

**BIBLIOTECA
DE CIENCIAS**

LÁMINAS DELGADAS Y RECUBRIMIENTOS
Preparación, propiedades y aplicaciones

José M. Albella
(Editor)

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

LÁMINAS DELGADAS Y RECUBRIMIENTOS: PREPARACIÓN, PROPIEDADES y APLICACIONES

ÍNDICE de MATERIAS

I. GENERALIDADES

INTRODUCCIÓN: CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE CAPAS DELGADAS

(J. M. Albella)

1. QUÉ SE ENTIENDE POR ‘CAPA DELGADA’	25
2. LA TECNOLOGÍA DE LOS RECUBRIMIENTOS Y CAPAS DELGADAS EN LOS MODERNOS PROCESOS DE FABRICACIÓN	27
2.1 Aplicaciones de los recubrimientos	27
2.2 Requerimientos exigidos en el sistema recubrimiento/substrato	29
3. TÉCNICAS DE PREPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE CAPAS DELGADAS	32
3.1 Deposición de recubrimientos y capas delgadas.....	32
3.2 Criterios de selección de las técnicas de deposición.....	35
3.3 Caracterización estructural de las capas delgadas.....	37
4. OBJETIVOS Y ORGANIZACIÓN DEL LIBRO	40
BIBLIOGRAFÍA.....	41

1. TECNOLOGÍA DE VACÍO (J. L. De Segovia)

1. INTRODUCCIÓN	43
2. COMPORTAMIENTO DE LOS GASES A PRESIÓN REDUCIDA	44
2.1 Régimen de la circulación o de movimiento de los gases.....	44
2.2 Flujo de gas.....	45
2.3 Conductancia	46
2.4 Número de moléculas incidentes sobre una superficie: Tasas de adsorción y desorción de moléculas	47
2.5 Clasificación de los sistemas de vacío.....	48
3. DINÁMICA Y COMPONENTES BÁSICOS DEL SISTEMA DE VACÍO	48
3.1 Evacuación de un sistema de vacío.....	50
4. BOMBAS DE VACÍO.....	53
4.1 Bombas de desplazamiento positivo.....	53
4.2 Bombas de captura.....	59

5. MEDIDA DEL VACÍO	62
5.1 Manómetro de capacitancia	63
5.2 Manómetros de conductividad térmica.....	64
5.3 Manómetros de ionización.....	66
5.4 Analizador de gas residual. Espectrómetro de masas	68
6. DETECCIÓN DE FUGAS	70
BIBLIOGRAFÍA	71

2. DESCARGAS ELÉCTRICAS EN GASES: PLASMAS

(F. J. Gordillo Vázquez y J. M. Albella)

1. DESCARGAS ELÉCTRICAS EN GASES: CONCEPTOS BÁSICOS	73
1.1 Definición de plasma y algunas de sus características	74
1.2 Utilidad de los plasmas en el procesado de materiales.....	79
2. DESCARGAS EN CORRIENTE CONTINUA	80
2.1 Plasmas producidos en descargas de corriente continua	81
2.2 Zonas luminosas en las descargas de corriente continua entre dos electrodos	83
2.3 Ley de Paschen.....	85
2.4 Descargas en arco	86
3. PLASMAS PRODUCIDOS EN DESCARGAS DE CORRIENTE ALTERNA	87
3.1 Plasmas producidos entre dos electrodos: descargas capacitivas	87
3.2 Plasmas producidos por inducción: descargas inductivas de RF.....	89
3.3 Plasmas producidos por microondas	90
4. TÉCNICAS DE DIAGNOSIS DEL PLASMA: SONDA DE LANGMUIR	91
5. APLICACIÓN DE LOS PLASMAS AL PROCESADO DE MATERIALES	94
5.1 Depósito en fase vapor asistido por plasma.....	95
5.2 Ataque por plasma (“plasma etching”).....	96
5.3 Concepto de “plasmatrón” en corriente continua y alterna. Usos industriales	97
6. RESUMEN Y CONCLUSIONES	97
BIBLIOGRAFÍA	98

