

より高品質、高性能な薄膜作製に必要な不可欠となる薄膜の測定評価技術について、実際の測定評価例・データとともに基礎から先端的な応用技術まで詳しく解説！有機薄膜の分析法には特別に項を設け、Si-LSI、ワイドギャップ半導体を用いたパワーエレクトロニクスと照明機器、薄膜太陽電池、薄型ディスプレイ、薄膜磁気メモリー、有機薄膜デバイス、バイオセンサといった薄膜の応用現場における評価事例も豊富に含む特色豊かなハンドブック！！

# 薄膜の評価技術ハンドブック

## Handbook of Thin Film Characterization Technology

監修 金原 繁 東京大学 名誉教授 工学博士

編集委員長 吉田 貞史 (独)産業技術総合研究所  
先進パワーエレクトロニクス研究センター  
招聘研究員 工学博士

編集幹事

中川 茂樹 東京工業大学 大学院理工学研究科 電子物理工学専攻 教授 工学博士  
波多野 睦子 東京工業大学 大学院理工学研究科 電子物理工学専攻 教授 工学博士  
山田 寿一 (独)産業技術総合研究所 フレキシブルエレクトロニクス研究センター  
フレキシブル有機半導体チーム 主任研究員 博士(工学)  
吉川 正信 株式会社東レリサーチセンター 取締役 表面科学研究部部長 工学博士

編集委員

内田 秀和 埼玉大学 大学院理工学研究科 数理電子情報部門 電気電子システム領域 准教授 博士(工学)  
大岩 烈 オミクロン ナノテクノロジー ジャパン株式会社 代表取締役社長  
梶川 浩太郎 東京工業大学 大学院総合理工学研究科 物理電子システム創造専攻 教授 博士(工学)  
木村 滋 (公財)高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門 ナノテクノロジー利用研究推進グループ グループリーダー  
副主席研究員 博士(工学)  
先崎 純寿 (独)産業技術総合研究所 先進パワーエレクトロニクス研究センター SiCパワーデバイスチーム 主任研究員 博士(工学)  
馬場 茂 成蹊大学 理工学部 物質生命理工学科 教授 工学博士  
馬場 哲也 (独)産業技術総合研究所 計測標準研究部門 招聘研究員 理学博士  
二本 正昭 中央大学 理工学部 電気電子情報通信工学科 教授 工学博士  
増田 淳 (独)産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター 太陽電池モジュール信頼性評価連携研究体 連携研究体長  
博士(工学)  
矢野 史子 東北大学 金属材料研究所 材料照射工学部門 客員准教授 工学博士

◆発行 2013年1月29日発行  
◆体裁 B5判 二段組上製本 648頁  
◆価格 本体48,000円(+税)  
国内送料弊社負担  
◆発行 テクノシステム 978-4-924728-67-7 C3050

「発行にあたって」 ナノテクノロジーを中軸とする現代産業の基幹技術の中で、薄膜作製技術が重要な地位を占めていることは万人の認めるところであろう。薄膜作製技術はこの半世紀の間に急速な進歩を遂げ、人類の社会生活向上に多大の貢献を成し遂げてきた。しかし、人類の欲望には果てしがなく、常により高品質、高性能の製品が求められている。そのために、薄膜作製にかかわる研究者、技術者は常にできた薄膜の品質、性能などの評価を行い続け、それらの向上に努めなくてはならない。

薄膜の評価と一言でいっても、薄膜の物質、形状、性質は多種多様であり、必然的にそれに伴う評価法もきわめて多様になる。一方で評価を行う研究者、技術者の履歴は様々であり、評価を行う必要が生じたときに即応できるとは限らず、戸惑うことも多い。

本書は、薄膜の評価に携わろうとする研究者、技術者が、研究、開発の現場で測定の意味と道筋をはっきりと把握するために使用することを旨とする。初心者にとっても評価法の基礎から学ぶのに役に立つテキストとして編集したものである。

全体は3部構成で、第I部基本的評価技術、第II部基本物性測定、第III部薄膜の応用事例とその性能評価法、となっており、薄膜の評価に必要な技術は基本から先端まで網羅したつもりである。すなわち、第I部では基本的な薄膜評価事項である薄膜の形状(膜厚を含む)、構造(結晶構造を含む)、組成・結合の観察・分析について一般的な分析機器により行われている評価技術、および最近開発された様々な分析技術を用いた薄膜評価技術の最前線を取り上げた。最後に、最近分析対象として増加している有機薄膜に対して無機材料とは異なる観察・分析の処方、解析法などをまとめて記述した。第II部では薄膜の物性評価の観点から評価手法を見直し、薄膜の電気的、磁氣的、光学的、力学的、熱的、化学的物性評価を取り上げ、それぞれの物性評価技術を網羅的に記載した。ここでは有機薄膜に特有の物性評価手法については別章にまとめて記載することにした。最後の第III部では薄膜の応用現場でどのような薄膜評価が行われているのかを応用事例を挙げて記述することにした。応用事例として、Si-LSI、ワイドギャップ半導体を用いたパワーエレクトロニクスおよび照明機器、薄膜太陽電池、薄型ディスプレイ、薄膜磁気メモリー、有機薄膜デバイス、バイオセンサを取り上げた。ここでは機器機能の中心となっている薄膜デバイスはばかりでなく、機器システムを構成している部品材料も含め、機器性能に各種薄膜の性能がどのように関わり、それがどのように評価されているかを記述した。

技術の理解と習得を目的としているため、各項目では原理の記述は必要最小限にとどめ、実際に評価を行うときの手順の記述を重視するとともに、得られたデータの実例を示し、その持つ意味を明確に把握してもらうように心がけた。なお膜厚標準に関する項をもうけ、作製された薄膜にかかわる数値の信頼性を高めるための指針を示している。

本書が、研究、開発を実際に行っている人々のみならず、学生、院生、初学者などの勉学にも役立つことを願っている。

2013年1月 金原 繁, 吉田 貞史

### 《申込方法》

◎本書籍は一般書店では取扱いをしておりません。下の申込書にご記入の上、FAXをお送り下さい。書籍と共に納品書 請求書をご送付申し上げます。また試読をご希望の方は試読希望欄にレ印をお付け下さい。

「薄膜の評価技術ハンドブック」(5629) 申込書			
<input type="checkbox"/> 申し込み		冊	<input type="checkbox"/> 試読希望
住所 〒	TEL		
会社 団体名	FAX		
所属	役職名		
(フリガナ) 氏名(カネメ)	E-mail		



株式会社テクノシステム

〒101-0054 東京都千代田区神田錦町3-16五十嵐ビル TEL. 03-3293-3105(代)

FAX. 03-3293-3874 E-Mail. info@techno-s.co.jp

執筆者一覧 (50音順 敬称略)

