

# モバイル機器の最先端電子部品における 膜厚計測ニーズに対応

## —高性能蛍光X線膜厚計 FT150シリーズ—

高橋 春男  
Takahashi Haruo

泉山 優樹  
Izumiyama Masaki

廣瀬 龍介  
Hirose Ryusuke

高原 稔幸  
Takahara Toshiyuki

蛍光X線分析によるめっき膜厚の計測は、非破壊・非接触で多層膜を同時に測定可能な方法であり、電子部品などのめっき膜厚計測用途で広く用いられている。微小化する測定部位の計測を行うには、照射するX線を細く絞る必要がある。

高性能蛍光X線膜厚計FT150シリーズでは、従来のコリ

メータ方式に代わり、ポリキャピラリX線集光素子を用いることで、試料に照射するX線の強度を1,000倍程度に高めることが可能となり、数十マイクロメートル領域でのナノメートルレベルのめっき膜厚測定ニーズに対応している。本稿では、いくつかの典型的な試料での実測例を通じて、達成された測定精度を紹介する。

### 1. はじめに

試料にX線を照射し、試料から放射される蛍光X線を分析する蛍光X線分析は、非破壊・非接触で測定領域の元素の存在量を分析できる手法である。この特性を生かし、めっきの厚さ測定に蛍光X線分析が広く用いられている。蛍光X線めっき膜厚測定の重要な応用の一つに、電子部品、プリント回路基板、コネクタなどの端子部めっき膜厚測定がある。これら端子部のめっき処理は、各要素の電気的な接続の信頼性を確保するために重要な技術であり、生産の現場において日常的に測定が行われている。

電子機器の小型化・軽量化に伴い、使用する部品の小型化や実装の高密度化が進み、その結果、100  $\mu\text{m}$ 以下の微小な領域でのめっき膜厚を測定するニーズが高まっている。

また、電子部品のめっきには、優れた電気的・化学的特性から金 (Au) が用いられることが多い。しかし、Auめっきは、原材料コストが高く、厚さが品質の重要な要素であることから、めっき膜厚を管理することがますます重要となっている。近年では10 nmを下回る例も多く、最先端電子部品のめっき膜厚管理の現場では、数十マイクロメートルの領域でナノメートルレベルの膜厚を高精度で容易に測定する装置が求められている。

### 2. FT150シリーズ

株式会社日立ハイテクサイエンスは、電子部品の生産現

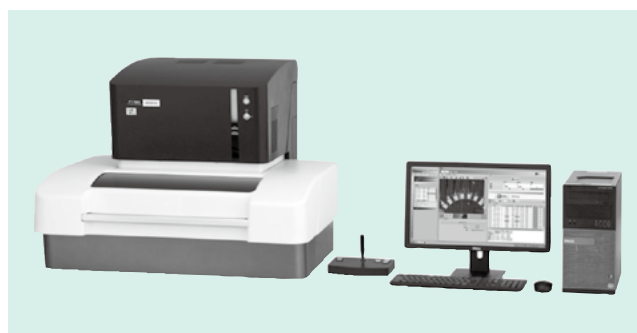


図1 | 装置外観 (FT150)

左から、測定ヘッド、ステージコントローラ、操作用PC (Personal Computer)の外観を示す。

場のめっき膜厚工程を簡単操作で高精度に測定する高性能蛍光X線膜厚計FT150シリーズを開発した。装置外観を図1に示す。

#### 2.1 ラインアップ

FT150シリーズは、測定ニーズに合わせた試料室とポリキャピラリの組み合わせで3機種をラインアップしている(表1参照)。X線照射系はX線源であるX線管球とX線集光素子の一種であるポリキャピラリで構成され、ニッケル (Ni) /パラジウム (Pd) /Au膜で特に50 nmを下回るような極薄膜に対して最適化された照射系と、スズ (Sn)、銀 (Ag)、あるいは比較的厚いPdやAuなどさまざまなめっきに広く対応できる照射系を用意した。試料室は300 mm

表1 | FT150シリーズのラインアップ

ポリキャピラリと試料室の違いで3機種がラインアップされている。

	試料室	ポリキャピラリ
FT150	通常	極薄Ni/Pd/Au膜に適した特性
FT150L	大型	(同上)
FT150h	通常	Sn, Agなどの膜に適した特性



図2 | FT150L 試料室の扉を開けた状態

開口部が大きいため、たわみやすい大型の試料の設置も行いやすい。

×400 mmの通常サイズと600 mm四方の大型プリント基板も測定可能な大型サイズの2種類が用意されている(図2参照)。

## 2.2 照射系と検出強度

FT150シリーズでは、X線照射系にポリキャピラリX線集光素子を用いることで、高い強度のX線を微小領域に集束し、高精度測定を実現した。これにより、FT150およびFT150Lの極薄Pd/Au膜に最適化されたポリキャピラリでは、Au膜に対して30 μmの照射径を、FT150hではSn膜に対して35 μmの照射径をそれぞれ実現した。