3. MECANISMOS DE NUCLEACIÓN Y CRECIMIENTO DE CAPAS

DELGADAS (J. M. Albella)

1. INTRODUCCIÓN: ETAPAS EN EL CRECIMIENTO DE CAPAS DELGADAS.....	101
2. LLEGADA Y ACOMODACIÓN DE ÁTOMOS SOBRE LA SUPERFICIE.....	103
3. ADSORCIÓN/ DESORCIÓN SOBRE LA SUPERFICIE DEL SUBSTRATO.....	105
4. DIFUSIÓN SUPERFICIAL (HASTA LA INCORPORACIÓN)	107
5. NUCLEACIÓN Y PRIMEROS ESTADIOS DEL CRECIMIENTO DE LA PELÍCULA	110
5.1 Mecanismo de nucleación de Volmer-Weber (formación de islas).....	112
5.2 Mecanismo de Frank-van der Merwe (monocapas)	118
6. CRECIMIENTO DE CAPAS CONTINUAS: INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DEL PROCESO	119
6.1 Evolución de la microestructura de las capas depositadas (según el modelo MD)	120
BIBLIOGRAFÍA	123

II. PREPARACIÓN DE CAPAS DELGADAS

4. EVAPORACIÓN TÉRMICA Y OTRAS TÉCNICAS DE EVAPORACIÓN (J. M. Albella)

1. EVAPORACIÓN TÉRMICA EN VACÍO: FUNDAMENTOS	127
1.1 Modelo de Hertz-Knudsen para la evaporación en vacío	128
1.2 Cálculo del espesor depositado: Efecto de la direccionalidad.	131
2. MÉTODOS DE EVAPORACIÓN TÉRMICA	133
2.1 Calentamiento resistivo.....	133
2.2 Evaporación mediante bombardeo de electrones.....	134
3. EVAPORACIÓN DE ALEACIONES, MEZCLAS Y COMPUESTOS	136
3.1 Evaporación directa	136
3.2 Evaporación reactiva.....	137
4. OTROS MÉTODOS DE EVAPORACIÓN	139
4.1 Plateado iónico ('ion plating')	139
4.2 Evaporación por arco catódico	140
4.3 Proyección térmica ('Thermal spraying').....	142
BIBLIOGRAFÍA.....	146

5. DEPOSICIÓN MEDIANTE PULVERIZACIÓN CATÓDICA (‘SPUTTERING’) (J. M. Albella)

1. INTRODUCCIÓN: FUNDAMENTOS DE LA TÉCNICA DE PULVERIZACIÓN CATÓDICA O ‘SPUTTERING’	147
2. MECANISMOS BÁSICOS DE 'SPUTTERING'	150
2.1 Modelo de colisión entre dos partículas.....	150
2.2 Consideraciones energéticas	152
2.3 Rendimiento de sputtering	153
3. SPUTTERING DE ALEACIONES Y COMPUESTOS.....	155
4. TÉCNICAS DE SPUTTERING EN CORRIENTE CONTINUA	156
4.1 Diodo planar	156
4.2 ‘Sputtering’ magnetrón: diferentes configuraciones.....	157
4.3 ‘Sputtering’ magnetrón no-balanceado.....	160
5. SPUTTERING EN CORRIENTE ALTERNA (RF)	162
6. SPUTTERING REACTIVO	163
7. RESUMEN Y CONCLUSIONES	167
BIBLIOGRAFÍA.....	168

6. DEPÓSITO Y MODIFICACIÓN DE CAPAS MEDIANTE HACES DE IONES (I. Jiménez y R. Gago)

1. INTRODUCCIÓN	169
2. INTERACCIÓN IÓN-SÓLIDO	170
2.1 Procesos inducidos por el bombardeo iónico en superficies.....	170
2.2 Efectos del bombardeo iónico sobre las propiedades de las capas	173