浅野 種正	九州大学 大学院システム情報科学研究科 情報エレクトロニクス部門 教授 工学博士
雨宮 健太	高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 放射光科学第一研究系 教授 博士(理学)
安斉 順一	東北大学 大学院薬学研究科 分子薬科学専攻 教授 薬学博士
章 宏	株式会社住化分析センター 大阪事業所 組成解析グループ 薬学博士
石井 慶造	東北大学 大学院工学研究科 量子エネルギー工学専攻 教授 理学博士
石井 順太郎	(独)産業技術総合研究所 計測標準研究部門 温度湿度科 放射温度標準研究室 室長 博士(理学)
石崎 貴裕	芝浦工業大学 工学部 材料工学科 准教授 博士(工学)
石田 尚之	岡山大学 大学院自然科学研究科 化学生命工学専攻 准教授 博士(工学)
一ノ瀬 尊之	株式会社東レリサーチセンター 無機分析化学研究部 無機分析化学第2研究室 主任研究員
稲川 幸之助	株式会社IBLC 顧問 工学博士
稲葉 信幸	山形大学 大学院理工学研究科 電気電子工学専攻 教授 理学博士
岩橋 友也	パナソニック株式会社 エコソリューションズ社 ライティング事業グループ R&Dセンター デバイス技術開発グループ 主事 博士(工学)
岩本 光正	東京工業大学 大学院理工学研究科 電子物理工学専攻 教授 工学博士
上田 哲三	パナソニック株式会社 デバイス社 半導体デバイス開発センター 電子デバイスグループ グループマネージャー 博士(工学)
上殿 明良	筑波大学 数理物質系 物理工学域 教授 工学博士
上野 智永	名古屋大学 グリーンモビリティ連携研究センター 助教 博士(工学)
梅田 享英	筑波大学 数理物質系 物理工学域 准教授 博士(工学)
梅村 茂	千葉工業大学 工学部 機械サイエンス学科 教授 博士(工学)
宇山 晴夫	凸版印刷株式会社 製造統括本部 製造技術センター 技術企画部 部長 理学博士
宇留賀 朋哉	(公財)高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門 分光物性Iグループ グループリーダー 副主席研究員 工学博士
大江 昌人	シャープ株式会社 材料 エネルギー技術研究所 技師長 理学博士
大江 登志郎	オミクロン ナノテクノロジー ジャパン株式会社 Hysitron グループ プロダクトマネージャー 修士
大串 秀世	(独)産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 電力エネルギー基盤グループ 招聘研究員 工学博士
大倉 理	(元)株式会社日立ディスプレイズ 開発本部 本部長 工学博士
大崎 壽	(独)産業技術総合研究所 ナノエレクトロニクス研究部門 新材料 機能インテグレーショングループ 招聘研究員 理学博士
大塚 祐二	株式会社東レリサーチセンター 形態科学研究部 部長 工学博士
岡本 聡	東北大学 多元物質科学研究所 無機材料研究部門 ナノスケール磁気デバイス研究分野 准教授 博士(工学)
岡本 隆之	(独)理化学研究所 石橋極微デバイス工学研究室 前任研究員 工学博士
奥平 幸司	千葉大学 大学院融合科学研究科 ナノサイエンス専攻 ナノ物性コース ナノ分子物性工学領域 准教授 理学博士
奥本 肇	(独)産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門 主任研究員 博士(工学)
尾崎 幸洋	関西学院大学 理工学部 化学科 教授 理学博士
表 和彦	株式会社リガク X線研究所 副所長 工学博士
梶川 浩太郎	東京工業大学 大学院総合理工学研究科 物理電子システム創造専攻 教授 博士(工学)
加藤 正史	名古屋工業大学 大学院工学研究科 准教授 博士(工学)
鎌田 憲彦	埼玉大学 大学院理工学研究科 物質科学部門 教授 工学博士
加連 明也	(独)物質 材料研究機構 中核機能部門 ナノ材料科学環境拠点 イオンビーム応用解析グループ リーダー
川井 哲郎	中央大学 理工学部 電気電子情報通信工学科 理工学研究所客員研究員
北村 雅季	神戸大学 大学院工学研究科 電気電子工学専攻 准教授 博士(数理科学)
吉川 佳広	(独)産業技術総合研究所 電子光技術研究部門 分子フォトンクスデバイスグループ 主任研究員 博士(工学)
木村 滋	(公財)高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門 ナノテクノロジー利用研究推進グループ グループリーダー 副主席研究員 博士(工学)
金原 繁	東京大学 名誉教授 工学博士
久保 いづみ	創価大学 工学部 生命情報工学科 教授 工学博士
組頭 広志	高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 放射光科学第一研究系 教授 博士(理学)
小池 和幸	北海道大学 大学院理学研究院 物理学部門 教授 工学博士
小西 克典	大阪大学 大学院基礎工学研究科 物質創成専攻 工学修士
小簀 剛	九州大学 最先端有機光エレクトロニクス研究センター 特任助教 博士(理学)
近藤 高志	東京大学 大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻 教授 博士(工学)
齋藤 幸一朗	東京大学 大学院新領域創成科学研究科 複雑理工学専攻 教授 工学博士
齋藤 幸一	名古屋大学 グリーンモビリティ連携研究センター 教授 博士(工学)
齋藤 準	秋田大学 大学院工学資源学研究科 環境資源学研究センター 教授 工学博士
齋藤 文修	東京大学 大学院総合文化研究科 広域科学専攻 准教授 博士(学術)
齋藤 正裕	株式会社東レリサーチセンター 表面科学研究部 表面科学第2研究室 研究員 博士(工学)
坂田 晃一	株式会社東レリサーチセンター 無機分析化学研究部 無機分析化学第2研究室 主任研究員
坂田 修身	(独)物質 材料研究機構 中核機能部門 高輝度放射光ステーション ステーション長 博士(工学)
佐藤 敏郎	信州大学 工学部 電気電子工学科 教授 学術博士
島 明生	株式会社日立製作所 中央研究所 エレクトロニクス研究センター エネルギーエレクトロニクス研究部 主任研究員 博士(工学)
清水 祐公子	(独)産業技術総合研究所 計測標準研究部門 温度湿度科 放射温度標準研究室 研究員 博士(学術)
陣内 浩司	九州大学 先端物質化学研究所 分子集積化学部門 特任教授 博士(工学)
鈴木 すずむ	旭硝子株式会社 中央研究所 ドライコーティング技術ファンクション 主幹研究員 理学博士
鈴木 峰晴	パーク システムズ ジャパン株式会社 代表取締役 工学博士
鈴木 義茂	大阪大学 大学院基礎工学研究科 物質創成専攻 教授 工学博士
砂田 香矢乃	東京大学 先端科学技術研究センター 特任准教授 工学博士
関 剛斎	東北大学 金属材料研究所 磁性材料研究部門 助教 博士(工学)
関口 隆史	(独)物質 材料研究機構 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 ナノエレクトロニクス材料ユニット グループリーダー 博士(理学)
先崎 純寿	(独)産業技術総合研究所 先進パワーエレクトロニクス研究センター SICパワーデバイスチーム 主任研究員 博士(工学)
左右田 龍太郎	(独)物質 材料研究機構 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 ナノマテリアル分野 無機ナノ構造ユニット 主席研究員 理学博士
曾根原 誠	信州大学 工学部 電気電子工学科 助教 博士(工学)
高田 徳幸	(独)産業技術総合研究所 フレキシブルエレクトロニクス研究センター 印刷エレクトロニクスデバイスチーム チーム長 博士(工学)
高梨 弘毅	東北大学 金属材料研究所 磁性材料研究部門 教授 理学博士

