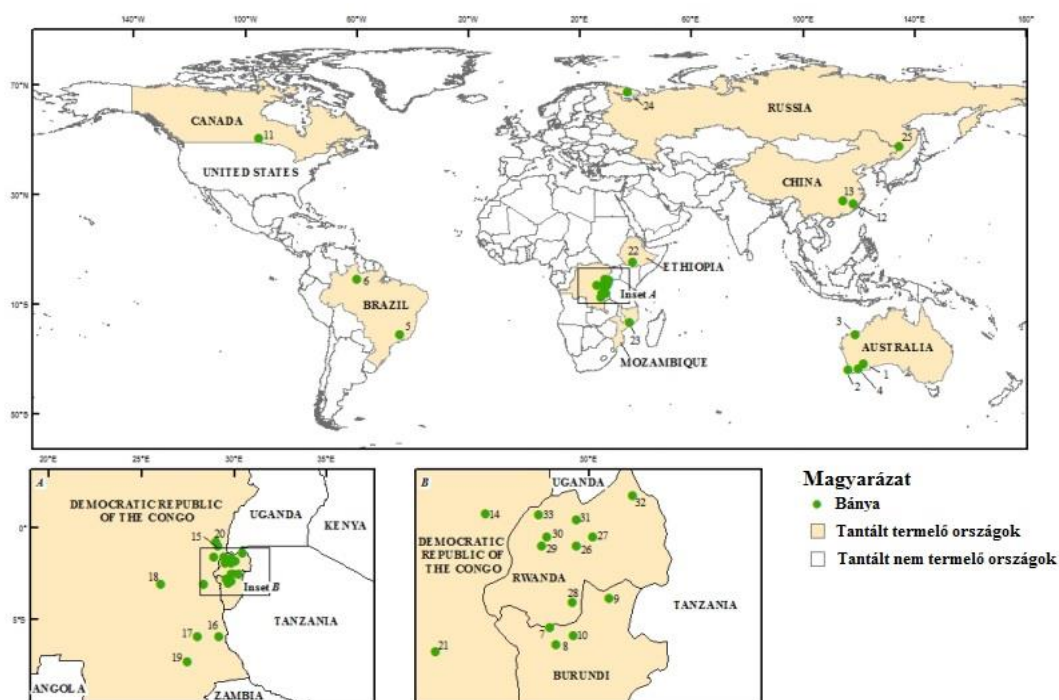
2.2 A világ bányászati termelése

2.2.1 A fő bányászati térségek

2011-ben a világ tantál bányászata 7%-al növekedett az előző évhez képest, 660 tonnáról 706 tonnára. 2011-ben Ruanda a teljes bányászatból származó haszon 27%-át, Brazília a 20%-át, a Kongói Demokratikus Köztársaság a 15%-át, Etiópia a 14%-át, Kína a 11%-át, Mozambik 6%-át, Nigéria az 5%-át, Burundi pedig a 2%-át birtokolja.[10]

2.2.2 A kitermelés helyének megváltozása

A elsőszámú tantál előállító országok sorrendje jelentősen változott az elmúlt évtizedben. Ausztrália volt a vezető gyártó 2001 és 2008 között, majd 2010-ben leállította a termelést, azonban a legnagyobb tantál lelőhelyek az országon belül maradtak. A legtöbb évben 2001 és 2008 között Brazília volt a második a sorban a gyártók közül. 2007 óta az előállítás Közép-Afrikában kezdett növekedni. 2011-ben a világ gyártásának több, mint a 40%-a Közép-Afrikában volt. [10]



1 ábra: Tantál bányák [10]

Országok	Tartalékok		Termelés		EU import	
	[tonnában] 2010	[%]	[tonnában] 2009	[%]	[tonnában] 2006	[%]
Ausztrália	40.000	38,1	560	48,3	-	-
Brazília	65.000	61,9	180	15,5	-	-
Kanada	-	-	40	3,4	-	-
Kongói Köztársaság	-	-	100	8,6	-	-
Ruanda	-	-	100	8,6	-	-
Kína	-	-	-	-	17	13
Japán	-	-	-	-	78	60
Kazahsztán	-	-	-	-	35	27
Egyéb	-	-	180	15,5	2	-
Összesen	105.000		1.160		131	

2.ábra: A tantál (Ta) tartalékok, a termelés és az EU import adatai [7]

Az első alkalmazása a magas olvadáspontjának köszönhetően az égő izzószálaként volt, de ezt hamar wolframmal helyettesítették, mert annak magasabb az olvadáspontja és olcsóbb.[5]

Napjainktól a fejlesztés a tantál technikai felhasználásában volt. Fedezték, hogy a tantál-oxid film a fémek felületén -amikor az elektrolitokban merül el- az áramot átengedi az egyik irányban, de a másikban már nem. Ennek a következtében az egyenáram szabályozó és a tantál kondenzátor fejlesztése adja a legnagyobb felhasználását a tantálnak.[5]

A ma használt kis tantál elektrolit kondenzátorok első fejlesztése az 1950-es években

(Taylor, Haring 1956) volt, ezután kezdett gyors virágzásba a keresletük.[5]

2.3 Tantál felhasználás

A termékek finomított tantálból készülnek, ami karbidokat, ignotokat, oxidokat, porokat és fém terméket tartalmaz, beleértve a tányérokat, bevonatokat, szerkezeteket, rudakat, huzalokat. [10]

A fő tantált alkalmazó gyárak az autóipar, a kerámiaipar, a felületi bevonatokat, a szerkezeteket, a mérnöki tudomány, az elektronikai, az orvosi és kohászati ipar, valamint a katonaság alkalmazza. Az elektronikai és kohászati ipar a vezető a tantál felhasználásban. Az elektronikai ipar körülbelül az 50-60%, a kohászati ipar a 20%-át teszi ki a tantál fogyasztásnak. Az elektronikai iparban a kondenzátorok, amelyek a legnagyobb egyedüli felhasználói a tantálnak a haszon körülbelül 40%-a teljes tantál felhasználásnak 2011-ben. [9]

A tantál kondenzátorok középvállalkozások terméke, melyet széles körben alkalmaznak az autóipar elektronikájában, a mobil telefonokban, a merevlemez olvasókban, a fényt kibocsájtó diódákban, valamint a személyi számítógépekben. [9]

2.4 Tantál kondenzátor

2.4.1 Általánosságban a kondenzátorokról [9]

Az elektromos töltés tárolására készített technikai eszközöket kondenzátoroknak nevezzük. Minden kondenzátor legalább két párhuzamos vezető anyagból (fegyverzet) és a közöttük lévő szigetelő anyagból (dielektrikum) áll.

Az elektronikában a kondenzátorokat kétféle módon csoportosíthatjuk:

1. Dielektrikum fajtája szerint:

- Levegő
- Transzformátorolaj
- Műanyag
- Kerámia
- Fémoxid (elektrolit kondenzátorok esetén)

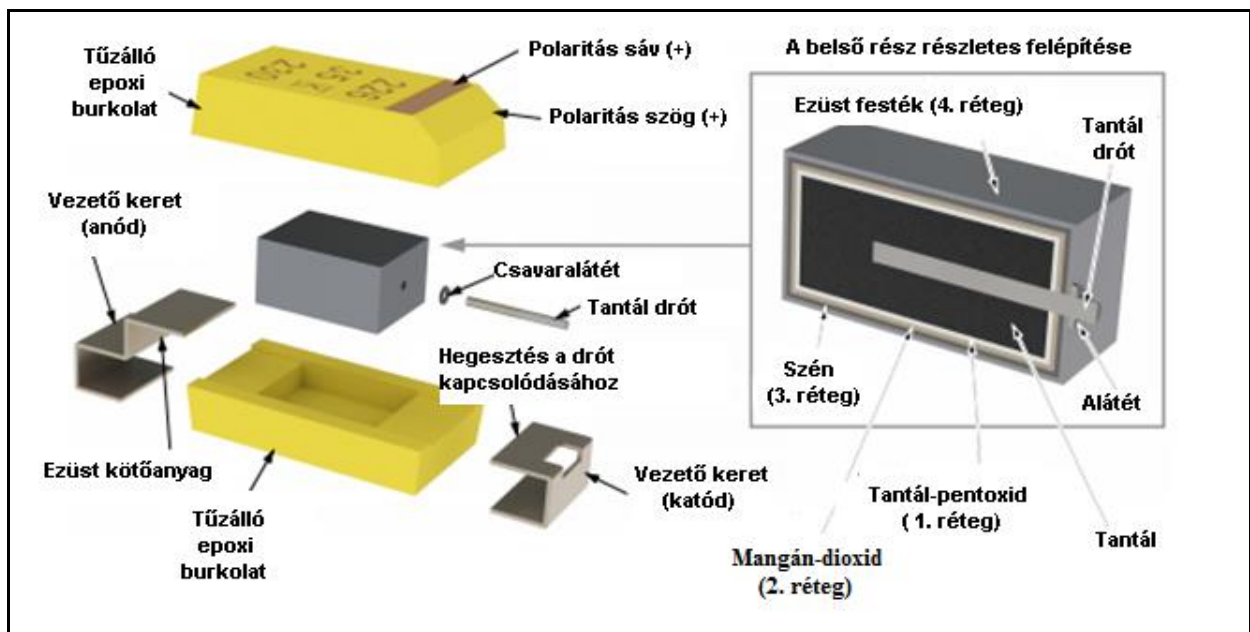
2. A kapacitás szabályozhatósága szerint

- Fix értékű
- Változtatható kapacitású

2.4.2 Tantál kondenzátorok jellemzői

Tulajdonságai hasonlóak az alumínium-elektrolit kondenzátorokéhoz. A kapacitási értéke 1nF és 72mF közötti értékekben készül és jóval kisebb méretű, mint az alumínium elektrolit kondenzátorok. Sokféle feszültségi értékben megtalálhatóak a 2 V-500 V között. Kevésbé öregszik és szélesebb hőmérséklet tartományt visel el. Ára magasabb és az alkalmazása körütekintést igényel. A tantál kondenzátor fordított polarításra és túlfeszültségre érzékeny, illetve nagy áram esetén felrobbanhat.[1]

