

研究紹介

単色 X 線およびデュアル X 線の
簡便な発生法と計測機器への応用

技術解説

E C R スパッタ法による薄膜作成

設備紹介

最新の疲労試験方法

—超音波振動を利用した疲労試験装置—

産技研、FPGAカンファレンスを共催

蛍光タンパク質を用いた非特異的吸着の評価



西が丘本部でデザインセンターオープニングセレモニー
が行われました(平成18年9月13日)

本誌はインターネットでも閲覧できます。 <http://www.iri-tokyo.jp> をご覧ください。



地方独立行政法人

東京都立産業技術研究センター

単色X線およびデュアルX線の簡便な発生法と計測機器への応用

X線発生装置の出力に金属板のフィルタを適用するという非常に簡便な方法で、単色X線やデュアルX線を発生させることができました。この方法を用いることで、X線を利用した機器の測定精度向上や2成分同時計測などが低コストで実現できます。

様々な機器に利用されているX線

X線はその透過力などの特徴を生かして、レントゲン撮影や非破壊検査など、医療や産業分野に広く利用されています。X線を利用した機器には、製造ラインにおける紙やフィルムなどの厚さ計や、骨密度を測定する骨塩量測定器などがあります。これらはX線の吸収量でもの厚さや密度を測ろうとするものですが、X線の吸収は物質やX線のエネルギーによって異なります。正確な計測のためには、計測に最適なエネルギーのX線を用いることが重要となります。

X線の発生法とエネルギースペクトル

通常X線を発生させるには、X線管が用いられます(図1)。その出力は、連続したエネルギースペクトルを持つ制動X線の成分とターゲットの材質による特性X線からなります(図2)。制動X線のエネルギースペクトルの最大エネルギーは管電圧に、強度は管電流によります。特性X線のエネルギーは、ターゲットの元素に固有な線スペクトルです。

連続したエネルギースペクトルのX線から特定

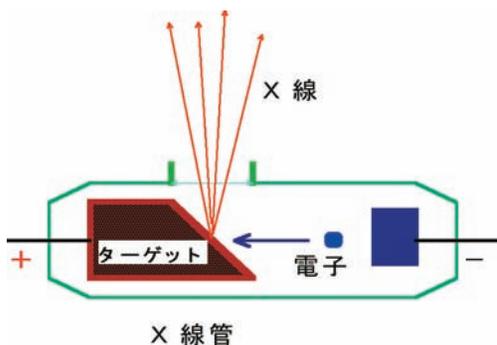


図1 X線の発生方法

X線管の電極間に印可された高電圧により加速した電子は、ターゲットに衝突して、そのエネルギーをX線として放出します。

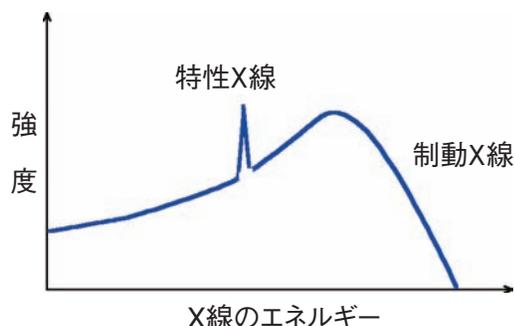


図2 X線のエネルギースペクトル

X線管から出力されるX線は連続したスペクトルを持つ制動X線と線スペクトルの特性X線からなります。

のエネルギーのみを取り出したX線を、白色光から単色の光を取り出すことになぞらえ、単色X線といえます。従来は連続X線に結晶や回折格子をもちいて、回折し、X線を分光する方法で単色化をおこなっていました。

当所では、X線管の出力の前に金属箔のフィルタを配置することにより、単色X線や2つのエネルギーピークを持つデュアルX線を発生する方法を開発しました。以下にその方法を説明します。

金属フィルタによるX線の単色化・デュアル化

X線管からの出力されるX線は、金属フィルタによって吸収されると同時に、フィルタ金属に固有の特性X線が発生します。X線管の電圧・電流およびフィルタの厚さを調整すると、X線管からの出力成分はフィルタでほとんど吸収され、フィルタからの特性X線ピークだけがあらわれる単色X線が得られます(図3)。フィルタに種々の金属をもちいるこ