武田 全康 (独)日本原子力研究開発機構 量子ビーム応用研究部門 多重自由度相関研究グループ リーダー 理学博士  
 田嶋 尚也 東邦大学 理学部 物理学科 准教授 博士(理学)  
 棚橋 紀悟 エスベック株式会社 技術管理部 参事 博士(農学)  
 谷口 佳史 株式会社日立ハイテクノロジーズ 科学 医用システム事業統括本部 科学 医用システム設計開発本部  
 先端解析システム設計部 主任技師 博士(工学)  
 玉田 薫 九州大学 先端物質化学研究所 物質基盤化学部門 教授 理学博士  
 丹司 敬義 名古屋大学 エコトピア科学研究所 融合プロジェクト研究部門 教授 工学博士  
 塚原 園子 (元)電子技術総合研究所 材料部 磁性材料研究室 理学博士  
 辻 淳一 株式会社東レリサーチセンター 表面解析研究部 表面解析第1研究室 研究員 博士(工学)  
 戸田 道夫 サエス ゲッターズ エスピー エー ジャパンブランチ ゲッターテクノロジーズ ビジネスユニット  
 アプリケーションエンジニア  
 中川 活二 日本大学 理工学部 電子情報工学科 教授 博士(工学)  
 中川 善嗣 株式会社東レリサーチセンター 表面解析研究部 部長  
 中島 昭彦 株式会社カネカ ソーラーエネルギー事業部 技術統括部長 立命館大学 客員教授 工学博士  
 長島 健 大阪大学 レーザーエネルギー学研究センター テラヘルツサイエンスグループ 助教 博士(工学)  
 仲武 昌史 広島大学 放射光科学研究センター 助教 博士(理学)  
 中谷 亮一 大阪大学 大学院工学研究科 マテリアル生産科学専攻 教授 工学博士  
 (独)理化学研究所 生命システム研究センター 細胞動態計測コア ナノバイオプローブ研究チーム 特別研究員 博士(工学)  
 仲濱 秀斉 日清紡ホールディングス株式会社 新規事業開発室 部長 博士(工学)  
 中村 龍人 株式会社堀場製作所 営業本部 科学営業統括室 アプリケーションエンジニア 修士  
 中村 哲也 (公財)高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門 分光物性IIグループ チームリーダー 主幹研究員 博士(工学)  
 中村 友二 株式会社富士通研究所 基盤技術研究所 シニアディレクター 工学博士  
 中村 奈良 先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科 特任教授 博士(工学)  
 中山 泰生 千葉大学 先進科学センター 特任講師 博士(理学)  
 榎本 洋 筑波大学 研究基盤総合センター 応用加速器部門 研究員 工学博士  
 二川 清 金沢工業大学 大学院工学研究科 高信頼ものづくり専攻 客員教授 工学博士  
 野副 尚一 オミクロン ナノテクノロジー ジャパン株式会社 技術顧問 理学博士  
 野矢 厚 北見工業大学 工学部 電気電子工学科 教授 工学博士  
 波多野 睦子 東京工業大学 大学院理工学研究科 電子物理学専攻 教授 工学博士  
 馬場 茂 成蹊大学 理工学部 物質生命理工学科 教授 工学博士  
 濱村 浩孝 株式会社日立製作所 中央研究所 エレクトロニクス研究センター エネルギーエレクトロニクス研究部 主任研究員  
 工学博士  
 早川 慎二郎 広島大学 大学院工学研究院 物質化学工学部門 准教授 工学博士  
 萩行 正憲 大阪大学 レーザーエネルギー学研究センター テラヘルツサイエンスグループ 教授 理学博士  
 菱川 善博 (独)産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター 評価 標準チーム 研究チーム長 理学博士  
 平田 孝道 東京都市大学 工学部 生体医工学科 准教授 工学博士  
 福田 伸子 (独)産業技術総合研究所 フレキシブルエレクトロニクス研究センター 先進機能表面プロセスチーム 研究員 博士(工学)  
 藤本 幸幸 (独)産業技術総合研究所 計測標準研究部門 副研究部門長 理学博士  
 藤原 広和 トヨタ自動車株式会社 第3電子開発部 プロセス先行開発室 主任 修士  
 二本 正昭 中央大学 理工学部 電気電子情報通信工学科 教授 工学博士  
 古川 行夫 早稲田大学 先進理工学部 化学 生命化学科 教授 理学博士  
 牧本 俊樹 日本電信電話株式会社 NTT 物性科学基礎研究所 所長 博士(工学)  
 増田 淳 (独)産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター 太陽電池モジュール信頼性評価連携研究体 連携研究体長  
 博士(工学)  
 松井 淳 甲南大学 フロンティアサイエンス学部 生命化学科 教授 博士(工学)  
 松井 純爾 (公財)ひょうご科学技術協会 兵庫県放射光ナノテック研究所 所長 工学博士  
 松井 弘之 (独)産業技術総合研究所 フレキシブルエレクトロニクス研究センター フレキシブル有機半導体チーム 研究員 博士(科学)  
 松波 成行 九州大学 最先端有機光エレクトロニクス研究センター 特任教授 博士(地球環境科学)  
 水谷 孝 名古屋大学 大学院工学研究科 量子工学専攻 教授 工学博士  
 溝口 康彦 株式会社東レリサーチセンター 無機分析化学研究部 無機分析化学第1研究室 研究員  
 三井 泰裕 株式会社日立ハイテクノロジーズ 科学システムマーケティング部 シニアテクニカルアナリスト 工学博士  
 湊 忠成 三菱電機株式会社 パワーデバイス製作所 パワーデバイス開発部 主席技師長  
 三友 剛生 (独)物質 材料研究機構 国際ナノアーキテクトゥクス研究拠点 MANA独立研究者 博士(理学)  
 峰 利之 株式会社日立製作所 中央研究所 エレクトロニクス研究センター エネルギーエレクトロニクス研究部 主任研究員  
 (独)産業技術総合研究所 フレキシブルエレクトロニクス研究センター フレキシブル有機半導体チーム 研究員 博士(理学)  
 峯廻 洋美 (独)産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門 表面機能デザイン研究グループ 研究グループ長 博士(工学)  
 三宅 晃司 (独)産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門 ナノシステム計測グループ 主任研究員 博士(理学)  
 宮前 孝行 埼玉大学 大学院理工学研究科 数理電子情報部門 教授 博士(工学)  
 明連 昭昭 大阪電気通信大学 工学部 基礎理工学科 准教授 博士(学術)  
 森田 成昭 埼玉大学 大学院理工学研究科 数理電子情報部門 教授 博士(工学)  
 矢口 裕之 埼玉大学 大学院理工学研究科 数理電子情報部門 教授 博士(工学)  
 保田 英洋 大阪大学 超高压電子顕微鏡センター 教授 工学博士  
 矢野 史子 東北大学 金属材料研究所 材料照射工学部門 客員准教授 工学博士  
 藪上 信 東北学院大学 工学部 電気情報工学科 教授 工学博士  
 山崎 裕一郎 株式会社東芝 先端メモリ開発センター アドバンス インテグレーション技術第二担当 グループ長 工学博士  
 山田 寿一 (独)産業技術総合研究所 フレキシブルエレクトロニクス研究センター フレキシブル有機半導体チーム 主任研究員  
 博士(工学)  
 山成 敏広 (独)産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター 先端産業プロセス 低コスト化チーム 研究員 博士(学術)  
 山本 典孝 (独)産業技術総合研究所 フレキシブルエレクトロニクス研究センター 先進機能表面プロセスチーム 主任研究員  
 博士(理学)  
 山本 浩史 自然科学研究機構 分子科学研究所 物質分子科学研究領域 電子物性研究部門 教授 博士(理学)  
 吉川 正信 株式会社東レリサーチセンター 取締役 表面科学研究部部長 工学博士  
 吉田 真史 (独)産業技術総合研究所 先進パワーエレクトロニクス研究センター 招聘研究員 工学博士  
 吉田 弘幸 京都大学 化学研究所 助教 博士(理学)  
 吉原 一紘 オミクロン ナノテクノロジー ジャパン株式会社 最高顧問 工学博士  
 米澤 喜幸 富士電機株式会社 技術開発本部 電子デバイス研究所 次世代デバイス開発センター SiC基礎グループ  
 グループマネージャー 博士(理学)  
 渡部 修一 日本工業大学 工学部 創造システム工学科 教授 博士(工学)

# 第1部 基本的評価技術

## 第1章 形状観察

### 第1節 表面形状観察

- 第1項 触針法 .....(中村 友二)
  - 1. 触針法の測定方法と原理
  - 2. 種類の異なる材料が混在する試料の凹凸評価への適用例
- 第2項 透過電子顕微鏡(TEM)による薄膜形状評価 .....(保田 英洋)
  - 1. 平面観察法(Plan view method)
  - 2. 断面観察法(Cross-sectional view method)
- 第3項 走査電子顕微鏡(SEM) .....(吉原 一紘)
  - 1. 原理
  - 2. 装置
- 第4項 STM .....(野副 尚一)
  - 1. STMの原理
  - 2. STM装置
    - 2.1 探針
    - 2.2 ピエゾ素子
    - 2.3 粗動機構
    - 2.4 除振機構
  - 3. 実施例
    - 3.1 グラファイトおよびSi(7×7)のSTM像
    - 3.2 STMによる原子分子加工および吸着分子の振動準位の検出
- 第5項 AFM(SPM) .....(野副 尚一)
  - 1. AFMとSPM
  - 2. AFMの原理および装置
  - 3. 測定方法
    - 3.1 コンタクトモード(Contact Mode)
    - 3.2 ノンコンタクトモード(Non-Contact Mode)

### 第2節 膜厚測定

- 第1項 膜厚とは .....(金原 繁)
  - 1. 厚さの概念
  - 2. 薄膜の厚さを決めるための「みなし」操作
  - 3. みなしの具体例
    - 3.1 凹凸のある薄膜表面を数学的に平滑化
    - 3.2 薄膜の質量測定とバルク密度、面積から計算
    - 3.3 薄膜の物性値測定とバルク物性値から計算
  - 4. 膜厚測定の意義
- 第2項 膜厚の標準 .....(藤本 俊幸)
  - 1. 何故標準が必要なのか?
  - 2. 膜厚計測法と測定量
  - 3. 膜厚計測におけるX線反射率法のトレーサビリティ
  - 4. 日本における膜厚標準
  - 5. 米独における膜厚標準
- 第3項 *in-situ*膜厚測定 .....(馬場 茂)
  - 1. 水晶振動子膜厚計の基本
  - 2. 厚膜堆積への拡張
  - 3. 設置上の注意
  - 4. 測定上のいくつかの注意

## 第2章 構造観察

### 第1節 X線による観察

- 第1項 X線回折 .....(松井 純爾)
  - 1. 多結晶薄膜に対するX線評価
    - 1.1 多結晶からのX線回折(粉末法)の基本
    - 1.2 粉末X線回折法
    - 1.3  $\sin^2\psi$ 法
  - 2. 単結晶薄膜に対するX線評価
    - 2.1 単結晶からのX線回折の基本
    - 2.2 ロッキングカーブ(2結晶法, 非対称反射法を含む)
    - 2.3 ボンド法
    - 2.4 斜入射X線回折法
    - 2.5 CTR散乱法
- 第2項 X線反射率法 .....(表 和彦)
  - 1. 原理
    - 1.1 X線の屈折率
    - 1.2 界面における反射と屈折
  - 2. 膜構造と反射率曲線
  - 3. 薄膜評価への応用
    - 3.1 バリアメタルの解析
    - 3.2 極薄ゲート絶縁膜
- 第3項 X線トポグラフィ .....(松井 純爾)
  - 1. X線トポグラフィ法の基本
  - 2. ラング法
  - 3. ベルグバレット法
  - 4. 平面波X線トポグラフィ法