Rendkívül porózus szinterezett tantál szemcsék alkotják a nagy fajlagos felületű anódot, amelyen vékony oxid-dielektrikum réteg található. A tantál kondenzátor nagy egységnyi területre eső kapacitással és nagyon alacsony szivárgási árammal rendelkezik, így hosszú ideig képes töltést tárolni. [1]



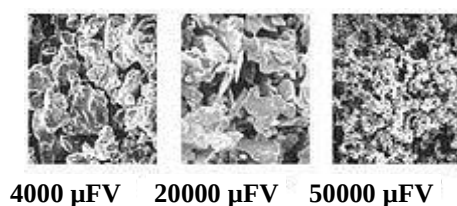
3 ábra: SMD tantál kondenzátor szerkezeti felépítése [3]

2.4.3 Az SMD tantál kondenzátor jellemzői

2.4.3.1. ANÓD

A tantál kondenzátorok anódját tiszta, elemi tantál fém porából gyártják. A tantál porok jóságának összehasonlítására a térfogati hatékonyság paraméter szolgál (mértékegysége: CV/g), amely megmutatja az 1 g tantál por által tárolni képes maximális töltés nagyságát a hozzá tartozó feszültség függvényében. A tantál por tipikus szemcsemérete 2 és 10 μm közötti. A 4. ábra mutatja az egyre finomodó szemcseméretű tantál porokat,

amellyel egyre növekszik az egységnyi térfogatra vonatkoztatott fajlagos felület, ezzel arányosan pedig a kapacitás mértéke is. A tantál port egy tantál huzal (úgynevezett vezető huzal) köré préselik, így alkotva meg a pelletet. A művelet végén a vezető huzal válik az anód csatlakozási pontjává. Ezt a pellet-huzal kombinációt később vákuumban szinterezik magas hőmérsékleten (1200-1800 °C), amely célja, hogy megtisztítsa a tantál port a szennyeződésektől, illetve, hogy létre jöjjön egy mechanikailag is szilárd pellet. Szinterezés közben a por szivacsos szerkezetté alakul, ahol minden egyes részecske össze van kapcsolódva egy monolitikus térbeli rácson. Ezen szerkezet segítségével megjósolható a mechanikai szilárdság és a sűrűség is. A szivacsos szerkezetnek köszönhetően az előállt anyag meglehetősen porózus és nagy belső fajlagos felülettel rendelkezik. Összességében elmondható, hogy a nagyobb fajlagos felület nagyobb kapacitást eredményez, ezért például egy kisebb átlagos szemcseméretű por alkalmazása alacsony feszültségű és nagy kapacitású alkatrész esetében lehet indokolt. A megfelelő por és szinterezési hőmérséklet megválasztásával az alkatrész egy bizonyos kapacitás/feszültség arányra tervezhető..[9]



4 ábra: Különböző szemcseméretű tantál por és a hozzátartozó kapacitás [9]

2.4.3.2 Dielektromos réteg

A dielektromos réteg a tantál szemcsék felületén keletkezik elektrokémiai folyamat során eloxálás segítségével. Ennek elérése érdekében a pelletet gyenge savas oldatba helyezik, majd egyenáramú feszültséget kapcsolnak rá. A dielektromos réteg vastagságát végső soron a rákapcsolt feszültség nagysága határozza meg. Kezdetben a feszültséget konstans értéken tartják, amíg a dielektromos réteg vastagsága el nem éri a kívánt mértéket, majd folyamatosan nulla értékre csökkentik annak érdekében, hogy a réteg vastagsága mindenhol egyenletessé váljon. [9]

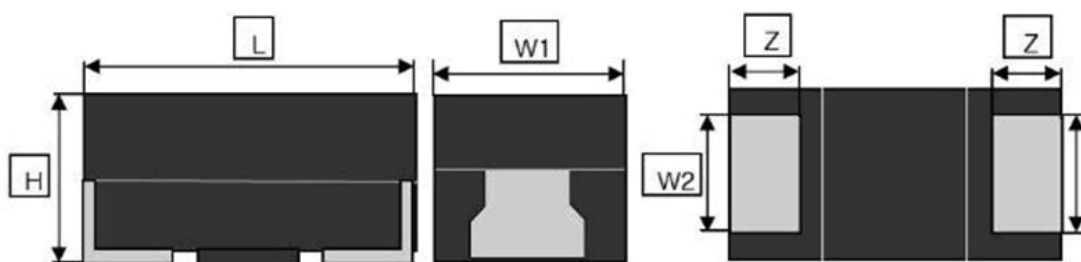
2.4.3.3. KATÓD

A következő lépés a szilárd tantál kondenzátorok gyártása során a katód lemezek előállítás (a nedves tantál kondenzátorok folyékony elektrolitot alkalmaznak katódként). A

mangán-dioxidot pirolízis segítségével mangán-nitrátból állítják elő. A folyamat első lépése, hogy az anyagot nitrát vizes oldatába merítik, majd kemencében 250 °C-ra hevítik, így kialakítva a felületén az oxid bevonatot. A folyamatot többször is megismétlik a nitrát oldat fajsúlyának változtatása mellett, annak érdekében, hogy a vékony fedőréteg az anyag külső és belső felületén is létrejöjjön. Hagyományos felépítés esetén a katódot grafitba, majd ezüstbe mártják. Az elektromos kapcsolatot a katód felületén lerakódott grafitos szén segítségével alakítják ki. Az újabb tantál-polimer kondenzátorok esetében vezető polimereket alkalmaznak katódként.[9]

2.4.4 Az SMD kondenzátor szabványos méretei

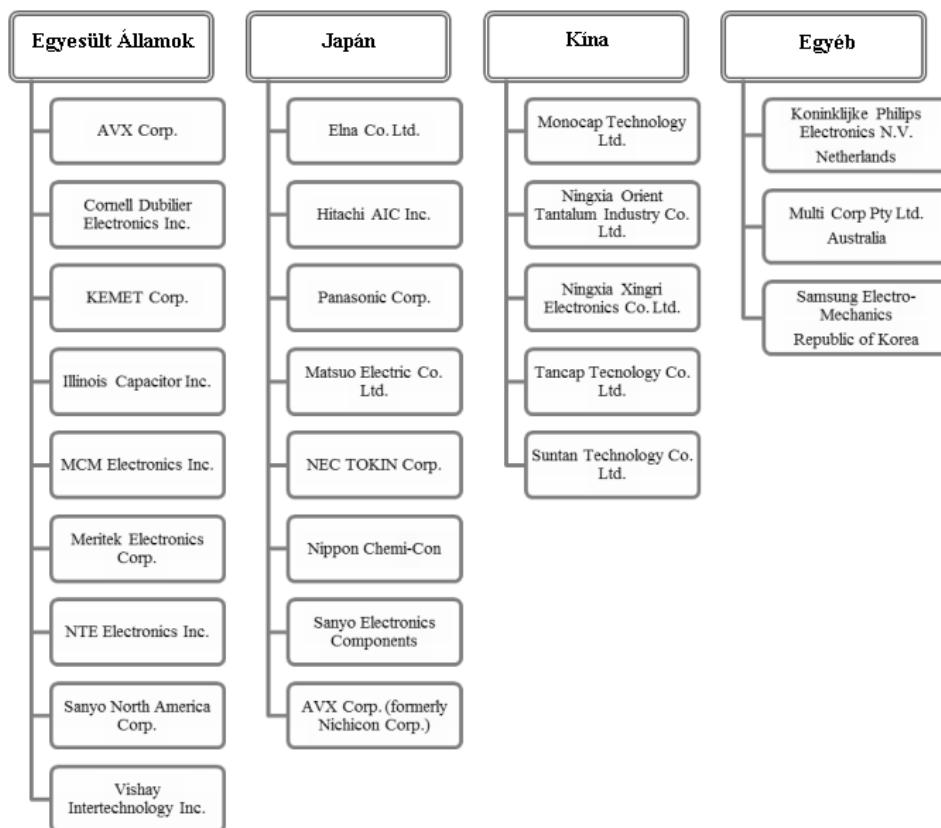
Az SMD kivitelű tantál kondenzátorokhoz tartozó szabványos méreteket a 5. ábra foglalja össze. A jelölésekhez tartozó magyarázat: L: teljes szélesség, H: teljes magasság, W1: teljes hossz, W2: kontakt lemez hossza, Z: kontakt lemez szélesség [8]



Kód	EIA Kód	DIMENZIÓ (mm)				
		L	W ₁	W ₂	H	Z
P	2012	2.0 ±0.2	1.25 ±0.2	0.9 ±0.1	1.2 MAX	0.5 ±0.2
A	3216	3.2 ±0.2	1.6 ±0.2	1.2 ±0.1	1.6 ±0.2	0.8 ±0.3
B	3528	3.5 ±0.2	2.8 ±0.2	2.2 ±0.1	1.9 ±0.2	0.8 ±0.3
C	6032	6.0 ±0.3	3.2 ±0.3	2.2 ±0.1	2.5 ±0.3	1.3 ±0.3
D	7343	7.3 ±0.3	4.3 ±0.3	2.4 ±0.1	2.8 ±0.3	1.3 ±0.3

5 ábra: SMD kondenzátorok szabványos méretei

2.4.6 A 25 legnagyobb tantál kondenzátort gyártó cég:[10]



2012-ben a vezető cégek az AVX ami a 30%-át tette ki a piacnak emellett a KEMET, a NECTOKIN és a Vishay.

Az AVX az autóipar az űrtechnika és az orvosi alkalmazás számára gyárt kondenzátorokat.

A KEMET 85 kondenzátor sorozattal rendelkezik, amelyeket különbözőösszetétellel, elektronikai jellemzőkkel, megbízhatósággal, működési hőmérséklettel és a felszerelhetőséggel gyártanak.

2.4.7 Tantál kondenzátort gyártó cég: KEMET [3]

Gyártott kondenzátor típusai: tantál, kerámia, szilárd és elektrolit, alumínium, fólia és papír.