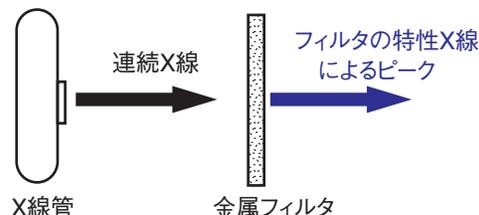
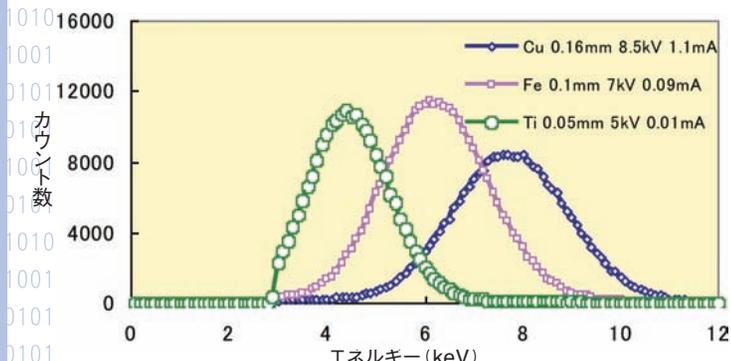


図3 金属フィルタによる単色X線の発生原理

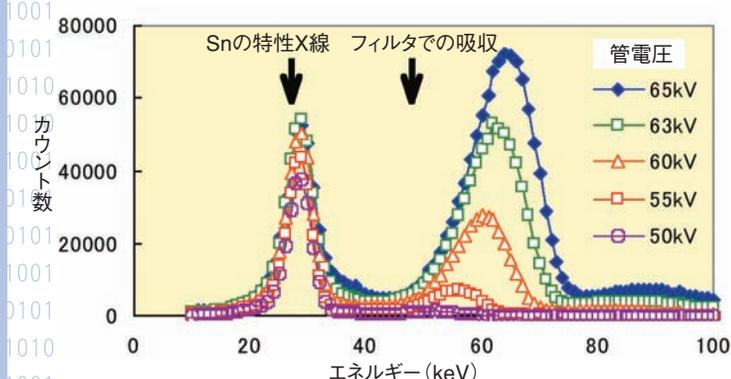
X線管からの連続X線は、金属フィルタで吸収され、フィルタからはその金属固有の特性X線が発生し、ピークをつくります。

101011101010111011101001010100011001010
 100101010100101101010111011101001010101
 010101000110010100110101010110111000110
 010101101110001101010111011101001010101
 100101010100101101010111011101001010101
 010101000110010100110101010110111000110

1010
 1001
 0101



(1)単色X線の発生 (フィルタ:銅(Cu)、鉄(Fe)、チタン(Ti))



(2)デュアルX線の発生 (フィルタ:1mm厚スズ(Sn))

図4 金属フィルタにより発生した単色X線とデュアルX線

- (1) 種々の金属フィルタに管電圧などの条件を整えることにより、ピークエネルギーの違う単色X線が得られます。
- (2) 単色X線が得られる条件から管電圧を上げていくと、特性X線によるピークより高いエネルギーに、もう一つのピークがあらわれ、デュアルX線となります。

とで、エネルギーの異なる単色X線を得ることができます(図4(1))。

管電圧をさらに上げると、連続な制動X線のより高いエネルギー成分が、フィルタで吸収されずにあらわれるようになり、ピークをつくります(図4(2))。こうして2つのエネルギーピークをもつデュアルX線を得ることができます。

単色X線・デュアルX線の計測機器への応用

計測に適したエネルギーの単色X線を、この簡便な方法により発生し用いることで、X線による機器の精度向上を低コストで実現することができます。

表1 1mm厚スズ箔で発生したデュアルX線による骨塩模擬試料の測定

アルミ厚(mm)	模擬骨塩量(g/cm)	測定値(g/cm ²)
1	0.27	0.25
2	0.54	0.55
3	0.81	0.81
4	1.1	1.1
5	1.4	1.3

またデュアルX線を用いて、その2つのエネルギーピークでの吸収の違いを利用すれば、ラミネートフィルムの2成分の厚さの同時計測や、筋肉の内側にある骨の密度(骨塩量)を精確に測定することも可能となります。