### 第2節 電子線による観察

- 第1項 LEED .....(野副 尚一)
  - 1. 原理
    - 1.1 波としての電子
    - 1.2 回折と逆格子
    - 1.3 2次元結晶からの回折
    - 1.4 LEEDの特徴
  - 2. 装置
    - 2.1 前面直視型LEED装置(フロントビュータイプ)
    - 2.2 背面直視型LEED装置(リバースビュータイプ)
    - 2.3 MCP-LEED
    - 2.4 LEED-AES
  - 3. 運動学的(ダイナミック)理論による解析
- 第2項 RHEED .....(野副 尚一)
  - 1. 原理
  - 2. 装置および測定例
  - 3. RHEEDの特徴
- 第3項 電子線ホログラフィー .....(丹司 敬義)
  - 1. 電子線ホログラフィーの原理
  - 2. 磁性体の観察
  - 3. 内部電位の観察
- 第4項 ローレンツ顕微鏡 .....(谷口 佳史)
  - 1. 装置構成
    - (1) 対物レンズをOFFにして観察する方法
    - (2) 専用の対物ポールピースを使用する方法
    - (3) ダブルステージによる方法
  - 2. フレネル法
  - 3. フーコー法
  - 4. 特殊な観察方法
    - (1) 磁場を印加しながらの動的ローレンツ観察
    - (2) ツイン フーコー法

### 第3節 粒子線による観察

- 第1項 中性子散乱 .....(武田 全康)
  - 1. 中性子の構造観察のプロープとしての特徴
  - 2. 中性子散乱実験装置
  - 3. 中性子源
    - 3.1 原子炉中性子源(定常中性子源)
    - 3.2 加速器中性子源(パルス中性子源)
  - 4. 中性子散乱実験を行うには
- 第2項 イオン線散乱 .....(植本 洋)
  - 1. 表面2次元構造 形態評価法(ヘリウムイオン顕微鏡法: HeIM)
  - 2. 異種積層構造評価法
- 第4節 点欠陥の観察
- 第1項 陽電子消滅 .....(上殿 明良)
  - 1. 陽電子消滅による空孔型欠陥の検出手法
  - 2. プラズマBドープSiの点欠陥評価
- 第2項 電子スピン共鳴(ESR)法 .....(梅田 享英)
- 第3項 ESR派生技術 .....(梅田 享英)
- 第4項 DLTS法 .....(加藤 正史)
  - 1. 原理
  - 2. 測定例

## 第3章 組成 結合状態の分析

### 第1節 電子線による分析

- 第1項 オージェ電子分光(AES)法 .....(鈴木 峰晴)
- 第2項 電子エネルギー損失分光(EELS)法 .....(大塚 祐二)
  - 1. EELS法の原理と特徴
  - 2. EELSの応用例
    - 2.1 価電子励起領域のEELS
    - 2.2 内殻電子励起領域のEELS
  - 3. EELS法の今後
- 第3項 EPMA(EDX, WDX)法 .....(大塚 祐二)
  - 1. EPMAの原理と特徴
  - 2. TEM-EDXを用いた薄膜試料の分析例
    - 2.1 半導体デバイスのSTEM-EDX分析
    - 2.2 大面積EDX検出器を用いた微量不純物拡散分析
  - 3. EPMAを用いた薄膜評価の今後
- 第4項 カソードルミネッセンス(CL)法 .....(関口 隆史)
  - 1. カソードルミネッセンス(CL)法
    - 1.1 CL法の原理
    - 1.2 GaN薄膜の転位の評価
    - 1.3 量子構造の評価

### 第5項 電子線誘起電流(EBIC)法

- 1. 電子線誘起電流(EBIC)法 .....(関口 隆史)
  - 1.1 EBIC法の原理
  - 1.2 ひずみSi/SiGe薄膜における転位の観察
  - 1.3 次世代半導体素子の信頼性評価

### 第2節 イオン線による分析

- 第1項 ラザフォード後方散乱: RBS .....(齋藤 正裕)
  - 1. 概要
  - 2. 原理
    - 2.1 弾性散乱
    - 2.2 阻止能
  - 3. 装置構成
  - 4. 分析例
    - 4.1 薄膜の深さ方向組成分析
    - 4.2 薄膜の密度分析
    - 4.3 エピタキシャル薄膜のイオン注入損傷評価
- 第2項 TOF-SIMS .....(加連 明也)
  - 1. SIMSの原理と特徴
    - 1.1 SIMSの原理
    - 1.2 TOF-SIMSの装置
    - 1.3 TOF-SIMSの特徴
  - 2. TOF-SIMSにおける検出深さ
  - 3. クラスタ一次イオン
- 第3項 ISS .....(左右田 龍太郎)
  - 1. ISSによる表面組成分析
  - 2. ISSによる表面結合状態の解析
  - 3. ISSによる表面構造解析および薄膜成長過程の観察
- 第4項 PIXE .....(石井 慶造)
  - 1. 粒子線励起によるX線の発生
  - 2. 粒子線励起X線を用いた元素分析
  - 3. PIXE法を用いた元素分布の画像解析
  - 4. PIXE法で用いられる加速器

### 第3節 X線による分析

- 第1項 X線光電子分光法(ESCA) .....(中川 善嗣)
  - 1. ESCAの概要
  - 2. ESCAの原理
  - 3. ESCA装置
  - 4. データ処理および解析
  - 5. 高度な測定テクニック
  - 6. 薄膜分析への応用例: Siウエハ表面の酸化膜の角度分解測定
- 第2項 逆光電子分光法 .....(仲武 昌史)
  - 1. 原理
  - 2. 装置
    - 2.1 電子銃
    - 2.2 光検出器
      - 2.2.1 バンドパス型光検出器
      - 2.2.2 エネルギー分散型光検出器
  - 3. 測定
- 第3項 蛍光X線分析 .....(早川 慎二郎)
  - 1. 蛍光X線分析
  - 2. 蛍光X線の理論強度式
  - 3. 検出限界(detection limit: DL)
  - 4. 薄膜の蛍光X線スペクトルと2次励起効果
- 第4項 X線吸収スペクトル .....(辻 淳一)
  - 1. 原理
  - 2. XAFSの測定法
  - 3. 測定事例
    - 3.1 測定内容
    - 3.2 膜厚の異なる試料のSi K端 XANES スペクトル
    - 3.3 化学構造の異なる試料のSi K端 XANES スペクトル

### 第4節 光による分析

- 第1項 赤外分光法 .....(森田 成昭, 尾崎 幸洋)
  - 1. 外部反射法と内部反射法
  - 2. 空間分解測定
  - 3. 分光スペクトルデータの解析
- 第2項 ラマン分光法 .....(吉川 正信)
  - 1. ラマン分光法を用いた表面分析方法の原理と特徴
    - 1.1 全反射法(ATR)の原理と応用例
    - 1.2 SERS効果を利用した表面分析例
    - 1.3 共鳴ラマン効果を利用した薄膜の分析法
    - 1.4 導波路法を利用した薄膜の分析法
    - 1.5 近赤外ラマン分光法を用いた深さ方向の構造解析
- 第3項 フォトルミネッセンス .....(鎌田 憲彦)
  - 1. 薄膜評価におけるフォトルミネッセンス

2. 内部量子効率とキャリア再結合寿命
  3. フォトルミネッセンススペクトル
  4. 非発光再結合過程のフォトルミネッセンス評価
  5. 近接場フォトルミネッセンス
- 第4項 偏光解析法(エリプソメトリー) .....(矢口 裕之)

### 第5節 化学的手法による分析

- 第1項 ICP-AES .....(溝口 康彦)
1. ICP-AESの概要
  2. 薄膜を対象としたICP-AESの適用例
  3. 薄膜の分析方法
  4. 分析事例
- 第2項 GD-OES(GDS) .....(中村 龍人)
1. 原理と特長
  2. 測定手順
  3. データ解釈時の注意点と定量化
- 第3項 ICP-MS .....(坂口 晃一)
1. ICP-MSの概要
  2. 薄膜への適用例
  3. 薄膜の分析方法
  4. Si系薄膜(SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>など)の不純物分析
  5. 非Si系金属薄膜の不純物分析
- 第4項 GDMS .....(一ノ瀬 尊之)
1. GDMSの概要
  2. 装置
  3. 特徴
  4. 薄膜の分析方法
  5. 薄膜への適用例(バルク分析)
  6. 深さ方向分析例
- 第5項 LC-MS .....(章 宏)
1. LC-MSについて
    - 1.1 HPLCによる分離
    - 1.2 質量分析
      - 1.2.1 質量分析計
      - 1.2.2 イオン化法
    - 1.3 マススペクトル
      - 1.3.1 同位体ピーク
      - 1.3.2 精密質量
  2. 有機デバイスへの適用例

