



توهرو واتانابه

جلد اول

آبکاری درمقیاس نانو

مترجمین:

فرزاد کارگر - مجید لاله

سرشناسه : واتانابه، توهر و
 Watanabe, Tohru
 عنوان و نام پدیدآور : آبرکاری در مقیاس نانو/توهر و واتانابه؛ مترجمین فرزاد کارگر، مجید لاله.
 مشخصات نشر : تهران : چرتکه ، ۱۳۹۰ -
 مشخصات ظاهری : ج.: مصور، جدول، نمودار.
 شابک : ۸۹۰۰۰ ریا: 8-73-964-978
 وضعیت فهرست نویسی : فیها
 یادداشت : عنوان اصلی: Nano-plating: microstructure control theory of plated film and data base of plated film microstructure.
 موضوع : آبرکاری
 موضوع : مواد نانو ساختار
 شناسه افزوده : لاله، مجید، ۱۳۶۳ -، مترجم
 شناسه افزوده : کارگر، فرزاد، ۱۳۶۲ -، مترجم
 رده بندی کنگره : ۱۳۹۰ / ۷۲۱ / TS۶۷۰
 رده بندی دیویی : ۶۷۱ / ۷۲
 شماره کتابشناسی ملی : ۲۵۱۲۸۵۹



انتشارات چرتکه

نام کتاب : آبرکاری در مقیاس نانو / جلد اول

ناشر : انتشارات چرتکه

مؤلف : توهر و واتانابه

مترجمین : فرزاد کارگر - مجید لاله

صفحه آرایي : هفت رنگ گرافیک (امیر میکائیل زاده)

لیتوگرافی : امیدگرافیک

نوبت چاپ : اول - پائیز ۱۳۹۰

چاپ : حدیث

صحافی : کیمیا

ناظر فنی چاپ : محسن پورحسین

تیراژ : ۶۰۰ جلد

بها : ۸۹۰۰ تومان

شابک : ۹۷۸-۹۶۴-۶۴۶۳-۷۳-۸

مراکز پخش:

۱- تهران. میدان انقلاب. ابتدای جلالزاده جنوبی. کوچه جهانگرد، شماره ۱۳. نشر آترا - تلفن: ۶۶۹۲۲۰۸۲

۲- تهران. خیابان انقلاب. روبروی دانشگاه تهران. ابتدای خیابان ۱۲ فروردین. پلاک ۳۲۴. کتابفروشی هنر- تلفن: ۶۶۴۹۲۲۴۲

۳- تهران. خیابان انقلاب. روبروی دبیرخانه دانشگاه تهران. ساختمان جیی، پلاک ۱۳۳۲. کتابفروشی عصر دانش - تلفن: ۶۶۹۷۱۲۵۱

این کتاب ترجمه‌ای است از:

Nano-Plating

Microstructure Control Theory of Plated Film and Data Base of Plated Film Microstructure

Tohru Watanabe

*Department of Applied Chemistry
Tokyo Metropolitan University
Minami-ohsawa, Hachioji-shi
Tokyo, Japan*

© 2004 Elsevier Ltd. All rights reserved.

ISBN: 0-08-044375-3

2004



Amsterdam – Boston – Heidelberg – London – New York – Oxford
Paris – San Diego – San Francisco – Singapore – Sydney – Tokyo

مسئولیت صحت برگردان فارسی، به عهده‌ی مترجمین است.

پیشگفتار مترجمان

تکنولوژی آبکاری فلزات در سال‌های اخیر به شدت مورد توجه اساتید و دانشجویان رشته مهندسی مواد قرار گرفته است. با این وجود، عدم وجود مرجعی که مکانیسم‌های رسوب‌نشانی و سیستم‌های گوناگون آن را پوشش داده باشد احساس می‌شد. در همین راستا کتاب حاضر که به جد یکی از جامع‌ترین کتاب‌ها در زمینه تکنولوژی آبکاری است به فارسی ترجمه شد.