スズ1mm厚、管電圧63kVの条件で得られたデュアルX線を用いて、骨密度(骨塩量)測定を行ないました。模擬試料として、筋肉を5mm厚のポリエチレン、骨を1~5mm厚のアルミニウム板とした指を用いました。測定結果は骨塩量の計算値と精度よく一致しました(表1)。

ラミネートフィルムの2成分計測の例として、100μm厚ポリエチレンフィルム+10μm厚ニッケル箔の模擬ラミネート試料の厚さ測定を試みました。チタン箔フィルタ(厚さ40μm)を用い、管電圧10kVで発生したデュアルX線での同時計測で、ポリエチレンとニッケルの厚さをそれぞれ90μm、10.2μmとする計測値を得ることができました。

金属フィルタによる単色X線、デュアルX線は、X線を利用した様々な機器に応用が可能です。今後も幅広い応用に努めていきたいと考えています。単色X線あるいはデュアルX線に興味をお持ちの方は、下記までご相談ください。

事業化支援部 駒沢支所 放射線安全係
 櫻井 昇 TEL 03-3702-3114
 E-mail: sakurai.noboru@iri-tokyo.jp

101011101010111011101001010100011001010
 100101010100101101010111011101001010101

ECRスパッタ法による薄膜作成

現在あらゆる製品には薄膜技術が使われています。高い機能性と多くの利点を持つ薄膜製造技術としてECRスパッタ法を紹介するとともに、ECR装置の応用利用を解説します。

薄膜とは

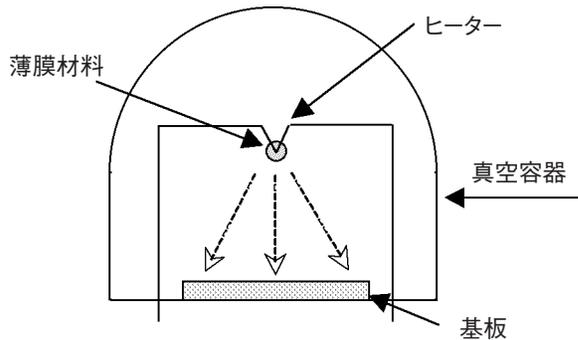
あらゆる工業製品には、薄膜が形成され使われています。一般生活で良く目にする塗装やメッキをはじめ、傷を防止する保護膜や乱反射防止膜、プリント基板や半導体の電気配線、絶縁素材、磁気フィルムなど各種機能を持った薄膜が使用されています。目に見えるものから見えないところまで薄膜なくして現在の工業は成り立たないと言って良いでしょう。

今回は、真空中で薄膜を作る手段の一つECR (Electron Cyclotron Resonance:電子サイクロトロン共鳴) スパッタ法を紹介します。

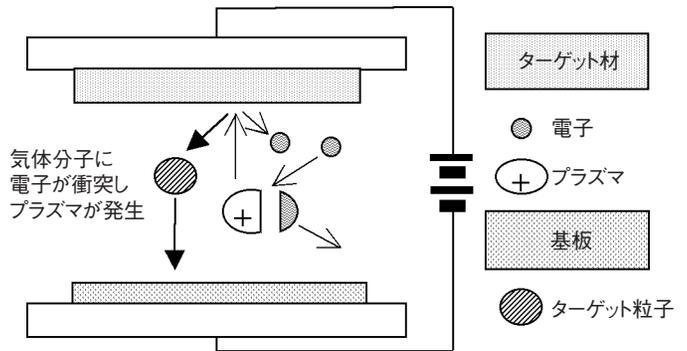
真空を用いた薄膜製作法

真空を使用する薄膜生成法として代表的なもの、真空蒸着法とスパッタ法に分かれます。

真空蒸着法は薄膜としたい物質を過熱して蒸気に変え、試料に衝突付着させ薄膜を形成する方法です。



スパッタ法は、気体の分子をグロー放電などでプラズマ化し、電位差を付けて薄膜(ターゲット)材料に向けて加速します。衝突したプラズマにより飛ばされたターゲット粒子を試料に付着させて薄膜を形成する方法です。