## 第4章 先端的薄膜評価技術

### 第1節 3次元観察 計測による薄膜ナノ構造の評価

- .....(陳内 浩司)
1. 3次元観察 計測法の概要
  2. 3次元観察 計測を用いた薄膜の研究例
    - 2.1 ブロック共重合体薄膜におけるナノ構造の精密3次元観察
    - 2.2 ブロック共重合体薄膜における構造転移の3次元観察
    - 2.3 中性子散乱法と3次元計測の組み合わせによるブロック共重合体薄膜の構造解析

### 第2節 表面プラズモンによる薄膜構造、組成評価

- 第1項 基礎理論 .....(岡本 隆之)
1. 表面プラズモンとは
  2. 局在型表面プラズモン
  3. 伝搬型表面プラズモン
  4. 空間伝搬光と伝搬型表面プラズモンの結合
- 第2項 有機薄膜への応用 .....(梶川 浩太郎)
- 第3項 光機能性材料への応用 .....(梶川 浩太郎)
- 第4項 バイオ分野への応用 .....(玉田 薫)
1. 伝搬型 SPR センサ
  2. SPR イメージング法
  3. プラズモン増強蛍光法

4. 局在 SPR センサ
5. 細胞接着の直接観察

### 第3節 放射光を用いた分析

- 第1項 (放射光を用いた)X線反射率法 .....(木村 滋, 坂田 修身)
1. X線反射率法の原理
  2. 放射光を利用する意義
  3. 異常散乱現象を利用するX線反射率法
- 第2項 薄膜回折: 電場印加下その場測定の紹介 .....(坂田 修身, 木村 滋)
1. 薄膜回折でわかること
  2. 結晶性薄膜のX線回折とユニポーラ分極の同時測定
- 第3項 XAFS .....(宇留賀 朋哉)
1. 放射光 XAFS 計測法の概要
  2. 平面空間分解 XAFS 計測法
  3. 深さ分解 XAFS 計測法
  4. 時間分解 XAFS 計測法
  5. 今後の展望
- 第4項 X線磁気円二色性(XMCD)による磁気状態の分析 .....(雨宮 健太)
1. XMCDの特長
  2. 測定方法と留意点
  3. 磁気モーメントの見積もり
  4. 深さ分解 XMCD 法
- 第5項 光電子分光 .....(組頭 広志)
- 第6項 X線吸収分光法(XAS)およびX線発光分光法(XES)による化学状態、電子状態の分析 .....(雨宮 健太)
1. XASの特長
  2. 測定方法と留意点
  3. 深さ分解 XAS 法
  4. 発光分光(XES)法

### 第4節 中性子線(JRR-3, J-PARC)を利用した分析

- .....(武田 全康)
1. 中性子の基本情報
  2. JRR-3と物質 生命科学実験施設(J-PARC)
    - 2.1 研究用原子炉(研究用3号炉 JRR-3)
    - 2.2 物質 生命科学実験施設(MLF)
  3. 飛行時間法(Time Of Flight法: TOF)
  4. 結晶構造解析(結晶回折計)
  5. 表面 界面評価(中性子反射率計)
    - 5.1 中性子反射率計とは
    - 5.2 TOF法による中性子反射率測定
    - 5.3 中性子反射率測定例(高分子薄膜)
    - 5.4 中性子反射率測定例(磁性多層膜)
    - 5.5 中性子反射率測定用試料について
    - 5.6 国内の中性子反射率計の今後

### 第5節 テラヘルツ波を用いた薄膜評価

- .....(長島 健, 秋行 正憲)
1. テラヘルツ分光法の基礎
  2. 透過法による薄膜測定例と感度向上のための工夫
  3. テラヘルツ エリプソメトリーによる薄膜評価
    - 3.1 テラヘルツ エリプソメトリーの概要
    - 3.2 エリプソメトリーの原理
    - 3.3 エリプソメトリーのTHz-TDSへの適用
    - 3.4 半導体薄膜の測定例
    - 3.5 高誘電率材料 SrTiO<sub>3</sub> 薄膜の誘電特性評価
  4. 今後の展望

### 第6節 有機薄膜の形状 構造 組成評価

- 第1項(1) 偏光顕微鏡観察 .....(峯田 洋美)
1. 偏光顕微鏡
- 第1項(2) 光電子顕微鏡 .....(齊木 幸一朗)
1. PEEMの概要
  2. PEEMの観察例
    - 2.1 ベンタセンの核形成過程
    - 2.2 ポトムコンタクト型 TFT を模した Au 電極を配置した基板までの成長
    - 2.3 Au 電極を自己組織化膜で修飾した場合の成長
- 第1項(3) 原子間力顕微鏡観察 .....(山田 寿一)
1. 有機材料薄膜のAFM観察
  2. 観察事例
- 第1項(4) 走査型プローブ顕微鏡による電荷/電位マッピング .....(中村 雅一)
- 第2項 有機薄膜のX線回折 .....(吉田 弘幸)
1. 薄膜X線回折の原理
  2. 有機薄膜の結晶構造
    - 2.1 面外回折
    - 2.2 面内回折
    - 2.3 逆格子マップ法
    - 2.4 電子線回折
  3. 結晶子の配向
    - 3.1 面外回折, 面内回折
    - 3.2 極点測定
    - 3.3 ロッキングカーブ測定
- 第3項(1) 赤外 ラマン分光 .....(古川 行夫)
1. 分子配向 一デーベのRATIO法
  2. アモルファス状態と結晶
  3. 化学ドーピング
  4. 有機半導体薄膜の光誘起 電場誘起キャリア
  5. 電場印加に伴う分子配向の変化
- 第3項(2) 有機薄膜における軟X線吸収分光法 .....(奥平 幸司)
1. NEXAFSの由来—電子構造の情報
  2. 複雑な有機分子や高分子へのNEXAFSの応用
  3. スペクトルの角度依存—分子配向に関する情報
  4. 非占有軌道の電子状態
- 第3項(3) 光電子分光 .....(中山 泰生)
1. 光電子分光法の原理と試料帯電(チャージアップ)問題
  2. 実際の光電子スペクトルと基本的なデータ解析法
- 第4項(1) 原子間力顕微鏡による表面解析 .....(石田 尚之)
- 第4項(2) 水晶振動子マイクロバランス(QCM)による表面解析 .....(石田 尚之)
- 第4項(3) 表面プラズモン共鳴を用いた表面解析 .....(福田 伸子)
1. 表面プラズモン共鳴について
  2. SPRを用いた有機超薄膜の計測
- 第4項(4) 走査型近接場光学顕微鏡による表面解析 .....(山本 典孝)
- 第4項(5) 走査型トンネル顕微鏡による表面解析 .....(吉川 佳広, 三宅 晃司)
1. 化学吸着系SAMのSTM
  2. 物理吸着系SAMのSTM
- 第4項(6) 和波発生分光法による界面分子配列解析 .....(宮前 孝行)

## 第II部 基本物性測定

### 第1章 電気的手法による薄膜物性評価

#### 第1節 導電特性の評価

- 第1項 抵抗率の測定 .....(野矢 厚)
1. シート抵抗
  2. 抵抗率の測定
  3. 抵抗温度係数
  4. 3端子法
- 第2項 拡がり抵抗の測定 .....(野矢 厚)
1. 拡がり抵抗測定
  2. 2探針での測定
  3. 走査型拡がり抵抗顕微鏡
  4. SSRMによる計測の実例
- 第3項 接触抵抗の測定 .....(野矢 厚)
1. 接触抵抗
  2. TLM法
  3. 円形電極を用いた測定
  4. 測定例

#### 第2節 半導体特性の評価

- 第1項(1) CV法を用いたキャリア特性の測定 .....(濱村 浩孝)
- 第1項(2) ホール効果を用いたキャリア特性の測定 .....(波多野 睦子)
1. ホール効果
  2. 測定方法
- 第1項(3) キャリア特性の深い準位の測定 .....(大串 秀世)
- 第2項 接合界面特性の測定(1) ショットキー接合 .....(島 明生)
1. ショットキーダイオード
  2. 電流—電圧特性
  3. 電圧容量特性
- 第2項 接合界面特性の測定(2) pn接合 .....(島 明生)
1. pn ダイオード
  2. 電圧容量特性

