

UNIVERSITAT DE BARCELONA

DEPARTAMENT DE QUÍMICA FÍSICA

*LABORATORI D'ELECTRODEPOSICIÓ I CORROSIÓ*

Làmines magnètiques d'aliatges base cobalt  
obtingudes per electrodeposició

Eva M. PELLICER VILÀ

Barcelona, setembre de 2005



Programa de doctorat de Tecnologia de Materials. Química Física.  
Bienni 2000-2002

## Làmines magnètiques d'aliatges base cobalt obtingudes per electrodeposició

Tesi que presenta Eva M. PELLICER VILÀ  
per optar al títol de Doctora per la Universitat de Barcelona

Directores de la Tesi:

Dra. Elisa VALLÉS GIMÉNEZ  
Professora Titular de Química Física  
Universitat de Barcelona

Dra. Elvira GÓMEZ VALENTÍN  
Professora Titular de Química Física  
Universitat de Barcelona

## Agraïments

---

Agraeixo profundament a la Dra. Elisa Vallés i a la Dra. Elvira Gómez tot el temps que m'han dedicat durant aquests anys i el suport moral incondicional que he rebut. Moltíssimes gràcies per tot el que m'heu ensenyat (que no és poc i us asseguro que no es troba als llibres).

Vull agrair també al Dr. Carlos Müller i a la Dra. Maria Sarret el tracte sempre amabilíssim que m'han dispensat durant aquests anys. Trobaré a faltar Electrodep, però espero que de tant en tant pugui venir a menjar-me un bocí d'ensaïmada.

A tots aquells amb qui vaig compartir els primers anys de tesi, quan el laboratori encara es deia LCTEM: el Mustapha, l'Eva G., la Teresa, el Rafa B., el Guidon i l'Albert. No voldria tampoc oblidar-me dels companys dels laboratoris veïns: el Ramon i la Lydia (sempre servicials), el Paco, el Joan Carles, el Micky, el Birame, el Natxo, la Cristina, l'Aleix, el Raul, l'Isma (que és un *punky*) i el Sergi. Sergi, recorda que si la ciència ens abandona, sempre ens quedarà Ablanatanalba.

«Vuestra maldita prima, esa bruja de Volanges, quería apartarme de Madame de Tourvel [...]» Al meu estimat amic Salvador, el *Valmont* d'Electrodep, amb qui he passat tan bones estones.

A l'Anna Amell, l'*alcavota* bona d'Electrodep, sempre disposada a escoltar-me. Gràcies per les correccions d'última hora!

Al Josep M., que ja ha tastat les patates Bufet d'Oliana, a la Yvette i a la Laura Sánchez.

A la Laia Vinsac (la *papallona*) i al Rafa N. (el *loro*) que m'han fet riure tant. Sens dubte que sense el vostre pas per Electrodep res hauria estat el mateix. Òsculs de tot cor.

Al Dr. Fausto Sanz, a la Dra. Rosa Albalat, al Dr. Enric Brillas, al Dr. Pere L. Cabot i al Dr. Francesc Mas pel seu tracte atent i amable durant tot aquest temps. També al Dr. Jaime de Andrés per la seva paciència amb mi i amb la bomba de buit.

A la gent dels Serveis Científicotècnics que durant aquests anys m'han ajudat i assessorat sàviament.

A la Pili, la meva professora de formes musicals, persona polièdrica com poques, a qui dec tantíssimes coses: les converses hipercalòriques, el troncomòbil, les *fnacades*, la Divina Comèdia, les tapes de vellut vermell... i el valor de l'amistat.

Al Xesco, el viatjador per excel·lència, que amb les seves postals aviat podré empaperar-me la paret de l'habitació i que sempre he sentit a prop malgrat la distància. Per cert, la picabaralla lingüística encara no s'ha acabat: què significa *foc d'encenalls*?

A les meves amigues d'allà dalt: la Loreto (l'assessora estilística del grup), la Gemma Ubach (sort en vam tenir del seu «arrambler les tables» en terres franceses!), l'Àngels Graell (la puntualitat en persona, amb qui he passat llargues estones esperant l'arribada de les altres damisel·les), la Domènech (l'experta en polímers, «en definitiva», tornada dels EUA), la Mireia Colom (l'espanta borinots del grup), la Pedescoll (*no es pot ser sexy!*) i la Núria Oliveras (que té projectes fins i tot a Cuenca).

A la música «art que, mitjançant l'ordenació dels sons en el temps, aconsegueix alliberar-te de les porqueries de la vida». A Bach, Beethoven, Wagner, Heitor Villalobos, Léo Brouwer, Barrios Mangoré, Oscar Peterson, Chick Corea, Brad Mehldau, Macy Gray, Eric Clapton, Tracy Chapman, Joe Satriani, Jamiroquai, U2... A la guitarra i a tots els professors/es que m'han ensenyat a gaudir de la seva música.

A Mercè Rodoreda, Pere Calders, Montserrat Roig, Jesús Moncada, Pere Quart, Miquel Martí i Pol, Josep Pla, Carme Riera, Empar Moliner... perquè els seus contes, poemes i novel·les m'han salvat de l'obscuritat.