3. INSTRUMENTACIÓN.....	174
3.1 Fuentes de iones	174
3.2 Diagnóstico del haz de iones	178
4. TÉCNICAS DE MODIFICACIÓN Y DEPOSICIÓN	179
4.1 Limpieza de muestras y ataque por iones	180
4.2 Deposición directa	181
4.3 Pulverización por haz de iones	181
4.4 Deposición asistida con iones (IBAD)	182
4.5 Implantación de iones.....	185
BIBLIOGRAFÍA	188

7. EPITAXIA POR HACES MOLECULARES (MOLECULAR BEAM EPITAXY), MBE (A. Ruiz y L. González)

1. INTRODUCCIÓN: CRECIMIENTO EPITAXIAL.....	189
2. DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA	192
2.1 Definición y fundamentos	192
2.2 Configuración general y características básicas de un equipo MBE	195
2.3 Condiciones de UHV	197
2.4 Elementos de evaporación	198
2.5 Manipulador y sistemas de transferencia.....	200
2.6 Técnicas de caracterización más usuales	201
3. PROCESO DE CRECIMIENTO.....	203
4. MODIFICACIONES AL PROCESO DE CRECIMIENTO MBE.....	207
4.1 Atomic layer MBE (ALMBE), migration enhanced epitaxy (MEE).....	207
4.2 ‘Gas-source MBE’ (GSMBE), ‘metalorganic MBE’ (MOMBE), ‘chemical beam epitaxy’ (CBE), ‘plasma-assisted’ MBE (PA-MBE).....	209
5. CONCLUSIONES	211
BIBLIOGRAFÍA	213

8. DEPÓSITO POR LÁSER PULSADO (PLD) (C. N. Afonso y J. Gonzalo)

1. INTRODUCCIÓN	215
1.1 Características de la técnica de PLD	216
2. ASPECTOS BÁSICOS DE LA TÉCNICA DE PLD.....	220
2.1 Interacción láser-blanco.....	220
2.2 Interacción láser-material eyectado	224
2.3 Expansión del plasma	225
2.4 Síntesis de láminas delgadas.....	232
3. EJEMPLOS DE MATERIALES PRODUCIDOS POR PLD	234
BIBLIOGRAFÍA	236

9. PREPARACIÓN DE RECUBRIMIENTOS MEDIANTE DEPOSICIÓN QUÍMICA EN FASE VAPOR (CVD) C. Gómez-Aleixandre y S. I. Castañeda)

1. INTRODUCCIÓN	239
2. FUNDAMENTO DE LOS PROCESOS DE CVD	241
2.1 Tipos de reacción de CVD	242
2.2 Reacciones químicas en CVD.....	242
2.3 Cinética de las reacciones de CVD	243
3. CLASIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE CVD	249
3.1 Activación térmica	250
3.2 Activación por plasma	251
3.3 Activación por fotones.....	253
4. EQUIPOS DE PRODUCCIÓN MEDIANTE LA TÉCNICA DE CVD	254
5. ALGUNOS EJEMPLOS DE PROCESOS DE CVD.....	256
5.1 Recubrimientos basados en óxido y nitruro de silicio	256
5.2 Recubrimientos de nitruro de boro (BN) y compuestos ternarios relacionados (Si-B-N y C-B-N)	258
6. RESUMEN Y CONCLUSIONES	259
BIBLIOGRAFÍA	260