امید است کتاب پیش رو مقبول نظر استادان و دانشجویان قرار گیرد و سهم خود را در پیشبرد مهندسی سطح به خوبی ایفا کند. مسلماً نظرات و پیشنهادهای خوانندگان، مترجمان را در بازاندیشی مجدد پیرامون مطالب مطرح شده، رفع اشکالات، و بهبود کیفی کتاب کمک خواهد کرد.

در نهایت مترجمان بر خود لازم می‌دانند تا از انتشارات چرتکه و شخص آقای دکتر محسن پور حسین که زمینه چاپ این کتاب را فراهم کردند سپاسگزاری کنند.

مجید لاله - فرزاد کارگر

پاییز ۱۳۹۰

هدف از انتشار کتاب

تکنولوژی آبکاری بیش از ۲۰۰۰ سال است که وجود دارد و در طول دو هزاره گذشته به طور پیوسته مورد استفاده قرار گرفته است. تکنولوژی آبکاری مدرن بسیار پیشرفته است و به منظور در بر گرفتن محدوده وسیعی از کاربردها گسترش داده شده است؛ یعنی علاوه بر کاربرد صنعتی از آن برای تمامکاری سطحی، تکنولوژی آبکاری هم اکنون می تواند برای فرایندهای جدید به منظور ساخت فیلم هایی با کارایی زیاد یا بدنه هایی با ریز ساختار ریز در صنایع میکرو الکترونیک مورد استفاده واقع شود. این پیشرفت سریع نشان دهنده پتانسیل روش آبکاری برای تبدیل شدن به یکی از تکنیک های پیشرو امروزی است.

با این وجود، سرعت توسعه تکنولوژی آبکاری به دلیل فقدان اصول نظری عمیق کند است و عموماً بر پایه روش سعی و خطا برای حصول فیلم هایی با خصوصیات مورد نظر استوار است. علی رغم تلاش های فراوان، هنوز یک تئوری واحد برقرار نشده است که این کنترل را به یک روش مناسب فراهم کند. این کتاب مجموع های از نتایج آزمایشگاهی متعددی است که در طول ۳۴ سال گذشته به دست آمده اند. در اینجا مفهوم "نظریه کنترل ریز ساختار" برای فیلم های آبکاری شده معرفی خواهد شد که متفاوت از تئوری های پیشین است. سپس نتایج آزمایشگاهی متعددی که تأیید کننده صحت این تئوری هستند توصیف خواهند شد. در نهایت، مجموعه عظیمی از

داده‌های تجربی در مورد سیستم‌های فلزی/آلیاژی آبکاری شده با تأکید بر ریزساختار آنها آورده شده‌اند.

واضح است که در سال‌های اخیر تحقیقات بسیاری در مورد کنترل ریزساختار فیلم‌های آبکاری شده انجام شده است. پس از ده‌ها سال تحقیق در مورد تکنولوژی آبکاری، نویسندگان احساس کردند که نیاز ضروری به یک کتاب در مورد نظریه کنترل ریزساختار در صنعت آبکاری وجود دارد. بنابراین کتاب حاضر تألیف شد، اگرچه مباحث مطرح شده در آن هنوز کامل نیستند.

برای توصیف یک روش مؤثر برای تحقیق در مورد فرایند آبکاری، روش‌های تحقیقاتی و تجربی آبکاری توضیح داده شده‌اند. ریزساختار ۵۳ نوع از فلزات خالص و آلیاژهای آبکاری شده گردآوری شده‌اند، که یک مجموعه داده مفید را برای فیلم‌های آبکاری شده فراهم می‌کند. ویژگی منحصر به فرد این مجموعه داده‌ها این است که حمام‌های آبکاری انتخاب شده ساده بوده و اغلب بدون افزودنی هستند. علاوه بر این، مواد آمورف به عنوان زیر لایه انتخاب شدند تا اینکه از تأثیر ساختار زیر لایه جلوگیری بعمل آید. همچنین، زیر لایه‌های تک بلوری به منظور مطالعه پدیده رشد اپیتاکسی مورد استفاده قرار گرفتند.