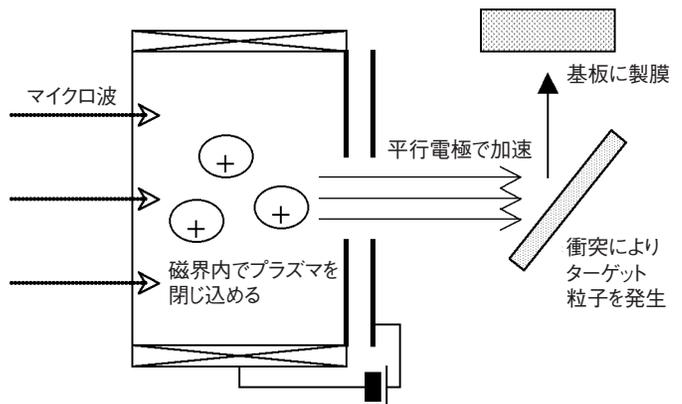


真空蒸着法は製膜速度が速く装置構造も簡単ですが、高融点の材料や、融点の異なる複合材料などを製膜するには向きません。

一方スパッタ法では高融点材料や合金材料でも製膜が可能で、真空中に微量の酸素や窒素などを導入することで化合物薄膜も作ることができます。しかし、装置が複雑になり高価になることと、気体分子のプラズマが試料に接するため、熱ダメージを与えやすい欠点を持ちます。

ECRスパッタ

ECRスパッタ法は、グロー放電を使わず、マイクロ波を用い、気体分子にエネルギーを与えプラズマを発生させます。プラズマは磁界内では回転し外に漏れないため、高密度のプラズマを閉じ込めることができます。ターゲット材方向に平行電極板を配置し電位を与えることで材料にプラズマを加速衝突させます。



最新の疲労試験方法—超音波振動を利用した疲労試験装置—

自動車部品から医療用の生体材料に至るまで、摺動部分には製品あるいは素材としての耐久性および安全性の向上が求められています。ここでは、おもに金属系材料の疲労特性を短時間で評価することができる最新の超音波疲労試験装置をご紹介します。

加速試験のメリット

超音波疲労試験装置は、20kHzの縦波振動により共振(2万回/s)を発生させて、図1の疲労試験片(中央部φ3.0)に繰り返し応力 σ を負荷します。したがって、従来までは試験が困難とされてきた 10^8 (1億)回 $\sim 10^{10}$ (100億)回レベルの疲労特性を調べることができるのです。

例えば、繰り返し回数が 10^7 (1000万)回の試験時間は約10分、 10^9 (10億)回で約14時間、さらに 10^{10} 回では約5.8日で加速試験が終了します。

◆繰り返し応力(両振り) 150~700 MPa

◆繰り返し周波数 20 kHz \pm 500 Hz

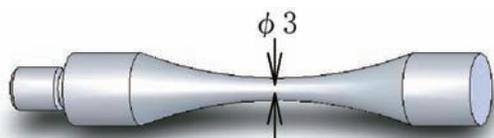


図1 サークュラテーパ型疲労試験片

既存のソフトウェアを利用して、共振する疲労試験片の形状を設計変更することができます。

測定原理

図2に示す試験装置は、固体中を伝わる縦波が共振するように振動系が構築されています。アクチュエータ部分(ピエゾ素子)で発生した20kHzの振動は、ホーン部分で増幅された後、試験片へと伝わり引張圧縮の繰り返し応力 σ が負荷されます。応力 σ は、試験片の片側端面に取り付けられた非接触の渦電流式変位計による変位から求められます。また、加速試験をおこなう場合、試験片にはエアを吹き付けて冷却し、加熱による強度低下を抑制します。