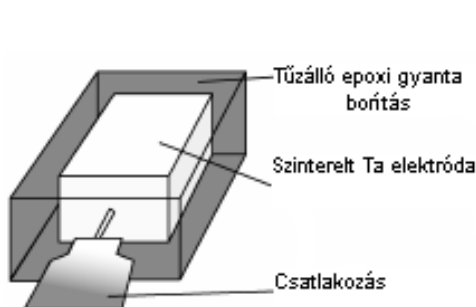
- 22 darab gyár működik, 10 országban, több mint 10000 dolgozó
- A legnagyobb tantál kondenzátor gyártó cég a világon
- Internetes eladásuk 417 millió dollár a 2012. költségvetési évben
- Jelentős befektetést tett a tantál kondenzátor üzletbe az elmúlt 50 évben, 2012 februárjában megszerezte a Blue Powder céget ami a legnagyobb tantál port gyártó

cég.

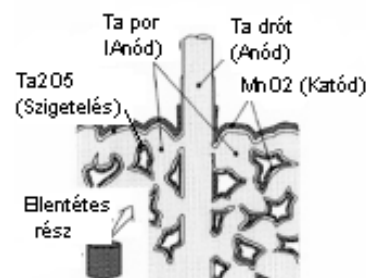
- NEC Tokin a tantál és más kondenzátorokat gyártó ázsiai, főként a Japán cégek egységbe rendezését javasolta, ez a KEM amely egy egységes elektronikai komponenseket gyártó cég
- 2012 februárjában 50 millió dollárt injektáltak a cégbe.

3.A tantál kondenzátor újrahasznosításának a folyamata [6]

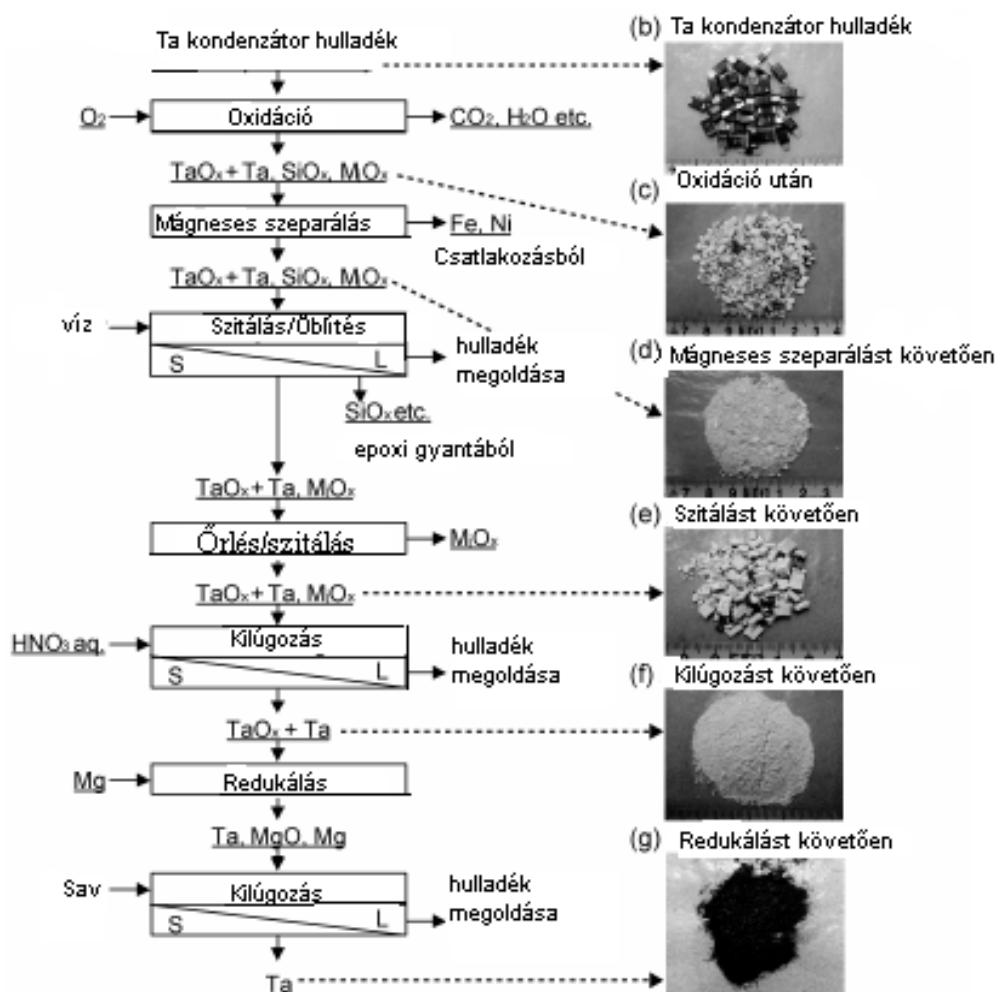
A tantál kondenzátor három különböző komponensre lehet felosztani: terminál (10 m/m%), tűzálló epoxi gyanta burkolat (40 m/m%) és az anódot alkotó tantál elektróda (50 m/m%). A terminál vas, nikkell vagy réz lehet. A tűzálló epoxigyanta amely egy polimer, amihez SiO_2 port adnak a hő stabilizálás fokozása érdekében. A tantál elektród nagyrészt tiszta tantál por (90 m/m%), elenyésző mennyiségben tartalmazhat egyéb nyomelemeket. Az ezüst pasztát és a grafitot a katód felületére viszik fel. A tantál csak a kondenzátorok anódjában található meg nagy tisztaságban és koncentrációban, éppen ezért ésszerű ezt a részt eltávolítani a kondenzátorokból a kémiai kezelés előtt. Egy oxidációs eljárás segítségével a tantál elektródát körbe burkoló tűzálló epoxigyanta könnyen eltávolítható a mechanikai és kémiai kezelést előtt.



11.ábra: SMD típusú tantál kondenzátor szerkezeti felépítése



12.ábra: SMD típusú tantál kondenzátor belső szerkezete



13.ábra: SMD tantál kondenzátor újrahasznosításának a folyamatábrája

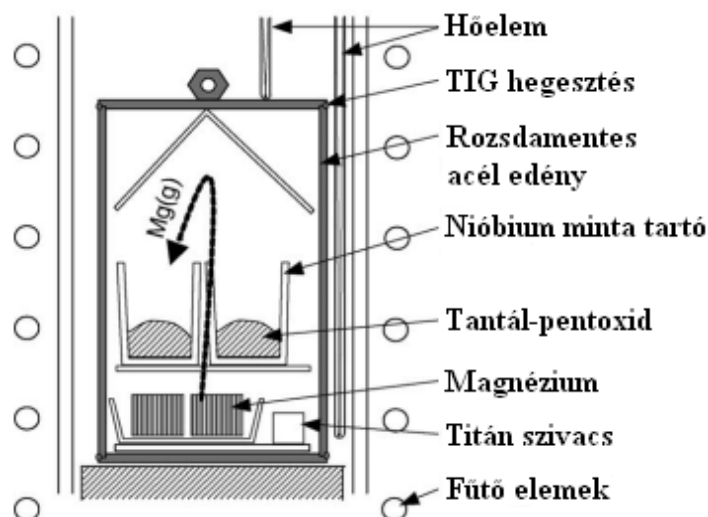
Az eljárás két fő lépésből áll. Az első lépés egy oxidáció mely segítségével a kondenzátor megszabadítható a műanyag burkolatától, ezután mechanikai szeparálás és egy kémiai eljárás következik.

Első lépésben 6 g tantál kondenzátort helyeztek kerámia tányérra, amelyet a kemencében állandó hőmérsékleten (500-1000 °C) hevítve oxidációs eljárás alá vetették (0,5-3 óra időtartamon át). A terminál könnyen eltávolítható, (mivel vas és nikkel) mágneses szeparátor segítségével, amiatt hogy az oxidációs folyamat hatására a terminál elválk az elektródától. Az oxidációs folyamat során a külső borítás por állagúvá válik, amely anyagát tekintve nagyrészt SiO₂-ből áll. A keletkezett SiO₂ por tantál-pentoxidtól való szeparálása kémiai módszerekkel nehezen oldható meg, a két anyag hasonló kémiai tulajdonságai következtében. A tantál elektródáról a SiO₂ eltávolítása nedves szitálással történt, ugyanis az oxidációs eljárás végeztével az elektróda megőrizte eredeti alakját, ellenben az

epoxigyantával, amely por állagúvá vált a hőkezelés hatására. A hőkezelés után a tantál kondenzátorokból kinyert elektródát porították. A réz terminálok esetében megállapították, hogy azok nem törtek el, eredeti formájukat megtartották, ugyanis nagy hajlíthatósággal rendelkeznek. A réz terminálokat szita segítségével eltávolították, így megkapták a réz és egyéb szennyeződésekkel tartalmazó tantál-pentoxid port. Az előállt port salétromsav segítségével megtisztították a szennyeződésektől. Vízrel való öblítés után 1000 °C-on kalcinálták a kapott anyagot, eltávolítva ezzel a vizet és a szénvegyületeket a mintából. A kalcinálás végeztével megkapták a nagy tisztaságú tantál-pentoxid port.

A tantál visszanyerésének második lépése a tiszta tantál-pentoxid porból a fémes tantál kinyerése. Ennek érdekében a tantál-pentoxidot magnézium gőz segítségével redukálták 1000 °C-os hőmérsékleten. Első lépésként a tantál-pentoxid port a kísérleti berendezésben lévő rozsdamentes acél edényekre helyezték, majd az alatta elhelyezkedő edényt magnézium tömbökkel (kb. 8 g) töltötték meg. A tantál-pentoxid és a magnézium külön edényben került elhelyezésre, annak érdekében, hogy megelőzzék a tantál-pentoxid magnéziummal való túlzott elszennyeződését. A zárt, rozsdamentes acél edényt elektromos kemencében fűtötték 1000 °C-os hőmérsékleten 6 órán keresztül, annak érdekében, hogy a minta reakcióba tudjon lépni a képződő magnézium gőzzel. A 6 órán át tartó redukációs művelet után a rozsdamentes acél edényt vízben lehűtötték. A redukált minta mechanikai úton visszanyerhető a berendezésből szobahőmérsékleten, majd a magnézium-oxid és a felesleges magnézium oldás segítségével eltávolítható a mintából salétromsavas (HNO_3) kezeléssel. A fémes tantál port sósavval, desztillált vízzel, alkohollal és acetonnal öblítették, azután vákuumban szárították.