همانطور که در بالا اشاره شد، کتاب حاضر هنوز کامل نیست. بنابراین، وظیفه ما ادامه جمع آوری داده‌های تجربی برای پر کردن شکاف‌های موجود در این کتاب است. از این رو، در آینده این کتاب به روز رسانی خواهد شد.

فهرست مطالب

فصل ۱

نظریه کنترل ریزساختار فیلم آبکاری

- ۱-۱- مقدمه ۱۵
- ۲-۱- روند پژوهش تکنولوژی آبکاری ۱۸
- ۳-۱- مروری بر فیلم‌های آبکاری شده و TMC در گذشته ۲۱
- ۴-۱- نظریه کنترل ریزساختار فیلم‌های آبکاری شده ۲۴
- ۱-۴-۱- ساختار متالورژیکی ۲۵
- ۲-۴-۱- مورفولوژی سطح ۲۹
- ۱-۲-۴-۱- تغییرات مورفولوژی سطح با افزایش ضخامت فیلم ۲۹
- ۲-۲-۴-۱- تغییرات مورفولوژی سطح با چگالی جریان (ولتاژ اضافی) ۴۰
- ۳-۲-۴-۱- تغییر مورفولوژی سطح با نوع آنیون‌ها ۴۵
- ۴-۲-۴-۱- تغییرات مورفولوژی سطح با دمای محلول ۴۸
- ۵-۲-۴-۱- تغییرات مورفولوژی سطح با هم زدن محلول ۴۹

- ۴۹ ۱-۲-۴-۶- مورفولوژی سطح فیلم‌های آلیاژی
- ۵۳ ۱-۲-۴-۷- جمع بندی اصول شکل گیری ناهمواری‌های سطحی
- ۵۴ ۱-۲-۴-۸- تشکیل دندریت‌ها
- ۵۵ ۱-۲-۴-۹- اثر براق کننده‌ها
- ۵۷ ۱-۴-۳- اندازه دانه
- ۵۷ ۱-۴-۳-۱- اندازه دانه رسوب‌های فلزی خالص
- ۵۹ ۱-۴-۳-۲- اندازه دانه رسوب‌های آلیاژی
- ۶۴ ۱-۴-۴- جهات ترجیحی (بافت)
- ۶۹ ۱-۴-۴-۱- روش‌های تجربی برای تعیین بافت فیلم‌های آبکاری شده
- ۶۹ ۱-۴-۴-۲- رابطه بین بافت فیلم‌های آبکاری شده‌ی گوناگون و شرایط آبکاری
- ۷۷ ۱-۴-۴-۳- تأثیر شرایط آبکاری بر بافت فیلم
- ۸۶ ۱-۴-۴-۴- بافت فیلم‌های الکترولس
- ۸۷ ۱-۴-۵- جمع بندی
- ۸۹ ۱-۴-۵- اتصال با زیرلایه و انطباق بلورشناختی (اپیتاکسی)
- ۹۵ ۱-۴-۶- تنش پسماند (تنش‌های فشاری، کششی و ترک‌ها)
- ۱۰۰ ۱-۴-۷- مورفولوژی غیرعادی
- ۱۰۰ ۱-۴-۷-۱- برآمدگی کوچک
- ۱۰۳ ۱-۴-۷-۲- حفره‌ها
- ۱۰۴ ۱-۴-۷-۳- ترک‌ها
- ۱۰۵ ۱-۴-۷-۴- شکل‌گیری ساختار لایه‌ای
- ۱۰۹ ۱-۴-۷-۵- لایه‌ی ابتدایی
- ۱۱۲ ۱-۴-۷-۶- ویسکر
- ۱۱۴ مراجع

فصل ۲

مکانیزم تشکیل فیلم در رسوب‌نشانی الکتروشیمیایی

- ۱۲۱ ۱-۲- تشکیل فیلم‌های الکترولیتی
- ۱۲۱ ۱-۱-۲- مراحل اولیه‌ی جوانه‌زنی و رشد فیلم‌های فلزی خالص