図3には、試験片に作用する繰り返し応力 σ と変位の関係を示します。共振を発生させることで、試

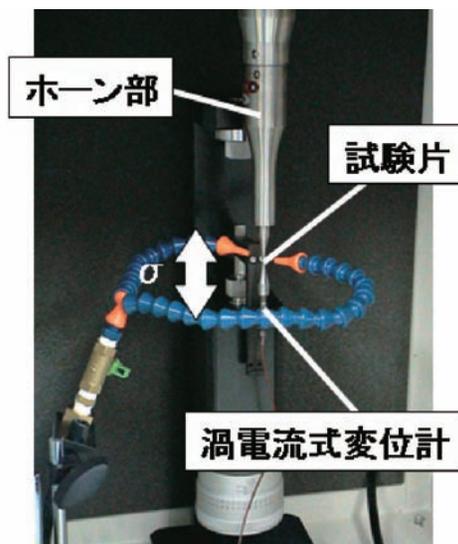


図2 試験片および超音波発生部

試験片はホーン先端部に固定されて、超音波による共振により繰り返し応力 σ が負荷されます。

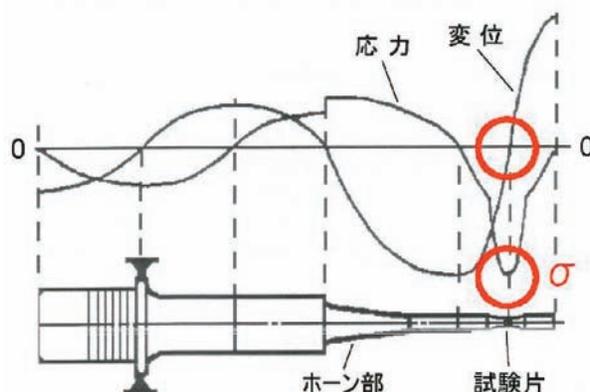


図3 応力-変位関係図

試験片の中央部には、引張圧縮の最大繰り返し応力 σ が作用しています。

試験片の中央部には、最大繰り返し応力 σ が作用して試験片を疲労破壊させます。適用材料は、鉄鋼材料からチタンやアルミニウムなどの非鉄材料までが可能です。特に、材料の熱処理や表面処理による疲労強度の向上について検討することができます。

当センターでは、最新の試験設備を利用した試験解析だけでなく、製品の疲労特性に関する技術相談やこれに関連する各種強度試験もおこなっておりますので、是非、お気軽にご連絡ください。

事業化支援部 製品化支援室 <西が丘本部>
増子 知樹 TEL03-3909-2151 内線531
E-mail : masuko.tomoki@iri-tokyo.jp

産技研、FPGAカンファレンスを共催

FPGA (Field Programmable Gate Array)は自由にカスタマイズできるICチップです。1985年に登場して以来、産業用装置から家庭製品に至るまで幅広く利用されています。FPGAの有用性をさらに広く普及しようと、9月22日にキャンパス・イノベーションセンター（田町）で第9回FPGAカンファレンスが開催されました。昨年までは5大都市で行われていましたが、今年はNPO法人 FPGAコンソーシアムと産技研とが共催し、東京が加わったことで6大都市へと拡大しました。会場内では200名の専門家がひしめき合い、お互いに最新情報や意見を交わしていました。

会議では、当センターの理事長が共催者としての挨拶を行い、日本の組み込み分野における教育の重要性や産技研の取組みについて語りました。また、講演会場ではFPGA関連の最新動向についての講演が行われ、産技研からは経済産業省から委託された地域新生コンソーシアムの研究成果であるインターネットの不正アクセスを抑制する世界最速のフィルタリング装置について講演しました。さ



写真1 カンファレンス会場
札幌・仙台・名古屋・大阪・博多に東京が加わり、6都市へ拡大



写真2 理事長の挨拶
日本の組み込み分野の重要性を主張し、ついに開幕



写真3 地域新生コンソーシアムの成果講演
インターネットの不正アクセス抑制処理に10Gbpsの超高速化を実現
音楽用CDであれば、わずか1秒で送れる速さ



写真4 産技研の展示ブース
地域新生コンソーシアムの成果と、10～11月に開講するFPGAを使ったUSB機器開発のための研修「組み込みシステム技術」を紹介

らに展示ブースでは、同フィルタリング装置の技術的な説明とFPGAに関する研修についてご紹介しました。

最近ではあらゆる製品のIT化が進められています。これに対してFPGAはオリジナルのICを短期間で作ることができるため、開発スピードの向上、知的財産の保護に優れています。FPGAは今後の製品開発に不可欠です。産技研では、中小企業の皆様に対してFPGAを利用するための様々な研修ならびにご指導をさせて頂いております。また、11月15～17日の期間、パシフィコ横浜で開催されるEmbedded Technology 2006 (<http://www.jasa.or.jp/top/>)におきまして展示および講演を行います。是非お立ち寄り下さい。