A tantál visszanyerésére irányuló eljárás segítségével 98,6 %-os tisztaságú tantál port állítottak elő.



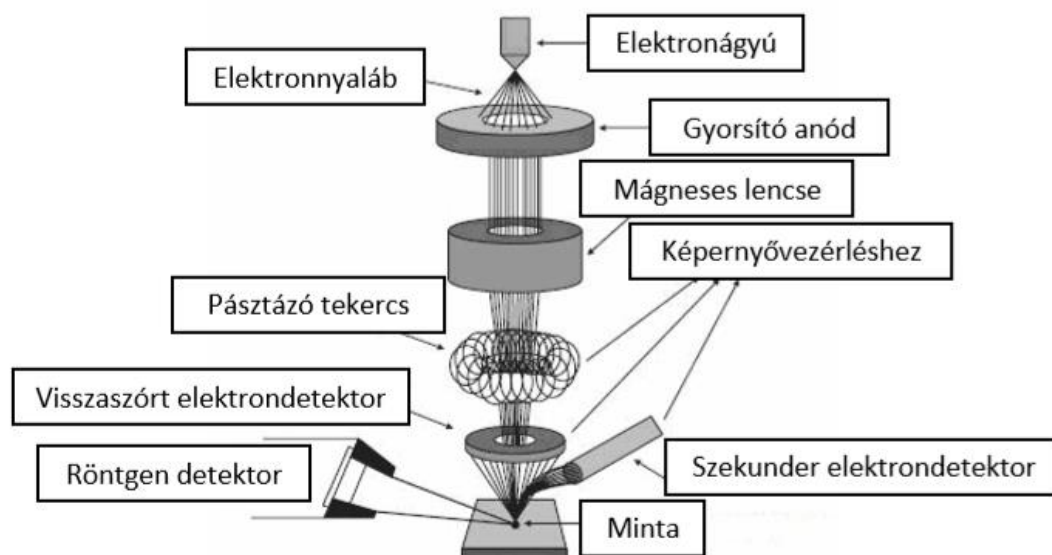
14 ábra: A magnéziotermikus redukáláshoz épített kísérleti berendezés sematikus ábrája.

4. Pásztázó elektronmikroszkópos elemzés

A pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatot 4 különböző típusú- és paraméterekkel rendelkező tantal kondenzátoron végeztük el, amelyekből 2 db SMD (1 régebbi és 1 újabb)-, 2 db csepp (1 régebbi és 1 újabb) típusú volt.

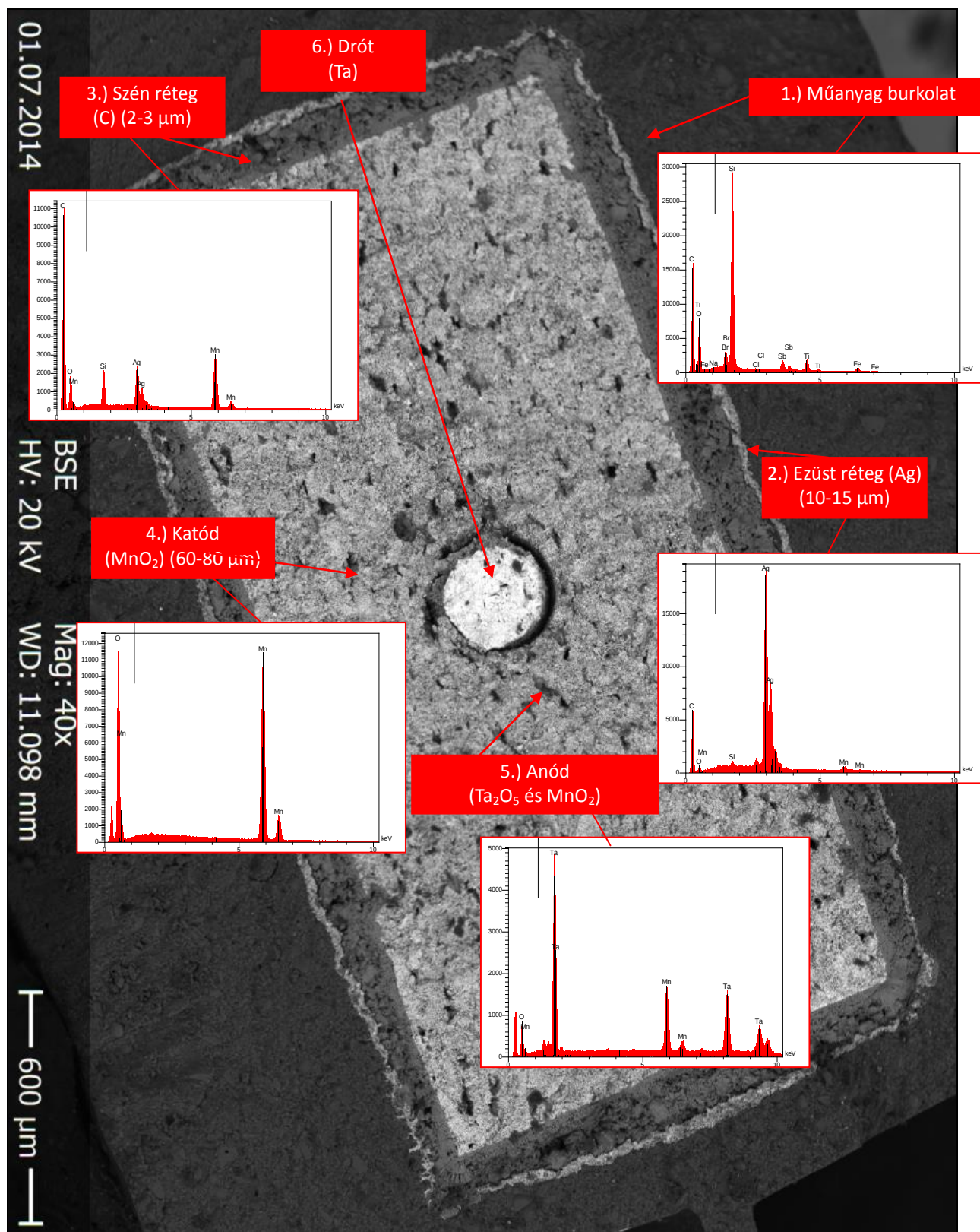
4.1 A SEM működési elve.

A pásztázó elektronmikroszkóp fontosabb egységei: elektronforrás, objektív lencse, pásztázó tekercsek, detektor(ok), mintatartó. Az elektronmikroszkópokban az elektronok forrása az elektronágyú. Az elektronágyúban az elektronok a katódból izzítás hatására (izzókatódos forrás) vagy pedig kihúzó elektromos tér hatására (téremissziós forrás) lépnek ki (18. ábra). A katódból kilépő elektronokat elektromos tér gyorsítja a szükséges energiára. A pásztázó elektronmikroszkópokban az elektronok maximális energiája általában $E_{\max}=30$ keV, és ez az energia a kisebb energiák felé állítható. A forrásból kilépő nyalábot elektromágneses elven működő lencse fókuszálja. Az elektronmikroszkópokban alkalmazott elektronlencsék a Lorentz-erőhatás alapján működő mágneses lencsék. A lencse fókusztávolsága és a nyaláb mérete a mintán az elektromágneses áramával szabályozható. A nyaláb minimális átmérője a mintán kb. 1 nm. A pásztázó tekercsek segítségével a nyaláb sorról sorra végigpásztázza a minta felületét. Az elektronnyaláb által a mintából kiváltott szekunder elektronokat (SE), visszaszórt elektronokat (backscattered electron=BSE) és röntgenfotonokat a minta felett elhelyezett detektorok érzékelik.