Al Dr. Antonio Collado del Servei de Reumatologia de l'Hospital Clínic de Barcelona, que sempre ha tingut especial cura de la meva persona.

Als meus estimats pares Carme i Marcel·lí, que sé que ho donarien tot per mi, i a la resta de la meva família, sobretot als meus padrins (al padrí Pere que encara tinc amb mi i als que malauradament ja no hi són), a la meva tia Lurdes, a la meva cosina Gemma i al Batonet. Vull donar les gràcies especialment a la meva tia Mercè M., que sempre m'ha allargat la seva dolça mà quan l'he necessitada.

I novament a l'Albert, el noi CoCu, amb qui vaig començar compartint elèctrodes de referència i ara (el que són les coses) comparteixo, sortosament, la vida. Gràcies, estimat Albert, per deixar-me encetar al teu costat nous *camins, somnis i promeses*.

*Al meu germà Pere pel seu esperit de superació personal*

*Quan tot falli, llegeixi les instruccions*

Axioma de Cahn

*Després d'anàlisis acuradíssimes i exactes d'una mostra,  
sempre resulta que no era la mostra que s'havia d'analitzar*

Quarta llei de les revisions

## Índex

<b>1. Introducció</b>	1
1.1 Antecedents bibliogràfics de l'electrodeposició de cobalt-molibdè	5
1.2 Referències	8
<b>2. Objectius</b>	11
<b>3. Instrumentació i tècniques</b>	13
3.1 Estudis electroquímics	13
3.1.1 Aparells	13
3.1.2 Cel·la i elèctrodes	13
3.1.3 Dissolucions	16
3.1.4 Tècniques electroquímiques	16
3.2 Anàlisis de caracterització <i>ex situ</i>	19
3.2.1 Anàlisi morfològica	19
3.2.2 Anàlisi de la composició	20
3.2.3 Anàlisi estructural	23
3.2.4 Espectroscòpia Raman	24
3.2.5 Mesures de magnetisme	25
3.2.6 Mesures de rugositat	26
3.2.7 Mesura del gruix	27
3.2.8 Caracterització de microestructures	28
3.2.9 Espectroscòpia d'ultraviolat-visible	28
3.2.10 Mesura de la llüissor	29
3.2.11 Mesura de les propietats mecàniques	30
3.2.12 Alliberament de làmines	30

<b>4. Resultats</b>	<b>33</b>
4.1 Viabilitat de l'electrodeposició de cobalt-molibdè	33
4.1.1 Finalitat	33
4.1.2 <i>Electrodeposited cobalt-molybdenum magnetic materials</i>	35
4.1.3 Resum de resultats	43
4.2 Mecanisme de l'electrodeposició de cobalt-molibdè	45
4.2.1 Finalitat	45
4.2.2 <i>Detection and characterization of molybdenum oxides formed during the initial stages of cobalt-molybdenum electrodeposition</i>	47
<i>Extracting deposition parameters for cobalt-molybdenum alloy from potentiostatic current transients</i>	55
<i>Influence of the bath composition and the pH on the induced cobalt-molybdenum electrodeposition</i>	61
4.2.3 Resum de resultats	71
4.3 Preparació i caracterització de capes i microestructures Co-Mo	73
4.3.1 Finalitat	73
4.3.2 <i>Properties of Co-Mo coatings obtained by electrodeposition at pH=6.6</i>	75
<i>Electrodeposition of soft-magnetic cobalt-molybdenum coatings containing low molybdenum percentages</i>	83
<i>Microstructures of soft-magnetic cobalt-molybdenum alloy obtained by electrodeposition on seed-layer/silicon substrates</i>	91
<i>Developing plating baths for the production of cobalt-molybdenum films</i>	99
4.3.3 Resum de resultats	109



---

4.4	Mecanisme de l'electrodeposició de cobalt-níquel-molibdè	111
4.4.1	Finalitat	111
4.4.2	<i>An approach to the first stages of cobalt-nickel-molybdenum electrodeposition in sulphate-citrate medium</i>	113
	<i>Intermediate molybdenum oxides involved in binary and ternary induced electrodeposition</i>	123
4.4.3	Resum de resultats	131
4.5	Preparació i caracterització de capes Co-Ni-Mo	133
4.5.1	Finalitat	133
4.5.2	<i>Structural, magnetic and corrosion properties of electrodeposited cobalt-nickel-molybdenum alloys</i>	135
4.5.3	Resum de resultats	143
4.6	Implementació final dels electrodipòsits	145
4.6.1	Finalitat	145
4.6.2	<i>Molybdenum alloy electrodeposits for magnetic actuation</i>	149
4.6.3	Resum de resultats	179
<b>5.</b>	<b>Discussió</b>	<b>181</b>
<b>6.</b>	<b>Situació actual</b>	<b>189</b>
6.1	Referències	192
6.2	<i>Electrodeposition of cobalt-based alloys for MEMS applications</i>	197
<b>7.</b>	<b>Conclusions</b>	<b>223</b>