10. TÉCNICAS DE CVD ASISTIDAS POR PLASMA (PECVD) Y LÁSER (F. J. Gordillo Vázquez y O. Sánchez Garrido)

1. INTRODUCCIÓN: ASPECTOS GENERALES	263
2. MECANISMOS DE ACTIVACIÓN DEL PLASMA.....	265
2.1 Procesos de ruptura eléctrica: transformación de un gas en un plasma	265
2.2 Procesos de colisiones en plasmas: colisiones elásticas e inelásticas	265
2.3 Procesos radiativos	269
3. PLASMAS PRODUCIDOS EN DESCARGAS DE CORRIENTE ALTERNA	270
3.1 Fenómenos producidos en descargas de corriente alterna	270
4. TÉCNICAS DE CVD ASISTIDAS POR PLASMA (PECVD)	275
4.1 Etapas principales en el proceso de depósito mediante técnicas de PECVD.....	275
4.2 Equipos de CVD asistido por plasma	278
4.3 Reactores de PECVD en corriente alterna	279
5. TÉCNICAS DE DEPÓSITO ASISTIDAS POR LÁSER (FOTO-CVD o LÁSER-CVD).....	282
5.1 Modos de activación	282
5.2 Fuentes ópticas.....	284
6. ALGUNOS EJEMPLOS DE PROCESOS PECVD	285
6.1 Películas delgadas de oxinitruros de silicio	285
6.2 Recubrimiento de diamante policristalino	286
6.3 Ejemplos de materiales crecidos por foto-CVD	287
BIBLIOGRAFÍA.....	289

11. PREPARACIÓN DE RECUBRIMIENTOS MEDIANTE DEPOSICIÓN QUÍMICA EN FASE LÍQUIDA (I. Montero Herrero)

1. INTRODUCCIÓN. Crecimiento de películas inorgánicas a partir de la fase líquida	291
2. PROCESOS ELECTROQUÍMICOS	292
2.1 Celdas o reactores químicos	292
2.2 Teoría de la doble capa. Escala absoluta de potenciales	295
2.3 Cinética de electrodo	299
2.4 Métodos experimentales de estudio de los procesos electroquímicos	300
3. MÉTODOS QUÍMICOS Y ELECTROQUÍMICOS DE DEPÓSITO	303
3.1 Depósito por reacción química	303
3.2 Electrodeposición de metales, aleaciones y semiconductores	304
3.3 Comparación de los métodos químicos y electroquímicos de deposición de recubrimientos	305
4. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	306
4.1 Pulido electroquímico y químico	306
4.2 Recubrimientos de conversión	307
4.3 Procesos de oxidación de metales y semiconductores	307
4.4 Procesos termoquímicos de cementación, nitruración y carbonitruración del acero	311
4.5 La hidruración	314
4.6 Tratamientos por ataque químico. Silicio poroso	314
5. SIMULACIÓN DE PROCESOS SUPERFICIALES. DINÁMICA MOLECULAR Y MÉTODOS DE MONTECARLO	315
BIBLIOGRAFÍA	317

12. PREPARACIÓN DE RECUBRIMIENTOS POR SOL-GEL (M. Zayat y D. Levy)

1. INTRODUCCIÓN	319
1.1 El proceso "Sol-Gel"	320
1.2 Etapas del proceso Sol-Gel	321
1.3 Cerámicas modificadas orgánicamente (ormocers)	324
1.4 Matrices Sol-Gel dopadas	325
1.5 Ventajas fundamentales del proceso Sol-Gel	326
1.6 Preparación típica de materiales vía Sol-Gel	326
2. PREPARACIÓN DE PELÍCULAS DELGADAS POR SOL-GEL	327
2.1 Recubrimientos Sol-Gel	327
2.2 Las técnicas de inmersión Dip-Coating (DC) y centrifugado ó Spin-Coating (SC)	328
2.3 Otros Parámetros que Afectan a las Técnicas de Deposición	331
3. APLICACIONES Y EJEMPLOS MÁS REPRESENTATIVOS	331
4. RESUMEN Y CONCLUSIONES	334
BIBLIOGRAFÍA	334

III. CARACTERIZACIÓN DE CAPAS DELGADAS

13. MEDIDA DEL ESPESOR Y ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD (L. Vázquez)

1. INTRODUCCIÓN	337
2. MÉTODOS DE MEDIDA DE ESPESORES	338
2.1 Métodos de pesada.....	338
2.2 Resonador de cuarzo.....	338
2.3 Métodos eléctricos	340
2.4 Métodos ópticos.....	341
3. MÉTODOS DE MEDIDA Y ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD	347
3.1 Parámetros que describen una superficie.....	348
3.2 Medida de la rugosidad.....	353
3.3 Comparación de las distintas técnicas.....	360
4. APÉNDICE: TEORÍA DEL ESCALADO DINÁMICO.....	361
BIBLIOGRAFÍA.....	363