۱۳۲	۲-۱-۲- ساختار فیلم‌های آلیاژی دوتایی الکترولیتی
۱۳۲	۱-۲-۱-۲- شکل‌گیری از نوع جدایش فازی
۱۳۴	۲-۲-۱-۲- تشکیل آلیاژ محلول جامد
۱۳۵	۳-۲-۱-۲- تشکیل ترکیبات بین فلزی
۱۳۵	۴-۲-۱-۲- فاز نیمه پایدار
۱۳۹	۵-۲-۱-۲- فاز آمورف
۱۴۶	۶-۲-۱-۲- فاز مخلوط
۱۴۷	۲-۲- فیلم‌های الکترولس
۱۴۸	۱-۲-۲- روش آبرکاری الکترولس
۱۴۸	۱-۱-۲-۲- روش آبرکاری الکترولس و ریزساختار
۱۵۰	۲-۱-۲-۲- مکانیسم تشکیل فیلم‌های الکترولس
۱۵۵	۳-۱-۲-۲- اتصال بین زیرلایه و فیلم‌های الکترولس
۱۵۵	۱-۳-۱-۲-۲- زیرلایه‌های فلزی
۱۵۵	۲-۳-۱-۲-۲- زیرلایه‌های غیر فلزی
۱۶۲	۲-۲-۲- پوشش غوطه‌وری
۱۶۲	۱-۲-۲-۲- مکانیسم تشکیل فیلم در پوشش غوطه‌وری (جابجایی)
۱۶۴	۲-۲-۲-۲- اتصال بین پوشش غوطه‌وری و زیرلایه
۱۶۶	۳-۲-۲- آبرکاری تماسی
۱۶۸	مراجع

فصل ۳

آبرکاری در الکترولیت‌های آلی

۱۷۱	۱-۳- مقدمه
۱۷۲	۲-۳- روش‌های تجربی
۱۷۵	۳-۳- انتخاب الکترولیت آبرکاری
۱۷۶	۱-۳-۳- مورفولوژی سطحی فیلم‌های آبرکاری شده
۱۸۰	۲-۳-۳- ساختار بلوری فیلم‌های آبرکاری شده
۱۸۳	۴-۳- رسوب کبالت از محلول‌های حلال آلی مختلف

- ۱۹۲-۱-۴-۳ اثر اندازه دانه
 ۱۹۳-۲-۴-۳ آخال در فیلم‌های آبکاری شده
 ۱۹۳-۱-۲-۴-۳ حمام H_2O
 ۱۹۳-۲-۲-۴-۳ حمام $DMSO$
 ۱۹۴-۳-۲-۴-۳ حمام FA
 ۱۹۷-۳-۴-۳ ارتباط بین محصولات انحلال حلال و اندازه دانه
 ۱۹۸-۴-۴-۳ مورفولوژی سطحی فیلم‌های کبالت آبکاری شده
 ۱۹۹-۵-۴-۳ جهت‌گیری و تشکیل بلور
 ۲۰۱ مراجع

فصل ۴

تغییرات ریزساختاری فیلم‌های آبکاری شده در حین عملیات حرارتی

- ۲۰۵-۱-۴ مقدمه
 ۲۰۶-۲-۴ تغییر فازهای نیمه پایدار و غیر تعادلی به بلورهای پایدار
 ۲۱۱-۳-۴ تبدیل فاز آمورف به فاز تعادلی
 ۲۲۴ مراجع

فصل ۵

کنترل ماکروساختار فیلم‌های آبکاری شده و ایجاد ریزساختار سه بعدی

- ۲۲۷-۱-۵ مقدمه
 ۲۲۸-۲-۵ کنترل ماکروساختار در فیلم‌های آبکاری شده
 ۲۲۸-۱-۲-۵ ساختار ستونی
 ۲۲۸-۲-۲-۵ ساختار با بلورهای ریز (نانوبلورها)
 ۲۲۸-۳-۲-۵ ساختار آمورف
 ۲۳۰-۴-۲-۵ تک بلورها
 ۲۳۰-۵-۲-۵ فیلم چند لایه (ML)