3. 順バイアス時の電流—電圧特性
- 第2項 接合界面特性の測定(3) MIS接合 .....(峰 利之)
- 第3項 高電界特性の測定 .....(湊 忠玄, 浅野 種正)
- #### 第3節 誘電 絶縁特性の評価
- 第1項 誘電特性の測定 .....(岩本 光正)
1. 測定の原理
  2. 分極電荷量, 比誘電率の評価
- 第2項 絶縁特性の測定 .....(岩本 光正)
1. 電流—電圧特性評価
  2. 絶縁性能 耐電界性の評価, 劣化診断
- #### 第4節 超伝導特性の評価
- 第1項 臨界温度 電流密度およびそれらの磁界特性の測定 .....(明連 広昭)
1. 臨界温度の測定

- 2. 臨界電流の測定
- 3. 磁場中での特性評価
- 第2項 接合特性の測定 .....(明連 広昭)
- 1. ジョセフソン接合の特性評価
- 2. ジョセフソン接合の磁場特性
- 3. ジョセフソン接合のマイクロ波照射特性

## 第2章 磁気的手法による 薄膜物性評価

### 第1節 薄膜の磁化測定

- 1. 各種の磁化測定法 .....(岡本 聡)
- 1.1 振動試料型磁力計(VSM)
- 1.2 超電導量子干渉素子(SQUID)磁力計
- 1.3 交番力型磁力計(AGM)
- 2. 薄膜における磁化測定の留意点

### 第2節 透磁率

.....(藪上 信)

### 第3節 磁気異方性測定

- 第1項 磁気トルク測定 .....(稲葉 信幸)
- 第2項 磁気共鳴法 .....(曾根原 誠, 佐藤 敏郎)
- 第3項 磁化曲線からの解析 .....(岡本 聡)
- 1. 一軸異方性を有する単磁区試料の場合
- 1.1 磁化曲線の積分(もしくは傾き)から決定する方法
- 1.2 Sucksmith-Thompson(ST)法
- 1.3 一般化したSucksmith-Thompson(GST)法
- 2. 無配向試料の場合
- 2.1 特異点検出法
- 2.2 修正Sucksmith-Thompson法
- 第4項 交換結合バイアス異方性の評価 .....(中谷 亮一)
- 1. 磁化曲線から求める方法
- 2. 電子スピン共鳴実験により求める方法

### 第4節 磁歪測定

- 1. 薄膜の磁歪測定方法 .....(川井 哲郎)
- 2. 片持ち梁のそりによる磁歪測定
- 3. 磁気特性の応力依存性による磁歪測定

### 第5節 磁気イメージング

- 第1項 磁気イメージングの概要とビッター法 .....(二本 正昭)
- 1. ビッター法
- 2. ビッター法による磁区構造の観察
- 第2項 磁気力顕微鏡 .....(齊藤 準)
- 1. 原理
- 2. 測定の手順
- 3. 画像データの信頼性を高めるために
- 第3項 磁気光学法 .....(中川 活二)
- 第4項 ローレンツ顕微鏡 .....(塚原 園子)
- 1. ローレンツ TEM 用 TEM と試料設定
- 2. ローレンツ力とローレンツ TEM の磁区観察形態
- 2.1 偏向図形
- 2.2 焦点ずらし像
- 2.3 フーコー法
- 3. 磁区と磁壁の典型的なローレンツ TEM 像観察例
- 第5項 スピンSEM法 .....(小池 和幸)
- 第6項 放射光による磁気イメージング .....(中村 哲也)
- 1. 放射光による磁気イメージングの特徴
- 2. 光電子顕微鏡による磁区観察
- 3. 透過X線顕微鏡の利用
- 4. フーリエ変換ホログラフィー法
- 5. 硬X線による磁気イメージング

### 第6節 スピントロニクス評価

- 第1項 磁気抵抗評価(GMR, TMR) .....(小西 克典, 鈴木 義茂)
- 1. 磁気抵抗効果
- 2. MR効果の測定法
- 3. CIPT測定
- 4. 非局所MR測定
- 第2項 スピンドイナミクス評価 .....(小西 克典, 鈴木 義茂)
- 1. スピンドイナミクス
- 2. スピン注入磁化反転
- 3. スピントルク発振
- 4. スピントルクダイオード
- 第3項 ホール効果(異常ホール効果, スピンホール効果) .....(高梨 弘毅, 関 剛斎)

## 第3章 光学的手法による 薄膜物性評価

### 第1節 分光反射率 透過率 吸収率 吸収係数

.....(吉田 貞史)

- 1. 薄膜の光学測定
- 1.1 光学測定と反射率 透過率 吸収係数の導出
- 1.1.1 光学測定
- 1.1.2 絶対反射率の測定法
- 1.1.3 薄膜の反射率 透過率の算出
- 1.1.4 薄膜の吸収係数の導出
- 1.2 特殊な薄膜の光学測定
- 1.2.1 粗表面 粗界面の取り扱い
- (1) 表界面の凹凸が光の波長と同程度あるいは大きい場合
- (2) 表界面の凹凸が光の波長よりずっと小さい場合
- 1.2.2 不均質膜の取り扱い
- (1) 膜厚方向に光学的性質が変化している膜
- (2) 多相混合膜
- 1.2.3 異方性膜の取り扱い
- 2. 光学定数 誘電率を求める
- 2.1 光学定数を求める
- 2.1.1 透明膜の場合
- 2.1.2 吸収膜の場合
- 2.2 Kramers-Kronigの関係式を用いて
- 2.3 バンド間遷移と吸収係数
- 2.4 誘電関数モデルを用いた解析
- 2.5 SiCホモエピ膜の膜厚, キャリヤ濃度移動度の分布の同時測定
- 3. 薄膜の特異な光学特性とその応用
- 3.1 光学的に見た薄膜の特徴
- 3.2 表面分極の効果: 縦波と光(横波)のカップリング
- 3.2.1 プラズモン
- 3.2.2 LO, TOフォノン
- 3.3 島状膜の異常光吸収

### 第2節 発光特性評価

.....(矢口 裕之)

- 1. バンドギャップの評価
- 2. ヘテロ構造の評価
- 3. 不純物の評価
- 4. 発光マッピング測定

### 第3節 非線形光学特性

.....(近藤 高志)

- 1. 2次非線形光学特性
- 2. 3次非線形光学特性
- (1) THG法
- (2) Zスキュン法

### 第4節 導波路特性

.....(近藤 高志)

- 1. 導波路における光伝搬
- 2. 導波路材料の評価
- (1) 干渉法
- (2) 楕円偏光解析法(エリプソメトリー)
- (3) プリズムカップリング法
- 3. 導波路特性の評価
- (1) プリズムカップリング法
- (2) ファブリ パロー法
- (3) カットバック法

## 第4章 薄膜の力学的物性評価法

### 第1節 附着

.....(鈴木 すずむ)

- 第1項 引き剥がし試験 .....(鈴木 すずむ)
- 1. 引き剥がし試験の種類
- 2. テープテスト, クロスカット試験
- 3. 接着剤を用いた引張試験
- 4. はんだ付けを用いた引張試験
- 第2項 スクラッチ試験(Scratch Test) .....(金原 榮)
- 1. 測定原理
- 2. 測定装置
- 3. 剥離点の決定
- 3.1 音響変動の検出
- 3.2 摩擦変化の検出
- 4. スクラッチ法の利点
- 5. スクラッチ法の欠点
- 6. スクラッチとは何をすることか
- 7. 剥離荷重(力)から応力, エネルギー密度を導出

### 第2項 ナイフカッティング法

.....(斎藤 文修)

- 1. ナイフカッティング法
- 2. ナイフカッティング(SAICAS)法の原理
- 3. ナイフカッティング(SAICAS)法による測定例

### 第2節 内部応力

.....(馬場 茂)

- 第1項 基板変形 .....(馬場 茂)
- 1. 測定
- 2. 膜厚変化 $\sigma(t)$
- 3. 真性内部応力と熱応力

- 4. Stoneyの公式について
- 第2項 X線回折(格子定数)法 .....(馬場 茂)
- 1. 基本測定
- 2. 応用測定

### 第3節 硬さ 摩擦 磨耗

.....(稲川 幸之助)

- 第1項 ナノ硬度とナノインデンテーション法 .....(稲川 幸之助)
- 1. ナノインデンテーション法の概要
- 2. ナノインデンテーション法による硬さの表記と解析法
- 3. Oliver-Pharr法
- 第2項 ナノインデンテーション法の規格化 .....(稲川 幸之助)
- (1) マルテンス硬さ(HM)
- (2) 試験カー押し込み深さ曲線の勾配から求めるマルテンス硬さ(HM<sub>0</sub>)
- (3) 押し込み硬さ(H<sub>IT</sub>)
- 第3項 ナノインデンテーション法による硬さ測定例 .....(稲川 幸之助)
- 1. TiN膜
- 2. CrN膜
- 3. DLC膜およびC-N膜
- 4. Auめっき皮膜
- 5. low-k膜