14. MÉTODOS ÓPTICOS (F. Agulló-Rueda y R. Serna)

1. INTRODUCCIÓN	365
1.1 La luz y el espectro electromagnético.....	366
2. INTERACCIÓN DE LA LUZ CON LOS MATERIALES	368
2.1 Coeficientes ópticos.....	369
2.2 Dispersión	370
2.3 Reflexión y refracción en una intercara plana	370
2.4 Absorción.....	372
2.5 Luminiscencia.....	373
2.6 Interferencia.....	373
2.7 Esparcimiento o dispersión.....	374
2.8 El color de los materiales.....	374
3. TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN ÓPTICA.....	375
3.1 Reflectancia y transmitancia (infrarrojo, visible y ultravioleta)	375
3.2 Elipsometría.....	377
3.3 Espectroscopía de fluorescencia	381
3.4 Espectroscopía vibracional: infrarrojo y Raman.....	383
BIBLIOGRAFÍA.....	388

15. TÉCNICAS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X (C. Prieto y A. de Andrés)

1. INTRODUCCIÓN: ESTRUCTURA MICROSCÓPICA Y PROPIEDADES DE UN MATERIAL	389
1.1 Sólidos cristalinos y amorfos.....	390
1.2 Cristales: Redes de Bravais. Vectores de red. Celda unidad. Red recíproca	392
2. DIFRACCIÓN DE RAYOS X (“ALTO ÁNGULO”).....	394
2.1 Difracción de rayos X por una red periódica. Ley de Bragg	395

2.2	Factor electrónico, factor de forma atómico y factor de estructura	397
2.3	Geometría Bragg-Brentano: Sistemas experimentales para láminas delgadas	398
2.4	Geometría de incidencia rasante.....	400
2.5	Identificación de fases cristalográficas. Grado de cristalinidad. Orientación preferencial. Análisis de texturas.....	401
3.	REFLECTIVIDAD DE RAYOS X (“BAJO ANGULO”)	405
3.1	Introducción.....	405
3.2	Geometría especular de reflexión de rayos X. Determinación del grosor de una película delgada.....	406
3.3	Geometría no-especular de reflexión de rayos X	408
3.4	Aplicación en sistemas multicapa. Determinación de la periodicidad y de la calidad de las interfases.....	411
3.5	Análisis de los datos de sistemas multicapa	413
	BIBLIOGRAFÍA	415

16. ESPECTROSCOPIAS ELECTRÓNICAS (Auger y XPS) (M. Fernández)

1.	INTRODUCCIÓN	417
2.	ESPECTROSCOPIAS DE SUPERFICIE. INSTRUMENTACIÓN	418
2.1	Procesos electrónicos básicos.....	418
2.2	Instrumentación: Fuentes de excitación. Analizador.....	420
3.	INFORMACIÓN ESPECTRAL.....	425
3.1	El espectro de electrones secundarios	426
3.2	El espectro de fotoelectrones de rayos x. Estructura primaria.....	429
4.	CUANTIFICACIÓN DE ESPECTROS EN AES Y XPS	432
4.1	Cálculo de la intensidad. Formalismo básico	432
4.2	Perfiles de concentración.....	434
5.	APLICACIONES	436
	BIBLIOGRAFÍA	440