一方、X線検出感度の向上を実現するために、高強度のX線に対しても飽和しにくいシリコンドリフト型X線検出素子(SDD: Silicon Drift Detector)を用いて高感度化のための最適化を行った。これにより、ポリキャピラリX線集光素子との組み合わせでFT150およびFT150LではAuの蛍光X線強度は従来比2倍になり、FT150hでは従来検出の難しかった20 keV以上の領域でも十分な測定が可能となった。

## 2.3 操作性

蛍光X線膜厚計は、生産現場において高頻度で使用されるため、装置の操作性も重要なポイントである。

FT150シリーズでは、次の3点をコンセプトに設計し、作業性向上を実現した。

- (1) 開口部を大きくすること
- (2) 小さな力で開閉可能とすること

- (3) 測定部位への視線を妨げる位置に構造物を配置しないこと

一方、大型のプリント回路基板の測定が可能なFT150Lでは、放射線漏えいの危険を回避する目的で、一般的に使われることの多いスリット方式は採用せず、大型基板全体をカバーできる方式を採用した。パワーアシストヒンジを採用した大型扉は、片手で簡単に開閉できることに加え、試料ステージ上に大空間が確保できることから、スリット方式と比較してスリットに試料を挿入する際の試料の損傷などのリスクを低減することが可能である(図2参照)。

さらに、測定者の負担を軽減する目的で、装置立ち上げ時のウォームアップや定期的な装置校正は、装置に内蔵した試料を用いて自動的に実施される。

## 3. 蛍光X線膜厚測定 の原理と特徴

### 3.1 蛍光X線膜厚測定 の概要

試料に一次X線を照射すると、膜を構成する成分からそれぞれの元素に固有のエネルギーのX線すなわち蛍光X線が放射される。蛍光X線の量は試料の膜厚に応じて変化するため、蛍光X線強度から膜厚を算出できる。この方式では、X線の入射および検出は、膜の外部から試料に触れずに行うことが可能であり、生産現場への適用が容易である(図3参照)。

蛍光X線の発生量は、原理的に統計的な揺らぎが含まれる。この統計的な揺らぎをなくすことは不可能であるが、検出するX線光子の量を増やすことで、相対的に揺らぎの量を小さくすることができる。つまり、高精度な測定は、一次X線の量を増やすことと、検出効率向上によって検出

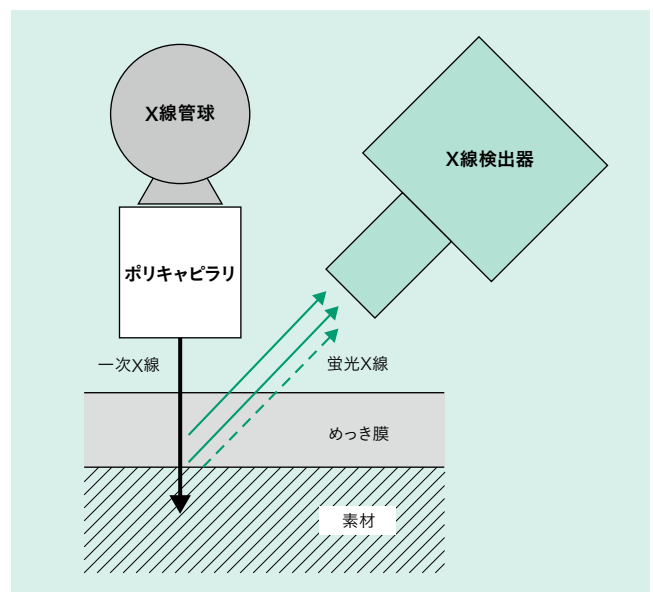


図3 | 蛍光X線による膜厚測定 の原理

試料外部から一次X線を照射し、試料から放射される蛍光X線を検出して分析するため、非破壊・非接触で分析が可能である。

される蛍光X線の強度を増やすことで実現する。

### 3.2 微小部測定技術

蛍光X線膜厚測定では、測定対象以外の場所に一次X線が照射されると正しい測定ができない。よって、測定対象に合わせて一次X線を細いビーム状にする必要がある。X線は可視光と同じく電磁波の一種であるが、屈折率は可視光と比較して極端に小さいため、光学レンズ系で収束することは実質的に不可能である。簡便な方法としては、X線を遮蔽可能な十分な厚さを持った金属板に小孔を作り、照射領域を制限する方法、すなわちコリメータ方式が広く用いられている。ところが、この方法で照射径を小さくしていくと、X線の強度はおおむね小孔の面積に比例して小さくなる。これは、前述のように測定精度の低下をもたらすことになる。そこで、微小領域に高強度のX線を照射するために、FT150ではポリキャピラリX線集光素子を用いることとした。ポリキャピラリは、中空ガラス管の内壁での全反射現象を利用してX線を伝搬させ、多数のガラス管をある一点を指向するように束ねることで集光効果を得るものである(図4参照)。