15.ábra: A SEM felépítése

4.2 A régebbi típusú SMD tantál kondenzátor elemzése

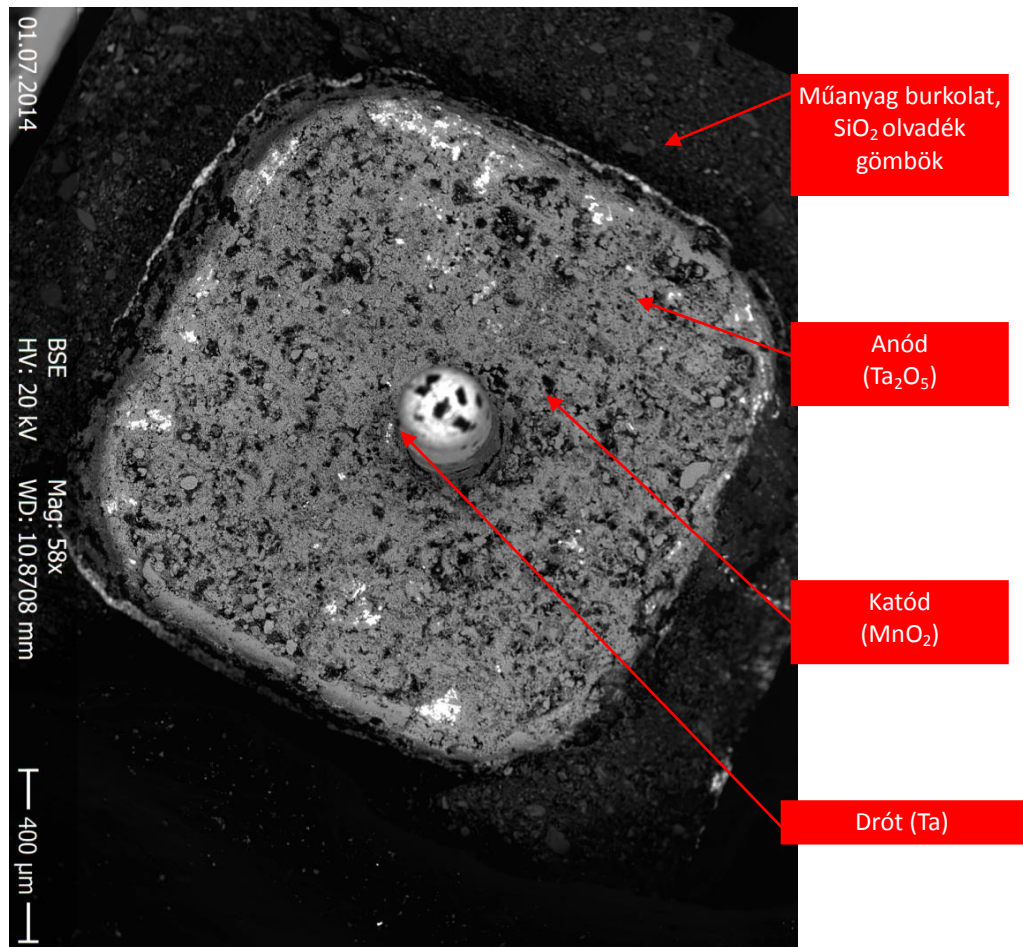


16.ábra: Régebbi SMD típusú tantál kondenzátor SEM felvétele

A tantál kondenzátorokról (SMD, csepp) készült pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatot Dr. Zajzon Norbert végezte el. A 20.ábra összegzi a vizsgált SMD típusú (régebbi) tantál kondenzátor egyes rétegeinek atomi tömegszázalékos összetételét. A berendezés a vizsgálati tartomány mérete miatt a vékony rétegek alatti anyagokat is bevonja a mérésbe, ezért a pontos anyagi összetétel a vékony rétegekben nem határozható meg. Az értékek szummázva nem adnak 100 %-ot, mivel a mérés elvégzéséhez egy vékony szén réteget kellett a mintaanyag felületére gőzölni (hogy vezetővé váljon), ezért a szén esetében mért atomi tömegszázalékos értékek csak tájékoztató jelleget mutatnak.

Sorszám a 2. ábrán	1.)	2.)	3.)	4.)	5.)	6.)
Vizsgált réteg / Elem neve	Műanyag burkolat	Ezüst réteg (Ag)	Szén réteg (C)	Katód (MnO ₂)	Anód (Ta ₂ O ₅ és MnO ₂)	Drót (Ta)
atomi tömeg %						
Ag	-	62,85	8,34	-	-	-
Br	1,87	-	-	-	-	-
C	56,18	28,51	59,33	-	-	-
Cl	0,21	-	-	-	-	-
Fe	0,96	-	-	-	-	-
Mn	-	1,69	13,48	62,14	11,14	-
Na	0,29	-	-	-	-	-
O	23,57	6,46	16,70	32,86	7,47	-
Sb	3,20	-	-	-	-	-
Si	12,11	0,49	2,14	-	-	-
Ta	-	-	-	-	81,38	100
Ti	1,62	-	-	-	-	-

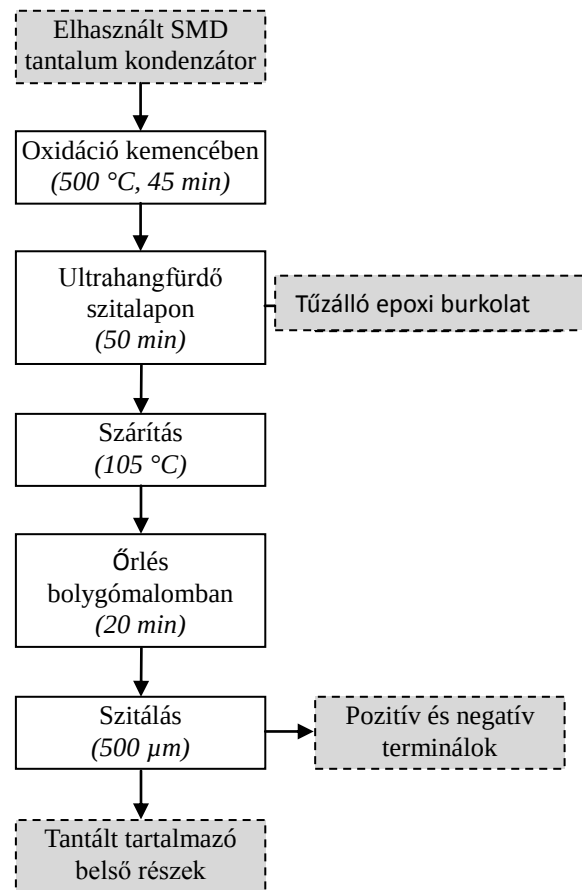
17.ábra: Az SMD típusú tantál kondenzátor (régebbi) rétegeinek atomi tömeg %-os összetétele.



18.ábra: Az SMD típusú tantál kondenzátor (újabb) SEM felvétele.

A vizsgálat során megfigyeltük, hogy a kondenzátor újabb és régebbi típusa között nagy eltérés mutatkozik a szerkezetben. A régebbi típusú kondenzátor hulladék nyomtatott áramköri lapokról lett eltávolítva, míg az új típusúak még nem használt darabok voltak. A szerkezeti különbség az anód és a katód összetételében volt megfigyelhető.

5. Az alkalmazott technológia bemutatása



19.ábra: Az SMD tantál kondenzátor mechanikai feldolgozásának folyamatábrája

5.1 Oxidáció

A folyamat első lépése a tantál kondenzátor külső műanyag burkolatának eltávolítására specializálódott. A tűzálló epoxigyanta szigetelés tulajdonképpen egy polimer, amelyhez SiO_2 port adnak a nagyobb hőállóság érdekében. Az oxidációs eljárás segítségével a tantál elektródát körbe burkoló tűzálló epoxigyanta könnyen eltávolítható a mechanikai és kémiai kezelést megelőzően. A műanyag oxidációja kemencében történt. Az SMD tantál kondenzátort kerámia edénybe téve helyeztem a kemencébe. Az optimális hőmérsékletet és a és a kemencében töltött tartózkodási időt szisztematikus kísérletsorozat segítségével

megállapítottam. A kísérleti rész a következők szerint történt:

	500°C	750°C	1000°C
1. kísérlet	30 perc	30 perc	30 perc
2. kísérlet	45 perc	45 perc	45 perc
3. kísérlet	1 óra	1 óra	1 óra



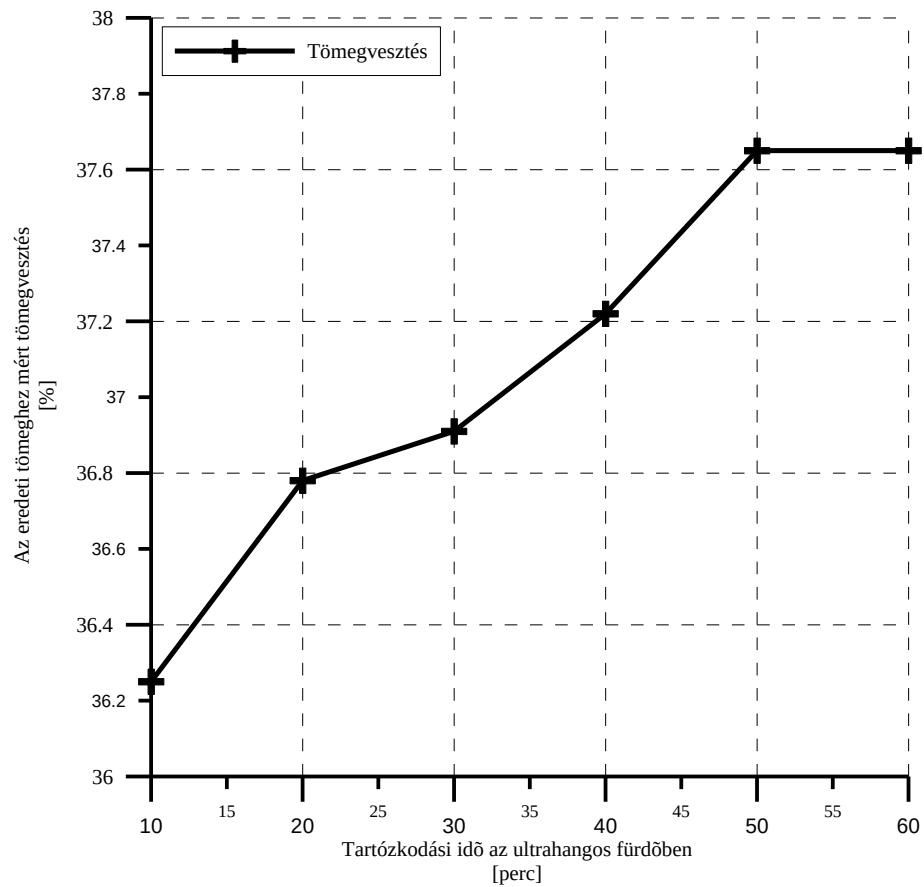
20 ábra: Az SMD tantál kondenzátor az oxidálást követően

A kísérlet során azt tapasztaltam, hogy a tartózkodási idő és a hőmérséklet növelésével nem értem el a műanyag burkolat nagyobb fokú oxidációját. Az 500°C feletti hőmérséklet következtében a kondenzátoron található műanyag burkolat és a belső szerkezet is teljesen szétporladt, ezzel megnehezítve a későbbi szeparálás lehetőségét, mivel a műanyag nem választható le önmagában a kondenzátor egyéb részeitől. Ezért ezt a hőmérsékleti tartományt elvettem, nemcsak a műanyag burkolat nem megfelelő változása miatt, hanem a magas energia igény miatt is. Az elvégzett kísérletsorozat alapján az optimális hőmérsékletet 500°C-ban határoztam meg, mivel ez a hőmérséklet már elegendő ahhoz, hogy a műanyag burkolat megfelelően oxidálódjon, illetve elég alacsony ahhoz, hogy a belső rész megőrizze eredeti formáját. A kemencében a tartózkodási idő minimum 45 perc, amely ahhoz szükséges, hogy a műanyag burkolat kellőképpen oxidálódjon.

5.2 Ultrahangfürdő

Az ultrahang fürdő során a kemencében oxidált kondenzátorokat desztillált vízbe egy 45 μ m lyukbőségű szitára helyeztem el. Az előmelegített ultrahangfürdőbe behelyezett kondenzátorokat 10perc, 20 perc, 30 perc, 40perc, 50 perc és 60 perc elteltével vizsgáltam a tömegvesztésük alapján. A folyamat során az ultrahang generátor által előállított 37kHz névleges frekvenciájú, 450-500V effektív feszültségű rezgéseket az ultrahangos rezgéskeltők (PURK) mechanikus rezgésekké alakították át. A PURK egységek által keltett mechanikus rezgések a folyadékban lökeshullámok formájában terjednek tovább és a folyadékok összenyomhatatlansága következtében a lökeshullámok a folyadék teljes térfogatában nagyjából egyenletesen terjednek, így a kád teljes térfogatában lehetséges a kondenzátoron található oxidált műanyag eltávolítása.