17. ANÁLISIS CON HACES DE IONES: RBS, ERDA, PIXE, NRA Y SIMS (I. Montero Herrero y R. Gago)

1.	CONCEPTOS GENERALES DE LAS TÉCNICAS DE ANÁLISIS CON HACES DE IONES.....	441
2.	INSTRUMENTACIÓN PARA EL ANÁLISIS CON HACES DE IONES.....	443
2.1	Aceleradores lineales del haz de iones	444
3.	ESPECTROSCOPIA DE RETRODISPERSIÓN RUTHERFORD (RBS).....	445
3.1	Conceptos generales de la técnica RBS.....	445
3.2	Principios básicos. Expresiones analíticas.....	446
3.3	Interpretación de espectros de RBS. Ejemplos de análisis de películas delgadas	449
3.4	Efecto de canalización o “channeling”. Ordenamiento atómico en el sólido.	451
4.	RETROCESO ELÁSTICO DE IONES (ERDA)	452
4.1	Conceptos generales de la técnica ERDA	452
4.2	Expresiones analíticas: Factor cinemático y sección eficaz del proceso	452
4.3	Distintas configuraciones experimentales	453

5. EMISIÓN DE RAYOS-X INDUCIDA POR EL BOMBARDEO DE PARTÍCULAS ENERGÉTICAS (PIXE).....	456
5.1 Conceptos generales de la técnica PIXE.....	456
5.2 Microanálisis PIXE.....	457
5.3 Cuantificación de los espectros PIXE. Utilización de muestras de referencia	459
6. ANÁLISIS MEDIANTE REACCIONES NUCLEARES (NRA)	459
6.1 Reacciones nucleares. Resolución de la interacción nuclear	459
6.2 Ejemplos de reacciones nucleares.....	461
6.3 Tipos de análisis NRA. Perfiles de concentración.....	461
7. ESPECTROMETRÍA DE MASAS DE IONES SECUNDARIOS (SIMS)	463
7.1 Introducción a la técnica SIMS.....	463
7.2 SIMS estático y dinámico	464
7.3 Equipo de análisis: analizadores magnéticos y cuadrupolos	465
BIBLIOGRAFÍA.....	466

18. TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN CON RADIACIÓN SINCROTRÓN (I. Jiménez)

1. INTRODUCCIÓN	467
1.1 La radiación sincrotrón	467
1.2 Características de la radiación sincrotrón	468
2. INSTALACIONES Y EQUIPAMIENTO	470
2.1 Aceleradores de partículas	470
2.2 Dispositivos de inserción: osciladores y onduladores.	472
2.3 Líneas de luz	473
3. ASPECTOS DE LA INTERACCIÓN RADIACIÓN-MATERIA	474
3.1 Interacción inelástica fotón-materia: absorción y emisión	475
3.2 Aspectos de la interacción elástica radiación-materia: difracción	476
4. INTERACCIÓN INELÁSTICA: TÉCNICAS ESPECTROSCÓPICAS	477
4.1 Absorción de rayos X	477
4.2 Fotoemisión	484
4.3 Fluorescencia o emisión de rayos X	486
4.4 Dicroísmo magnético.....	488
4.5 Técnicas con imagen: espectro-microscopías	488
5. INTERACCIÓN ELÁSTICA: TÉCNICAS DE DIFRACCIÓN	490
5.1 Técnicas basadas en el alto flujo de fotones	490
5.2 Técnicas basadas en la selección de la energía del fotón.....	491
5.3 Técnicas basadas en la estructura de tiempos del haz de rayos X	492
5.4 Técnicas basadas en la polarización de la luz.....	492
BIBLIOGRAFÍA.....	492

19. LA MICROSCOPIA PARA EL ESTUDIO DE MATERIALES Y LÁMINAS DELGADAS (J.A. Martín Gago)

1. INTRODUCCIÓN A LA MICROSCOPIA DE MATERIALES	495
2. EL MICROSCOPIO ÓPTICO	498

3. MICROSCOPIOS ELECTRÓNICOS	500
3.1 El Microscopio electrónico de barrido (SEM).....	501
3.2 Análisis cuantitativo de Rayos X.....	505
3.3 Microscopio de transmisión electrónico (TEM).....	505
3.4 Microscopías con resolución química: Microscopía Auger y de rayos X	506
4. MICROSCOPIOS DE CAMPO CERCANO: STM Y AFM	507
BIBLIOGRAFÍA	513

20. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS RECUBRIMIENTOS

(J. M. Albella)

1. INTRODUCCIÓN	515
2. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES.....	516
2.1 Propiedades elásticas	516
2.2 Otras magnitudes elásticas.....	519
3. PROPIEDADES TRIBOLÓGICAS Y OTRAS MAGNITUDES MECÁNICAS ASOCIADAS A CAPAS DELGADAS	520
3.1 Fricción ó rozamiento.....	521
3.2 Desgaste.....	523
3.3 Tensiones residuales	525
3.4 Adherencia.....	527
4. MEDIDA DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE RECUBRIMIENTOS.....	530
4.1 Modulo elástico y dureza: Técnica de indentación.....	530
4.2 Coeficiente de desgaste y de fricción: Técnica de ‘Punta sobre Disco’	534
4.3 Adhesión y rayado.....	535
4.4 Tensiones residuales	537
5. RESUMEN Y CONCLUSIONES	539
BIBLIOGRAFÍA	540

IV. PROPIEDADES Y APLICACIONES

21. APLICACIONES MECÁNICAS DE LOS RECUBRIMIENTOS

(J. M. Albella)

1. INTRODUCCIÓN	543
2. SELECCIÓN DE MATERIALES.....	545
2.1 Recubrimientos duros.....	547
2.2 Recubrimientos blandos	555
3. ESTRUCTURA DE LOS RECUBRIMIENTOS	557
4. TÉCNICAS DE DEPOSICIÓN DE RECUBRIMIENTOS PARA APLICACIONES MECÁNICAS.....	561
5. APLICACIONES TRIBOLÓGICAS DE LOS RECUBRIMIENTOS	565
5.1 Herramientas de corte.....	565

5.2 Prótesis biomédicas.....	567
BIBLIOGRAFÍA.....	569

22. APLICACIONES QUÍMICAS DE LOS RECUBRIMIENTOS: PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN (J. J de Damborenea)

1. ASPECTOS GENERALES: Importancia de la corrosión y de los métodos de protección.....	571
2. FUNDAMENTOS BÁSICOS DE CORROSIÓN	572
2.1 Nociones de corrosión a alta temperatura.....	572
2.2 Nociones de corrosión electroquímica.....	576
2.3 Formas de corrosión electroquímica y métodos de protección.....	579
3. MÉTODOS DE PROTECCIÓN FRENTE A LA CORROSIÓN MEDIANTE CAPAS DELGADAS	581
4. IMPLANTACIÓN IÓNICA	584
5. TRATAMIENTOS CON LÁSER.....	590
6. CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE FUTURO	594
BIBLIOGRAFÍA.....	596

23. APLICACIONES EN MICROELECTRÓNICA Y FOTÓNICA (F. Agulló-Rueda y J. M. Albella)

1. INTRODUCCIÓN	597
2. PROPIEDADES GENERALES DE LOS SEMICONDUCTORES	598
2.1 Fenómenos de conducción y modelo de bandas de energía.....	599
2.2 Absorción de luz y luminiscencia	600
2.3 Semiconductores dopados.....	601
2.4 Diodos de unión	601
2.5 Nanoestructuras	603
3. EJEMPLOS DE MATERIALES USADOS EN MICRO- Y OPTO- ELECTRÓNICA	604
3.1 Semiconductores	604
3.2 Capas aislantes y conductoras.....	605
4. APLICACIONES EN MICROELECTRÓNICA.....	607
4.1 Tecnología planar	607
4.2 Fotolitografía	608
5. APLICACIONES OPTOELECTRÓNICAS	611
5.1 Diodo emisor de luz (LED)	611
5.2 Diodos láser	612
5.3 Paneles electroluminiscentes	614
5.4 Fotodetectores.....	615
5.5 Células solares	617
BIBLIOGRAFÍA.....	619