.....(稲川 幸之助)

- 第4項 ナノ硬度とビッカース硬度の相関 .....(稲川 幸之助)
- 第5項 超硬質膜の摩擦 .....(渡部 修一)
- 第6項 AFMスクラッチ 硬さ 附着 .....(梅村 茂)
- 1. AFMナノウェア試験による薄膜の耐摩耗性密着性の評価方法
- 1.1 AFMナノウェア試験における荷重と摩耗深さの関係
- 1.2 評価方法の検証実験
- 1.3 ダイヤモンド探針摩耗に対する試験法としての対処方法
- 2. AFM測定モードによるスクラッチ部の表面形状の差異

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

.....(馬場 茂)

第2節 サーモフレクタンスによる測温技術 (清水 祐公子)

- 1. 測定装置
2. 測定精度 感度の検証
2.1 温度分解能
2.2 空間分解能
2.3 時間分解能
3. 反射率の温度依存性の測定

第6章 薄膜の化学的物性評価

第1節 親水性と撥水性 (石崎 貴裕)

- 1. ぬれ性と表面張力
1.1 固体表面のぬれ性と接触角
1.2 表面張力
1.3 表面張力と接触角の関係(Youngの式)
2. 接触角の算出法
2.1 静的接触角の求め方
2.2 接線法
2.3 θ/2法
2.4 静的接触角の測定例
2.5 動的接触角の測定方法
2.5.1 拡張収縮法
2.5.2 転落法(滑落法)
3. 測定時の問題点と注意点
3.1 接触角のばらつき
3.2 表面汚染の影響
3.3 表面帯電の影響
3.4 液滴の自重による影響

第2節 ガスバリア性 (宇山 晴夫)

- 1. ガスバリアフィルム
2. ガス透過とガスバリアフィルム
2.1 ガスバリアフィルムの必要性
2.2 ガスバリアフィルムとガスの透過
2.3 ガスバリア膜の設計
2.4 ガスバリアフィルムの作製方法

- 3. ガスバリアフィルムの評価
3.1 ガスバリア膜の設計
3.2 ガスバリアフィルムの評価
4. 最近の話題

第3節 電池電極特性 (上野 智永, 齋藤 永宏)

- 1. 電池の基礎と種類
2. 電極反応の基礎
2.1 電気二重層
3. 電池電極材料の物性評価方法
3.1 電気化学測定
3.1.1 導電率測定
3.1.2 インピーダンス測定
3.1.3 サイクリックボルタンメトリー
3.1.4 容量測定
3.2 電極材料評価
3.2.1 細孔径分布測定
3.2.2 分光分析法
3.2.3 走査型プローブ顕微鏡による in-situ計測
3.2.4 TEMによる分析
3.2.5 SEMによる分析

第4節 抗菌性 (砂田 香矢乃, 大崎 寿)

- 1. 定義と工業標準
2. 抗菌作用の発現機構
2.1 抗菌材料の抗菌メカニズム
2.2 光触媒材料の抗菌メカニズム
3. 抗菌評価の実際
3.1 試験に用いる細菌
3.2 フィルム密着法による抗菌活性評価方法 (JIS Z 2801)
①試験菌の前培養
②試験菌液の調製
③試験菌液の接種
④試験片の培養
⑤試験片からの菌液の回収

- ⑥生菌数の測定
⑦生菌数の計算
3.3 抗菌活性値の算出
3.4 光触媒材料に対する抗菌活性評価方法 (JIS R 1702)
4. 抗菌技術の展開と将来動向

第7章 有機薄膜の物性評価

第1節 電気的手法による有機薄膜物性評価

第1項 過渡光電流解析(Time-of-flight法) (北村 雅季)

- 1. 測定原理
2. 過渡電流波形
3. 測定試料
4. 縦方向移動度の測定
5. 横方向移動度の測定

第2項 ホール効果 (山本 浩史, 田嶋 尚也)

- 1. 原理
2. 測定の実際

第3項 高周波伝導特性 (北村 雅季)

- 1. 有機薄膜トランジスタの動特性評価
2. 有機FETの高周波等価回路
3. 電流利得遮断周波数の測定
4. スイッチング特性

第4項 多層薄膜のインピーダンス分光解析 (奥本 肇)

- 1. インピーダンス分光とは
2. 有機EL素子への適用例
3. 応用展開

第2節 光学的手法による有機薄膜物性評価 (松井 弘之)

第III部 薄膜の応用事例とその性能評価法

第1章 LSIの評価

第1節 LSI評価の概要 (矢野 史子)

- 1. LSI評価の特徴
2. 特性ばらつき要因の評価

第2節 インラインQC (山崎 裕一郎)

- 1. インライン計測技術
1.1 CD計測
1.2 パターン形状計測
1.3 高さ計測
2. ウエハ欠陥検査技術
2.1 パーティクル検査技術
2.2 ウエハパターン欠陥検査技術

第3節 故障解析 (二川 清, 三井 泰裕)

- 1. 故障解析の役割と目的
2. 故障解析の手順
[STEP 1] 故障状況把握
[STEP 2] 外観異常観察
[STEP 3] 電気的特性測定
[STEP 4] 再現試験
[STEP 5] パッケージ内部非破壊観測
[STEP 6] チップ露出
[STEP 7] 故障箇所絞込み
[STEP 8] 物理化学解析
[STEP 9] 根本原因究明
[STEP 10] 対策
3. 故障解析事例
3.1 絞込みにおける事例: 各種手法を総動員
3.2 絞込み-物理解析における事例: SRAMシングルビット故障解析
3.3 物理解析における事例: 耐熱コンタクト高抵抗故障解析

第2章 ワイドギャップ半導体パワーデバイス: 欠陥評価とデバイス特性

第1節 SiCパワーデバイス

第1項 SiCパワーデバイスの課題 (先崎 純寿)

- 1. SiCパワーデバイスの特徴
2. SiCパワーデバイス開発の現状
3. SiCパワーデバイス解析評価における課題

第2項 SBD (藤原 広和)

- 1. SiCエピウエハの結晶欠陥
2. 刃状転位およびらせん転位がリーク電流に及ぼす影響
3. 今後の課題

第3項 MOSFET (先崎 純寿)

- 1. SiC-MOS 界面特性評価
1.1 容量-電圧(C-V)測定によるMOS界面

- 特性評価
1.2 Hall効果を用いたSiC-MOSFET特性評価

2. SiCゲート絶縁膜信頼性評価

- 2.1 ゲート絶縁膜信頼性とSiCウエハ欠陥
2.2 ゲート絶縁膜のリアルタイム発光像観察

第4項 PINダイオードにおけるリーク解析 (米澤 喜幸)

- 1. MOSFET工程と歩留り
2. 実験方法とその結果および考察
2.1 低耐圧エピ接合PINダイオード解析
2.2 イオン注入なしの場合のリーク欠陥解析
2.3 3Dトポによるリーク欠陥解析
2.4 Al+イオン注入時のリーク欠陥解析

第2節 GaNパワーデバイス

第1項 GaNの欠陥とデバイス特性 (水谷 孝)

第2項 事例1: SBD (上田 哲三)

第3項 事例2: FET (上田 哲三)

第4項 事例3: HBT (牧本 俊樹)

- 1. ヘテロ接合バイポーラトランジスタ(HBT)
2. HBTにおける電流密度特性と降伏電界強度特性
3. パワーデバイスとしての窒化物半導体HBTの可能性

第3節 LED照明 (岩橋 友也)

- 1. 白色LED照明の発光方式
1.1 白色LED光源の方式
1.2 白色LEDモジュールの構造
2. LED照明の評価項目と方法
2.1 特性評価
2.1.1 積分球サイズの選定
2.1.2 積分球の校正
2.1.3 測定誤差の低減
2.2 信頼性
2.3 光の質
2.4 LED照明器具の安全性(蛍光灯タイプ)
(1) ランプ構造
(2) 専用電源
(3) 主要スペック

第3章 薄膜太陽電池

第1節 薄膜太陽電池モジュールの構成 (中島 昭彦)

- 1. 薄膜太陽電池セルの種類
2. 薄膜太陽電池セルのモジュール構造

第2節 太陽電池モジュール用部材の基礎 (増田 淳)

- 1. 太陽電池モジュールの構成

- 2. モジュール化技術
3. モジュール部材に要求される特性
4. モジュールの信頼性試験

第3節 太陽電池モジュール用周辺エッジシール材 (戸田 道夫)