Az ultrahangfürdőben eltöltött idő [perc]	Az eredetihez viszonyított tömegvesztés [%]
10 perc	36,25
20 perc	36,78
30 perc	36,91
40 perc	37,22
50 perc	37,65
60 perc	37,65



21 ábra: Az oxidált SMD tantál kondenzátor tömegvesztése az ultrahangos fürdőben a tartózkodási idő függvényében

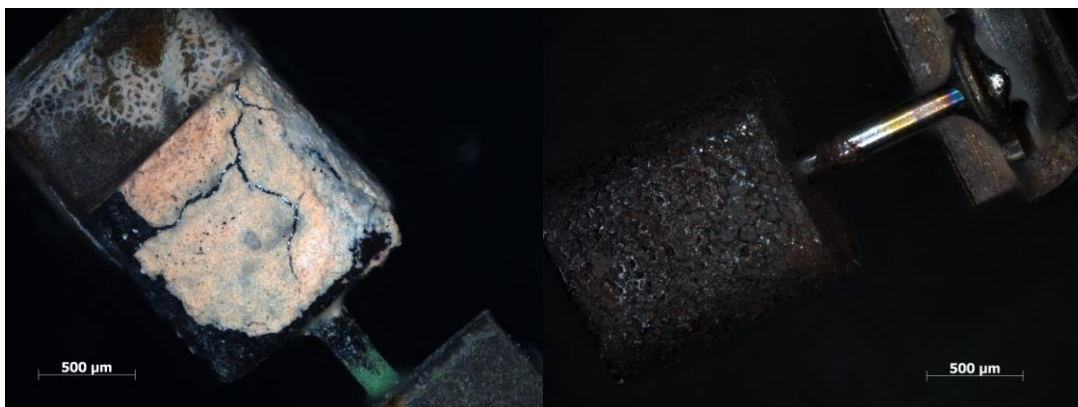


22. ábra: Az ultrahangfürdőbe behelyezett oxidált SMD tantál kondenzátorok



23. ábra : Az oxidált SMD tantál kondenzátor az ultrahangos fürdőt követően

Ahogy a 22.-és 23. ábrán látható az ultrahangfürdőt követően a kondenzátor narancssárga színű burkolata teljes egészében eltávolítottam, és az ezüst réteg levált a belső szerkezetről.



24. ábra: Az oxidált és az ultrahangfürdőben kezelt SMD tantál kondenzátor optikai mikroszkópos képe.

5.3 Szárítás

Az ultrahangos fürdőt követően az anyagot szárítószekrényben tömegállandóságig szárítom a következő folyamat előkészítése érdekében. A szárító szekrényben a 90-100°C hatására az anyag teljes nedvesség tartalma távozik. Ezt követően az őrlés szárazon bolygómalomban történik.

5.4 Őrlés

A szárítást követően az anyagot bolygómalomban őrltem. A bolygóműves-golyós malmokat akkor alkalmazzák, ha a legnagyobb végfinomság elérése a cél. A bolygóműves-golyós malmok rendkívüli centrifugális erői nagy aprítási energiát szabadítanak fel és így rövid őrlési időket eredményeznek. Az őrlőedények excentrikus módon vannak felhelyezve a bolygóműves-golyós malom "Nap-tárcsájára". Az őrlőedényben lévő őrlőgolyókat az ún. Coriolis-erők bonyolult rotációs mozgásra kényszerítik. A golyók és az edény eltérő sebessége a súrlódási és az ütközési hatások olyan kölcsönhatását hozza létre, mely nagy mozgási energiákat szabadít fel. Ezen erők eredményezik a bolygóműves-golyós malmok nagy és rendkívül hatékony mértet csökkentő képességét. Az őrlés folyamata 20 percig tartott.



25.ábra: SMD tantál kondenzátor őrlés előtt

5.5 Osztályozás

Az őrlést követően a terminálokat egy 500 μ m-es szitalap segítségével eltávolítottam. A feladást követően az anyagból két frakció keletkezett. Az egyik frakciót, ami a szita felületén fennmaradt a pozitív és a negatív terminálok alkotják, amíg a szitán átesett anyag, a tantált tartalmazó belső egységek teszik ki a második frakciót. Az osztályozást követően a pozitív és negatív terminálokon megfigyelhető volt a kondenzátor belső szerkezetét alkotó tantál por, tantál-pentaoxid, magnézium-oxid, szén és ezüst réteg megtapadása, amely a további elemzés során az analitikai eredményeket módosíthatta. A terminálok visszanyerése az őrlés után

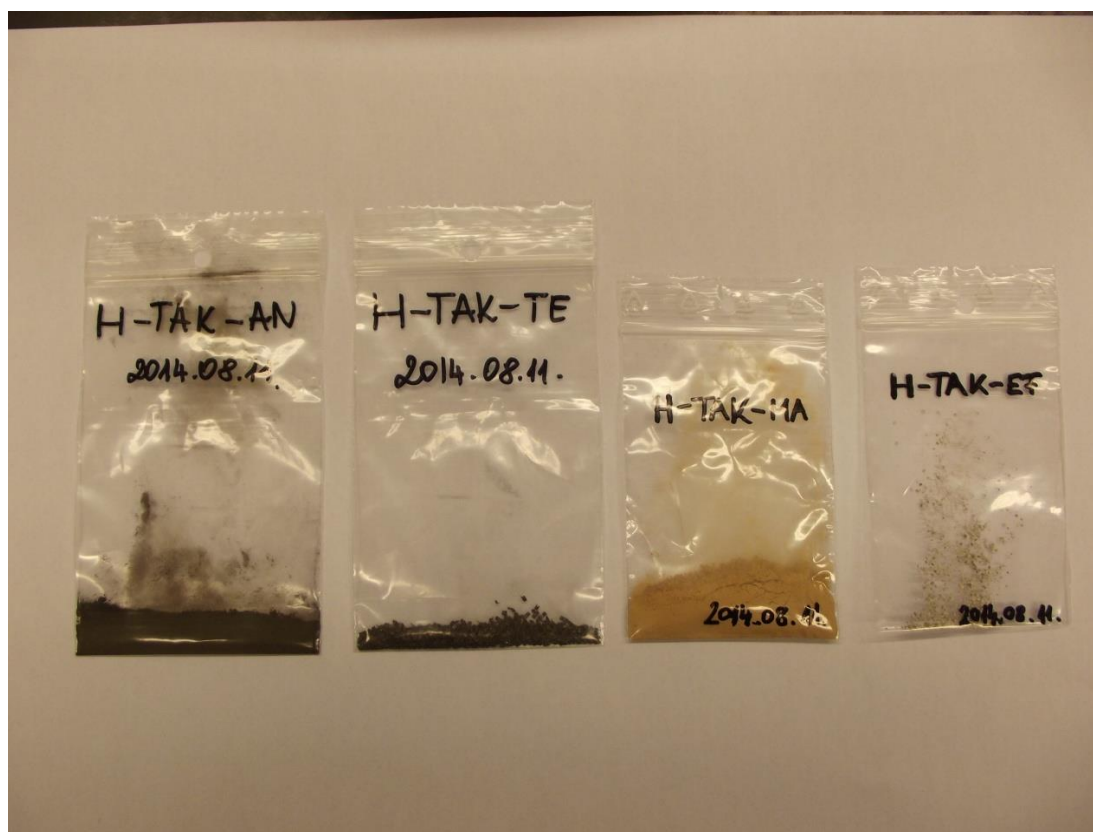
eredményes, eredeti méretükben maradtak meg, ami azért fontos, mert az anyaguk teljes egészében ón.

5.6A technológiai folyamat végtermékei

A technológia folyamat során kapott termékek a következők:

1. H-TAK-AN: Anód,
2. H-TAK-TE: Terminálok
3. H-TAK-MA: Műanyag
4. H-TAK-EZ: Ezüst retag

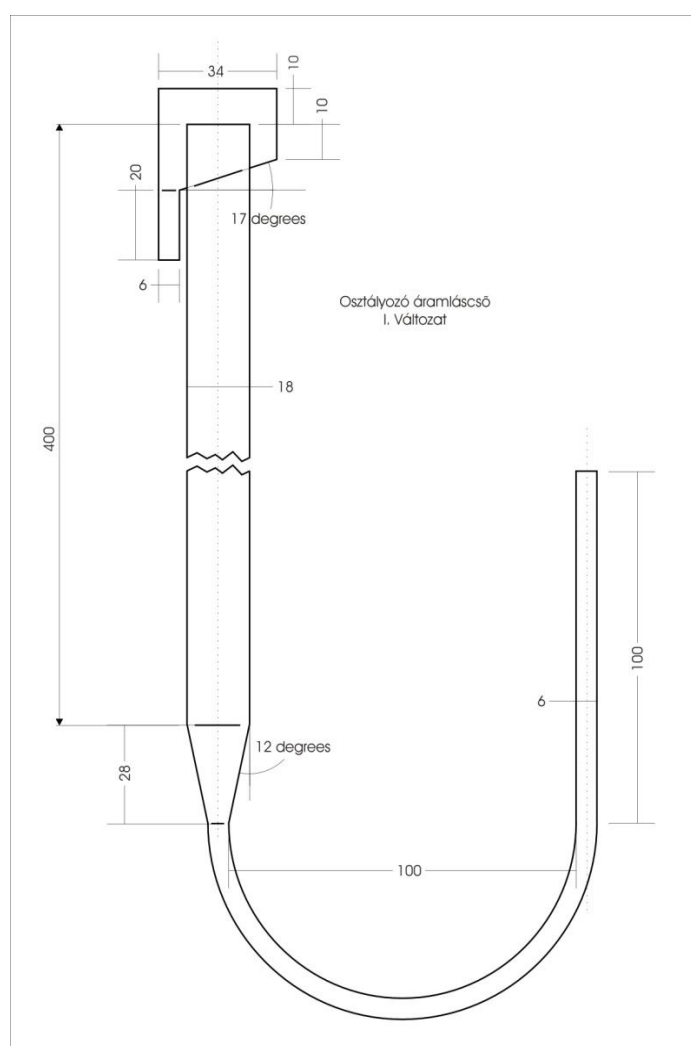
A kapott végtermékek elemzésre kerültek a MTA által.