研究開発部 ITグループ<西が丘本部>
武田 有志 TEL 03-3909-2151 内線491
E-mail: takeda.yuji@iri-tokyo.jp

蛍光タンパク質を用いた非特異的吸着の評価

都内にある企業が新規表面処理剤を開発しました。これは細胞の表面構造を参考にして合成されたポリマーで、タンパク質の非特異的吸着に対して非常に高い抑制性能が有すると予想されています。ターゲットは試験容器、特に近年研究が盛んになっているマイクロ流路内のタンパク質の非特異吸着防止処理です。開発品効果の評価に課題がありました。私たちは独立行政法人産業技術総合研究所との共同研究の成果をもとに、この評価方法を開発しました。その方法は、蛍光タンパク質の遺伝子を組み込まれた大腸菌を液体培養で増やし、次に、超音波で菌体を破砕し、遠心分離法でタンパク質を取り出して、評価試験に利用するものです。大腸菌が作った蛍光タンパク質を直接利用するこの技術により、試料の調製はすべて内製化され、経済性と利便性が大幅に改善されています。

従来のタンパク質の非特異的吸着の評価方法と問題点

方式	方法	問題点
直接タンパク質の観察	原子力顕微鏡(AFM)	測定時間が長い 測定範囲は狭い 密閉流路内は不可
標識物により間接的にタンパク質を観察	酵素標識 蛍光標識 放射線同位元素標識	高価 試料濃度が低い 純度や安定性の検討が必要

開発した技術には、下記のように多数の利点があります。

- 蛍光タンパク質を用いた直接観察であること
- 高感度であること
- 測定時間が短いこと
- 選択肢が豊富:青、緑、黄、赤の蛍光タンパク質が選べること
- 様々な分子量のタンパク質が選べること
- 大面積評価に対応できること(図1)
- 密閉した流路内への対応ができること(図2)
- 大腸菌の液体培養なので、安価であること
- 品質が安定していること
- 高濃度なタンパク試料を作れること(図2)

産技研では、このようなマイクロチップに関連する評価法など、研究開発や技術相談を行っています。チップの設計、製造、実装と評価を含め、全面的に技術支援します。関連する相談がありましたらご連絡ください。

研究開発部 エレクトロニクスグループ <西が丘本部>
楊 振 TEL 03-3909-2151 内線448
E-mail:zhen.yang@iri-tokyo.jp

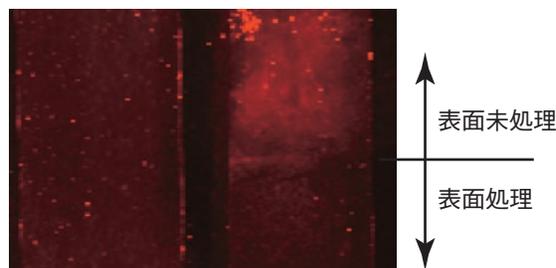


図1. イメージアナライザーで撮った非特異的吸着の抑制実験の写真

2枚のスライドガラスは下の2/3部分を開発品で処理。右は赤い蛍光タンパク試料を処理したもの。左は蛍光タンパク質を処理していない比較対照。開発品の吸着抑制効果が確認できました。

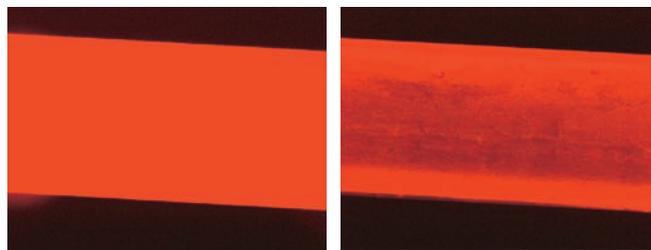


図2. Glass/Si マイクロチャンネル(幅 300 μm) 内部における表面処理剤の効果の蛍光顕微鏡写真

左は撥水処理した流路で、タンパク質が大量付着しています。右は開発品で処理した流路で、タンパク質の付着が少ないことがわかります。高濃度の蛍光タンパク質試料を用いて、各種処理法に関する効果の差がはっきり現れています。