24. PROPIEDADES ÓPTICAS DE CAPAS DELGADAS. APLICACIONES (R. Serna y F. Agulló-Rueda)

1. INTRODUCCIÓN	621
1.1 ¿Por qué usamos recubrimientos ópticos en capa delgada?.....	621

1.2	1.2 Materiales para recubrimientos ópticos: características	623
2.	2. PROPIEDADES ÓPTICAS DE CAPAS DELGADAS HOMOGÉNEAS Y DE MULTICAPAS.....	624
2.1	2.1 Propiedades ópticas de multicapas. Diseño	624
3.	3. APLICACIONES EN COMPONENTES ÓPTICOS	626
3.1	3.1 Recubrimientos antirreflectantes	626
3.2	3.2 Espejos (reflectores) y divisores de haz	627
3.3	3.3 Atenuadores, partidores de haz y polarizadores	629
3.4	3.4 Filtros ópticos	629
3.5	3.5 Aplicaciones en telecomunicaciones y redes locales.....	635
3.6	3.6 Aplicaciones relacionadas con la conservación de energía, y en elementos de arquitectura y automoción	636
3.7	3.7 Efectos medioambientales	637
4.	4. RECUBRIMIENTOS ÓPTICOS ACTIVOS	638
4.1	4.1 Recubrimientos termocrómicos, fotocromicos y electrocromicos	639
4.2	4.2 Los recubrimientos electrocromicos como modelo de recubrimientos activos. Ejemplo de dispositivo	640
4.3	4.3 Aplicaciones. Pantallas electrocromicas y ventanas ‘inteligentes’	641
	BIBLIOGRAFÍA	642

25. APLICACIONES DE LAS LÁMINAS DELGADAS EN ÓPTICA INTEGRADA (C. N. Afonso y J. Solís)

1.	1. INTRODUCCIÓN	643
2.	2. LA GUÍA DIELECTRICA	644
3.	3. GUÍAS ACANALADAS.....	648
3.1	3.1 El acoplador en Y	649
3.2	3.2 El acoplador direccional	650
4.	4. SISTEMAS ACTIVADOS POR MÉTODOS NO-ÓPTICOS	650
4.1	4.1 Moduladores acusto-ópticos	651
4.2	4.2 Moduladores electro-ópticos	652
4.3	4.3 Moduladores en guía de onda.....	653
5.	5. SISTEMAS ACTIVADOS ÓPTICAMENTE.....	654
5.1	5.1 Sistemas ópticos no lineales	655
5.2	5.2 Sistemas de ganancia	657
6.	6. SISTEMAS MIXTOS.....	659
	BIBLIOGRAFÍA	660

26. PROPIEDADES Y APLICACIONES MAGNÉTICAS (J. M. González)

1.	1. INTRODUCCIÓN: DEL MOMENTO MAGNÉTICO A LA HISTÉRESIS	661
1.1	1.1 Momentos magnéticos.....	662
1.2	1.2 El orden magnético.....	663
1.3	1.3 Anisotropías magnéticas.....	664
1.4	1.4 La histéresis	665
1.5	1.5 Temperaturas finitas y propiedades magnéticas	666

2. PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE SUPERFICIES E INTERCARAS SENSIBLES AL TAMAÑO	667
2.1 Super-paramagnetismo	667
2.2 Momentos magnéticos, temperaturas de orden y anisotropías de superficie e intercara ...	668
3. FENOMENOLOGÍA MAGNÉTICA EN PELÍCULAS DELGADAS DE INTERÉS PARA LA TECNOLOGÍA.....	669
4. APLICACIONES DE LAS PELÍCULAS DELGADAS MAGNÉTICAS	671
4.1 Transformadores	672
4.2 Sensores y actuadores	672
4.3 Dispositivos micro-electromecánicos	674
4.4 Registro magnético	676
4.5 Magneto-electrónica	678
5. BIBLIOGRAFÍA	680
ÍNDICE DE MATERIAS -----	685