26. ábra: a technológia végtermékei

6. Dúsító áramláscső

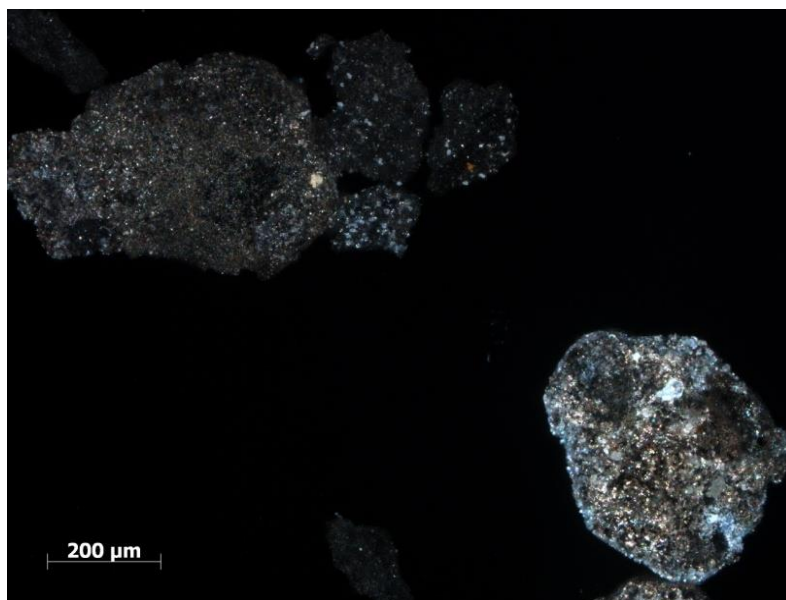
A tantál kondenzátorok előkészítését nemcsak a kidolgozott és már ismertett technológia segítségével vizsgáltam meg. Egy másik, alternatív út lehet az előkészítésre, hogy az SMD tantál kondenzátorokat közvetlenül bolygó malomba helyezem és 20 percen át őrlöm, majd a terminálokat szitalap segítségével leválasztom. Az így kapott terméket, amely tulajdonképpen a teljes kondenzátor őrleménye (főként műanyag a burkolatból, illetve a tantál tartalmú úgynevezett belső rész) egy dúsító áramláscső segítségével sűrűség szerint szeparálom. Az áramkészülékben az elválasztás alapját az anyagban található műanyag és fémtartalmú por szemcsék eltérő sűrűsége adja. A berendezés egy fixen rögzített víztartályból, és egy változtatható magasságú „U” alakú csőből áll (27. ábra).



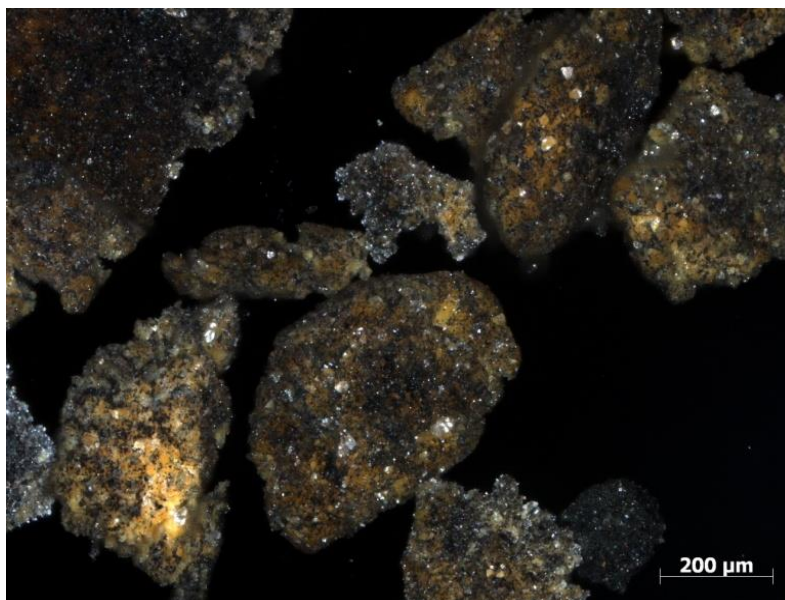
27.ábra: Az osztályozó áramláscső.

Az őrlött SMD tantál kondenzátorokat egy feladótartályban adom fel folyó víz mellett. Ezután az áramkészüléken található csavarok segítségével beállítom a víztartály vízszintje alá

a szétválasztó „U” alakú csövet. Mivel a víztartályban található víz szintje konstans, ezért a szétválasztó edény magasságának a változtatásával megváltozik a két edény vízszintjének egymáshoz képesti helyzete. A magasság különbségek következtében megváltozik az edényekben áramló víz sebessége. A könnyű termék az áramló víz hatására felemelkedik és az edény tetején távozik, míg a nehéz termék az áramkészülék aljára süllyed.



28.ábra: A keletkezett nehéz termék optikai mikroszkópos képe



29.ábra: A keletkezett könnyű termék optikai mikroszkópos képe

Az optikai mikroszkópos képek (18.-és 19.ábra) alapján elmondható hogy a vizsgálat

során a könnyű termék (tűzálló epoxi burkolat) és a nehéz termék (tantál, ezüst, mangán) szétválasztása sikeresen megtörtént.

7. Analitikai elemzés (ICP-MS)

A feltárás két lépésben, zárt mikrohullámú roncsolóban királyvízbe téve történik 100°C-on 120 percen keresztül.

7.1 Analitikára küldött mennyiségek

Egységek	Egység tömeg	%	Analitikára
$m_{\text{műanyagburkolat}}$	0,0134	47,02	6,7
$m_{\text{terminálok (negatív)}}$	0,0017	5,965	0,85
$m_{\text{terminálok (pozitív) (kapcsolódik Ta drót)}}$	0,0028	9,825	1,4
$m_{\text{anód}+\text{MnO}_2+\text{Ag}}$	0,0106	37,19	5,3
Σ	0,0285	100	14,25
Feldolgozandó mennyiség			
500			
Egységek	Ténylegesen analitikára küldött		
$m_{\text{műanyagburkolat}}$	3,55		
$m_{\text{terminálok (negatív)}}$	3,15		
$m_{\text{ezüst film (negatív terminálról)}}$	0,07		
$m_{\text{anód}+\text{MnO}_2+\text{Ag}}$	6,55		

7.2 Analitika után kapott eredmények

7.2.1 Anód

Az anód tiszta tantál fém porból alakítják ki. Az analitikai eredmények alapján észlelhető hogy a tantálon kívül más a belső szerkezetet alkotó anyag, mint a mangán, az ezüst és az ón is jelentkezik az elemzésben. Ez annak köszönhető, hogy a szétválasztással az anód nem választható le önmagában a belső szerkezetet alkotó mangán, ezüst és egyéb rétegekről, ehhez már kémiai eljárások szükségesek. A legnagyobb mennyiségben itt kellene jelentkeznie a tantál elemnek, de az esetleges szemcse összetapadások következtében nem ebben a frakcióban jelentkezik.

Al	800 mg/kg	Hg	58 mg/kg	Re	<0,3 mg/kg
As	<2 mg/kg	Ho	<0,3 mg/kg	Rh	<0,3 mg/kg
Au	1,4 mg/kg	In	<0,3 mg/kg	Ru	<0,3 mg/kg
B	400 mg/kg	Ir	<0,3 mg/kg	S	n.a. mg/kg
Ba	23 mg/kg	K	2100 mg/kg	Sb	2,5 mg/kg
Be	<0,3 mg/kg	La	14 mg/kg	Sc	<2 mg/kg
Bi	0,9 mg/kg	Li	<40 mg/kg	Si	n.a. mg/kg
Ca	1050 mg/kg	Lu	<0,3 mg/kg	Sm	<0,3 mg/kg
Cd	1,3 mg/kg	Mg	700 mg/kg	Sn	9550 mg/kg
Ce	6,4 mg/kg	Mn	108000 mg/kg	Sr	13 mg/kg
Co	10,1 mg/kg	Mo	8,6 mg/kg	Ta	5,6 mg/kg
Cr	401 mg/kg	Na	3200 mg/kg	Ti	112 mg/kg
Cu	2070 mg/kg	Nb	5,1 mg/kg	Tl	0,6 mg/kg
Dy	<0,3 mg/kg	Nd	2,4 mg/kg	Tm	<0,3 mg/kg
Er	<0,3 mg/kg	Ni	2790 mg/kg	V	1,4 mg/kg
Eu	<0,3 mg/kg	Os	<3 mg/kg	W	7,5 mg/kg
Fe	2410 mg/kg	P	1000 mg/kg	Y	0,4 mg/kg
Ga	3,2 mg/kg	Pb	79,7 mg/kg	Yb	<0,3 mg/kg
Ge	0,7 mg/kg	Pd	<0,3 mg/kg	Zn	1290 mg/kg
Gd	<0,3 mg/kg	Pr	1,4 mg/kg	Zr	30,1 mg/kg

7.2.2 Műanyag

A műanyag végterméket az ultrahangos fürdő vizének üleptetésével, majd szárításával kaptam meg. Ezért tapasztalható itt is, hogy a belső szerkezetet alkotó ezüst, vas és mangán is megtalálható benne.