- 1. エッジシール材の必要性とB-Dryの開発
2. B-Dryを使用したモジュール構造
2.1 標準構造
2.2 バイレイヤー構造
3. B-Dryによる水分バリアのメカニズム
4. ブレックスルータイム/ラグタイムの考え方と実例
5. B-Dryの接着性
6. B-Dryの電気的特性

第4節 太陽電池モジュールの製造装置: ケーシング技術 (仲濱 秀彦)

- 1. 太陽電池モジュールの構造と部材
1.1 スーパーストレート方式
(1) ガラス基板
(2) インターコネクタ
(3) 封止材
(4) バックシート
(5) 端面シール
(6) フレーム
(7) 端子ボックス
2. 太陽電池モジュール製造ラインにおける材料から見た重要な装置
2.1 はんだ配線機
2.2 ラミネート加工
2.2.1 ラミネータについて
2.2.2 インラインでのラミネート加工
2.2.3 ラミネータの構造
2.2.4 EVA封止材のラミネート加工中の化学反応
2.2.5 ラミネート加工の流れ
2.2.6 ダイアフラムの役割と開発状況
2.2.7 ラミネータレシビ決定方法
3. 太陽電池モジュールの製造技術の今後

第5節 太陽電池モジュールの信頼性試験 (棚橋 紀悟)

- 1. 結晶系太陽電池モジュールとの信頼性試験の差異
2. 薄膜太陽電池モジュールの劣化モード
2.1 透明導電膜(TCO)の電気化学腐食
2.2 エッジデリーションの不適合性
2.3 シャント抵抗低下(スクライブ不純物等の影響)
3. 薄膜太陽電池モジュールの長期信頼性試験へ向けた取り組み

- 3.1 直列抵抗の増大に関する迅速で感度よい試験 評価方法
- 3.2 シャント抵抗の低下に関する迅速で感度よい試験 評価方法
- 3.3 セル フレーム間のリーク電流に関する迅速で感度よい試験 評価方法

## 第6節 太陽電池モジュールの性能評価

- 1. 太陽電池性能評価技術の概要
- 2. 測定結果に影響する主な要素
  - 2.1 ソーラシミュレータ光の調整
  - 2.2 分光感度測定
  - 2.3 照度ムラ サンプル形状
  - 2.4 I-V特性測定
- 3. まとめと今後の課題

## 第4章 薄型ディスプレイ

### 第1節 薄膜トランジスタ

#### 第1項 無機薄膜トランジスタ

- 1. a-Si TFT
- 2. LTPS TFT
- 3. TFTの初期特性評価
  - 3.1 オン電流
  - 3.2 オフ電流
  - 3.3 閾値電圧
  - 3.4 サブスレッショルドスイング
- 4. TFTの信頼性評価
  - 4.1  $V_{th}$ シフト
    - 4.1.1 a-Si TFT
    - 4.1.2 LTPS-TFT
  - 4.2 ホットキャリア効果
- 5. 酸化物半導体(InGaZnO: IGZO) TFT

#### 第2項 有機薄膜トランジスタ

- 1. 移動度の算出
- 2. コンタクト抵抗に対する補正 (Transfer Line Method)

### 第2節 液晶ディスプレイの評価

#### 第1項 液晶ディスプレイ(LCD)

- 1. 液晶と配向膜を中心に
- 2. 液晶ディスプレイ(LCD)の構造

#### 第2項 液晶薄膜と配向膜の多様性と表示モード

- 1. Twisted Nematic (TN) モード
- 2. In-Plane Switching (IPS) モード
- 3. Vertical Alignment (VA) モード
- 4. 光配向

#### 第3項 デバイスとしての評価

- (1) 透過率
- (2) コントラスト
- (3) 視野角
- (4) 駆動電圧
- (5) 応答速度
- (6) 色純度

#### 第4項 液晶薄膜と配向膜バルク特性

- 1. 配向性
- 2. 複屈折(リタレーション)
  - 2.1 コンベンセータの利用
  - 2.2 セナルモン法
  - 2.3 スペクトル計測
  - 2.4 その他
- 3. 屈折率
  - 3.1 Abbeの屈折計
  - 3.2 プリズム偏角法
  - 3.3 干渉法
- 4. プレチルト角
- 5. 誘電率
- 6. 弾性定数
- 7. その他

#### 第5項 配向膜近傍の液晶超薄膜

- 1. アンカリング強度
  - 1.1 極角アンカリング
  - 1.2 方位角アンカリング
- 2. その他

#### 第6項 非線形光学による界面分子配向解析

- 1. 試料作製
- 2. 測定
- 3. スペクトル解析

### 第3節 有機ELディスプレイの評価

#### 第1項 有機ELの発光効率評価

- 1. 有機ELにおける発光効率

- 2. 外部量子効率の定義
- 3. 実験詳細
  - 3.1 発光効率を測定するための試験素子
  - 3.2 光検出の方法と輝度計の種類
  - 3.3 輝度計の特長
    - ①光パワーメーター
    - ②分光放射輝度計
    - ③色彩輝度計
- 4. 外部量子効率の測定方法
  - 4.1 光パワーメーター(Siフォトダイオード)を用いた検出方法
  - 4.2 分光放射輝度計
- 5. 集光方法
  - 5.1 ゴニオメーター
  - 5.2 積分球

#### 第2項 有機EL薄膜の分子配向制御 評価

- 1. 分子配向の評価
  - 1.1 配向秩序パラメータ
  - 1.2 偏光吸収を応用した分子配向評価
  - 1.3 分光エリブソメトリーによる分子配向評価
- 2. 分子配向の制御

## 第5章 薄膜磁気メモリ

### 第1節 薄膜磁気記録媒体

- 1. 薄膜磁気記録媒体の応用形態
- 2. 薄膜磁気記録媒体の構成
  - (1) 磁気特性
  - (2) 薄膜の構造
  - (3) 薄膜の微細組成構造
  - (4) 磁区構造

### 第2節 磁気記録用ヘッド薄膜

- 1. 磁気ヘッド
- 2. 記録ヘッド用磁性薄膜
  - (1) 軟磁性薄膜の基本特性
  - (2) 磁気記録ヘッド素子の動作特性
- 3. 再生磁気ヘッド用磁性薄膜

## 第6章 有機薄膜デバイス

### 第1節 有機薄膜発光ダイオードの特性評価

- 1. はじめに
- 2. 過渡EL法
  - (1) ゾーンⅠ: キャリア移動度評価
  - (2) ゾーンⅡ: キャリア/トラップ密度評価
  - (3) ゾーンⅢ: 空間電荷形成電界
- 3. 界面評価のための光学シミュレーション解析法

### 第2節 有機薄膜太陽電池の評価

- 1. 有機薄膜太陽電池の概要
- 2. 有機薄膜太陽電池研究の歴史
- 3. 有機半導体材料
- 4. 太陽電池素子の作製
  - 4.1 低分子蒸着系
  - 4.2 高分子塗布系
- 5. 性能の評価
  - 5.1 照射下での劣化
  - 5.2 大気中暗所保存での劣化
  - 5.3 劣化部位の可視化
- 6. 有機薄膜太陽電池の今後

### 第3節 有機薄膜トランジスタの動作解析

- 1. 試料作製
- 2. 測定
- 3. スペクトル解析

## 第7章 バイオセンサ

### 第1節 ナノ材料薄膜

### 第2節 自己組織化膜

- 1. 自己組織化膜とその種類
  - 1.1 自己組織化単分子膜(SAM)
  - 1.2 Langmuir-Blodgett membrane (LB膜)
  - 1.3 BLM
- 2. 自己組織化膜評価技術
  - 2.1 膜厚評価法
  - 2.2 配向性評価
  - 2.3 接触角測定
  - 2.4 電気化学測定
  - 2.5 その他の測定
- 3. 自己組織化膜のバイオセンサへの応用
  - 3.1 DNAセンサ
  - 3.2 糖鎖を利用したバイオセンサ
  - 3.3 タンパクを利用したセンサ

### 第3節 疑似生体膜

- 1. 生体膜と相互作用する物質の検出
- 2. 膜タンパク質の疑似生体膜環境中での機能評価

### 第4節 分子インプリント

- 1. 分子インプリントとは
- 2. 分子インプリントの原理
- 3. 分子インプリント材料の特徴
- 4. 分子インプリント膜を応用したバイオセンサ
  - 4.1 電気化学センサ
  - 4.2 水晶振動子質量計測センサ(QCM)
  - 4.3 蛍光 カラリメトリーセンサ
  - 4.4 表面プラズモン共鳴センサ(SPR)
  - 4.5 反射干渉分光センサ(RIFS)

### 第5節 機能積層膜

- 1. ラングミュア プロジェクト膜
- 2. 交互累積膜
  - 2.1 交互累積膜の作製と評価
  - 2.2 交互累積膜のバイオセンサへの利用

### 索引