۲۳۱	۶-۲-۵- فیلم‌های چند لایه‌ی شامل لایه‌های متناوب فازهای بلوری و آمورف
۲۳۱	۷-۲-۵- چند لایه‌های اپتناکسی
۲۳۳	۸-۲-۵- ساختار مدرج بلوری / آمورف
۲۳۳	۹-۲-۵- پوشش‌های کامپوزیتی
۲۳۳	۱۰-۲-۵- پوشش‌های کامپوزیتی مدرج
۲۳۳	۱۱-۲-۵- سایر ساختارها
۲۳۴	۳-۵- ساخت بدنه‌ی ریزساختاری سه بعدی
۲۳۶	مراجع

فصل ۶

روش‌های بررسی ویژگی‌های فیلم‌های آبکاری‌شده

۲۳۹	۱-۶- ساختار زیرلایه‌های فلزی
۲۳۹	۱-۱-۶- تغییر شکل و بافت آنیل
۲۴۰	۲-۱-۶- لایه‌ی تغییر شکل یافته‌ی سطحی
۲۴۳	۳-۱-۶- زیر لایه‌ی تک بلور
۲۴۳	۴-۱-۶- روش‌های پیش عملیات برای زیرلایه‌های چند بلوری
۲۴۳	۱-۴-۱-۶- عملیات آنیل
۲۴۴	۲-۴-۱-۶- پولیش الکتروشیمیایی
۲۴۶	۲-۶- تعیین ساختار فیلم‌های آبکاری‌شده
۲۴۶	۱-۲-۶- روش XRD
۲۴۸	۲-۲-۶- تجزیه تحلیل ساختاری توسط TEM
۲۴۹	۱-۲-۲-۶- مشاهده‌ی مراحل اولیه‌ی فرایند رسوب‌نشانی الکتروشیمیایی
۲۵۵	۲-۲-۲-۶- نمای بالای فیلم‌های آبکاری‌شده‌ی ضخیم
۲۵۵	۱-۲-۲-۲-۶- روش پولیش الکتروشیمیایی
۲۵۶	۲-۲-۲-۲-۶- روش فرزکاری یونی
۲۵۷	۳-۲-۲-۶- رابطه‌ی انطباقی بلورشناختی بین فیلم‌های آبکاری‌شده و زیرلایه
۲۵۷	۴-۲-۲-۶- آماده‌سازی نمونه‌های TEM مقطع عرضی
۲۵۷	۱-۴-۲-۲-۶- برش افراطی



- ۲۶۶..... ۲-۴-۲-۲-۶-۶ فرزکاری یونی
- ۲۷۰..... ۳-۴-۲-۲-۶-۶ روش پرتو - یون متمرکز (FBI)
- ۲۷۰..... ۳-۶- محاسبه‌ی اندازه دانه
- ۲۷۰..... ۱-۳-۶- محاسبه‌ی مستقیم با استفاده از تصاویر TEM
- ۲۷۵..... ۴-۶- مشاهده‌ی مورفولوژی سطحی
- ۲۷۵..... ۱-۴-۶- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)
- ۲۷۹..... ۲-۴-۶- روش نقش برگردان برای مشاهدات TEM
- ۲۸۴..... ۳-۴-۶- مشاهدات با AFM
- ۲۸۴..... ۴-۴-۶- اندازه‌گیری با استفاده از مشخصه‌یاب سطحی
- ۲۸۵..... ۵-۶- اندازه‌گیری با استفاده از جهت‌یابی ترجیحی
- ۲۸۵..... ۱-۵-۶- تعریف جهت‌یابی ترجیحی و توصیف آن
- ۲۸۷..... ۲-۵-۶- تعیین بافت فیلم‌های آبکاری‌شده
- ۲۸۹..... مراجع