Ag	2240 mg/kg	Hf	0,4 mg/kg	Pt	1 mg/kg
Al	1540 mg/kg	Hg	9 mg/kg	Re	<0,3 mg/kg
As	3 mg/kg	Ho	<0,3 mg/kg	Rh	<0,3 mg/kg
Au	0,7 mg/kg	In	<0,3 mg/kg	Ru	<0,3 mg/kg
B	400 mg/kg	Ir	<0,3 mg/kg	S	n.a. mg/kg
Ba	37 mg/kg	K	1800 mg/kg	Sb	1,2 mg/kg
Be	1,7 mg/kg	La	5 mg/kg	Sc	<2 mg/kg
Bi	0,7 mg/kg	Li	<40 mg/kg	Si	n.a. mg/kg
Ca	3220 mg/kg	Lu	<0,3 mg/kg	Sm	<0,3 mg/kg
Cd	1,5 mg/kg	Mg	880 mg/kg	Sn	782 mg/kg
Ce	4,3 mg/kg	Mn	2910 mg/kg	Sr	32 mg/kg
Co	2,9 mg/kg	Mo	10,4 mg/kg	Ta	3,6 mg/kg
Cr	194 mg/kg	Na	1900 mg/kg	Ti	538 mg/kg
Cu	<2 mg/kg	Nb	5,1 mg/kg	Tl	<0,7 mg/kg
Dy	<0,3 mg/kg	Nd	1,7 mg/kg	Tm	<0,3 mg/kg
Er	<0,3 mg/kg	Ni	140 mg/kg	V	4,6 mg/kg
Eu	<0,3 mg/kg	Os	<3 mg/kg	W	8,2 mg/kg
Fe	17200 mg/kg	P	1000 mg/kg	Y	1,8 mg/kg
Ga	0,5 mg/kg	Pb	205 mg/kg	Yb	<0,3 mg/kg
Ge	<0,3 mg/kg	Pd	<0,3 mg/kg	Zn	1060 mg/kg
Gd	<0,3 mg/kg	Pr	0,7 mg/kg	Zr	11 mg/kg

7.2.3 Terminál

A terminálokat vas, nikkel vagy réz építi fel. Az elemzés adataiból megfigyelhető, hogy a vizsgált anyag legnagyobb részét ezek az elemek adják, emelett található benne még nagy mennyiségben cink és ón is. A vas és a nikkel mágneses szeparálással könnyen kinyerhető. Ebben a mintában található meg a tantál elem a legnagyobb mennyiségben.

Ag	2260 mg/kg	Hf	<0,3 mg/kg	Pt	<1 mg/kg
Al	390 mg/kg	Hg	40 mg/kg	Re	<0,3 mg/kg
As	<2 mg/kg	Ho	<0,3 mg/kg	Rh	<0,3 mg/kg
Au	10,3 mg/kg	In	3 mg/kg	Ru	<0,3 mg/kg
B	314 mg/kg	Ir	<0,3 mg/kg	S	n.a. mg/kg
Ba	9 mg/kg	K	1400 mg/kg	Sb	2,4 mg/kg
Be	<0,3 mg/kg	La	2,6 mg/kg	Sc	<2 mg/kg
Bi	1,8 mg/kg	Li	<40 mg/kg	Si	n.a. mg/kg
Ca	410 mg/kg	Lu	<0,3 mg/kg	Sm	<0,3 mg/kg
Cd	1,7 mg/kg	Mg	180 mg/kg	Sn	24500 mg/kg
Ce	1,3 mg/kg	Mn	7890 mg/kg	Sr	5 mg/kg
Co	93 mg/kg	Mo	9 mg/kg	Ta	17,2 mg/kg
Cr	29,9 mg/kg	Na	2600 mg/kg	Ti	8 mg/kg
Cu	535000 mg/kg	Nb	5,5 mg/kg	Tl	<0,6 mg/kg
Dy	<0,3 mg/kg	Nd	0,5 mg/kg	Tm	<0,3 mg/kg
Er	<0,3 mg/kg	Ni	131000 mg/kg	V	<0,6 mg/kg
Eu	<0,3 mg/kg	Os	<3 mg/kg	W	8,5 mg/kg
Fe	1690 mg/kg	P	1000 mg/kg	Y	<0,3 mg/kg
Ga	0,3 mg/kg	Pb	78,2 mg/kg	Yb	<0,3 mg/kg
Ge	<0,3 mg/kg	Pd	1,6 mg/kg	Zn	111000 mg/kg
Gd	<0,3 mg/kg	Pr	<0,3 mg/kg	Zr	11,6 mg/kg

7.2.4 Ezüsfólia

Az ultrahangfürdőben a belső szerkezetről levált ezüst fólia számottevő mennyiségben megtalálható ezen végtermékünkben. Az anyag felületén itt is megtapadt az ultrahangos fürdő vizében lévő alumínium, mangán, nátrium, kálium, és cink, amely az ezüsfólia felületének leöblítésével eltávolítható, így visszamarad a tiszta ezüsfólia.

Ag	5450 mg/kg	Hf	1 mg/kg	Pt	<4 mg/kg
Al	2330 mg/kg	Hg	32 mg/kg	Re	<1 mg/kg
As	<6 mg/kg	Ho	<1 mg/kg	Rh	<1 mg/kg
Au	2 mg/kg	In	<1 mg/kg	Ru	<1 mg/kg
B	1800 mg/kg	Ir	<1 mg/kg	S	n.a. mg/kg
Ba	40 mg/kg	K	5800 mg/kg	Sb	6 mg/kg
Be	<1 mg/kg	La	32 mg/kg	Sc	<7 mg/kg
Bi	6 mg/kg	Li	<100 mg/kg	Si	n.a. mg/kg
Ca	1100 mg/kg	Lu	<1 mg/kg	Sm	<1 mg/kg
Cd	4 mg/kg	Mg	1000 mg/kg	Sn	1210 mg/kg
Ce	15 mg/kg	Mn	9650 mg/kg	Sr	21 mg/kg
Co	<2 mg/kg	Mo	21 mg/kg	Ta	12 mg/kg
Cr	28 mg/kg	Na	8800 mg/kg	Ti	96 mg/kg
Cu	<5 mg/kg	Nb	14 mg/kg	Tl	<2 mg/kg
Dy	<1 mg/kg	Nd	5 mg/kg	Tm	<1 mg/kg
Er	<1 mg/kg	Ni	50 mg/kg	V	4 mg/kg
Eu	<1 mg/kg	Os	<9 mg/kg	W	16 mg/kg
Fe	946 mg/kg	P	4000 mg/kg	Y	<1 mg/kg
Ga	1 mg/kg	Pb	326 mg/kg	Yb	<1 mg/kg
Ge	<1 mg/kg	Pd	<1 mg/kg	Zn	2160 mg/kg
Gd	<1 mg/kg	Pr	3 mg/kg	Zr	70 mg/kg

8.Összegzés

Kutatómunkám során a kondenzátorokban lévő tantál kinyerésére fókuszáltam, amelynek eredményeképpen a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetével közösen, egy mechanikai eljárást fejlesztettünk ki az elhasznált tantál kondenzátorok előkészítésére.

A kifejlesztett módszer első lépéseként az elhasznált és szétválogatott kondenzátorokat oxidációs eljárással kezeltem. Az oxidációs eljárás hatására a tűzálló epoxigyanta burkolat por állagúvá vált, míg a belső részek változatlanul megmaradtak. Következő lépésként a hőkezelt kondenzátorokat egy szitalapra helyezve ultrahangos fürdőbe tettem. Az ultrahangos fürdőben történő kezeléssel gyakorlatilag a teljes műanyag burkolatot sikerült eltávolítanom. Szárítást követően megmaradt részt bolygómalomban őröltem, majd szita segítségével eltávolítottam a pozitív és negatív terminálokat. A szétválasztott terminálok nagy tisztaságú fémes termékek, a kinyert tantál tartalmú belső rész további, kémiai módszerekkel feldolgozható.

A kutató munkám pozitív eredménnyel zárult, mivel a közösen kifejlesztett mechanikai eljárás által az SMD tantál kondenzátor külső burkolatát alkotó tűzálló epoxi réteg közel 40%-át sikerült eltávolítanom és a technológiai folyamat során kapott végtermékek viszonylag nagy tisztaságban tartalmaznak értékes fémeket.

9. Tartalomjegyzék

- [1] **CAPACITORGUIDE:** [HTTP://WWW.CAPACITORGUIDE.COM/TANTALUM-CAPACITOR/](http://www.capacitorguide.com/tantalum-capacitor/)
- [2] **Critical project:** <http://kritikuselemek.uni-miskolc.hu/>
- [3] **KEMET:**
[http://www.kemet.com/kemet/web/homepage/kechome.nsf/file/Product%20Release%20%20T521/\\$file/T521%20High%20Voltage%20Polymer%20CARTS%20Paper.pdf](http://www.kemet.com/kemet/web/homepage/kechome.nsf/file/Product%20Release%20%20T521/$file/T521%20High%20Voltage%20Polymer%20CARTS%20Paper.pdf);
http://www.kemet.com/Lists/ProductCatalog/Attachments/254/KEM_T2005_T491.pdf;
<http://www.gurufocus.com/news/208960/kemet-corporation-vertically-integrated-tantalum-capacitor-manufacturer>
- [4] OKA, H. AND KINZOKU (2002): **AGNE Gijutsu**. *Material Science and Technology* 72 (3), pp. 211-215
- [5] POLINARES working paper n. 28 March 2012: **Case study: Tantalum in the world economy history, uses, and demand**
- [6] Ryosuke Matsuoka¹, Kunio Mineta¹, Toru H. Okabe² **RECYCLING PROCESS FOR TANTALUM AND SOME OTHER METAL SCRAPS**
¹Graduate student, Graduate School of Engineering, University of Tokyo;
7-3-1 Hongo Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656, Japan ²Institute of Industrial Science,
University of Tokyo; 4-6-1 Komaba Meguro-ku, Tokyo, 153-8505, Japan
- [7] USGS (2010): **ComExt (CN 8103 20 00)**.
- [8] **VISHAY:** <http://www.vishay.com/docs/49615/sg2089.pdf>.
- [9] **Wikipédia:**<http://en.wikipedia.org/wiki/Tantalum>,
<http://hu.wikipedia.org/wiki/Tant%C3%A1l>;
http://hu.wikipedia.org/wiki/Kondenz%C3%A1tor_%28%C3%A1ramk%C3%B6ri_alkatr%C3%A9sz%29
- [10] Yadira Soto-Viruet, W. David Menzie, John F. Papp, and Thomas R. Yager
(December 11th 2013) **An Exploration in Mineral Supply Chain Mapping Using**