FT150で使用しているポリキャピラリの場合、Auを励起するX線を30 μmの照射領域に集光することができる(図5参照)。従来のコリメータを使用した装置と同じ試料からの蛍光X線強度を比較すると、およそ1,000倍もの強度を得られる(図6参照)。

このようにして、微小部に対しても高強度のX線を照射できるようにした結果、30秒の測定でも1 nmのAu膜からの弱いX線をバックグラウンドから明確に区別することが可能となっている。

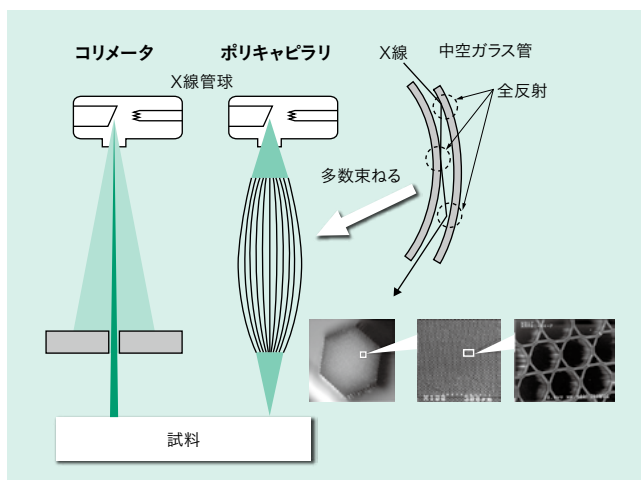


図4 | コリメータとポリキャピラリ概念

コリメータは、ビームを細くすると大部分のX線は試料に照射されなくなり、強度は急激に下がる。ポリキャピラリはX線の集光が可能のため、高い強度のX線を照射することができる。

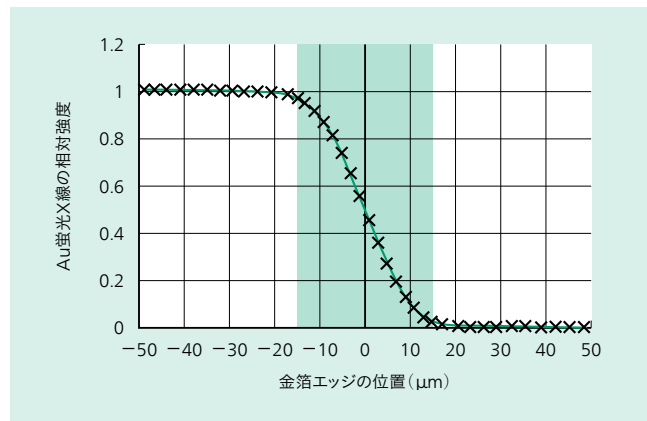


図5 | FT150の照射径

Auの箔の端部を走査し、X線強度の変化をプロットしたものを示す。強度が漸次的に変化している領域から照射径が30 μmであることが分かる。

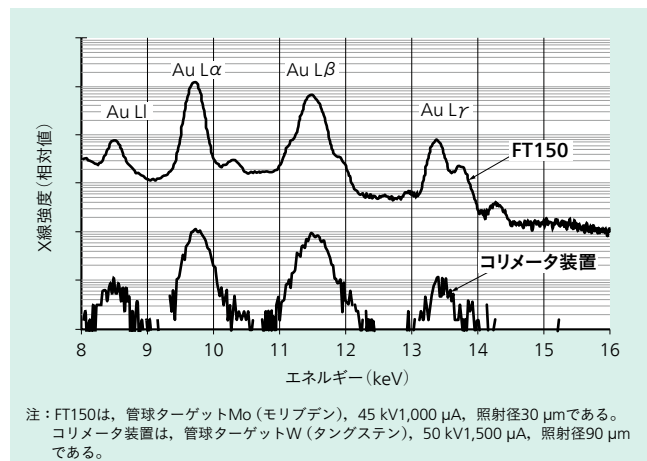


図6 | FT150とコリメータ装置の蛍光X線強度比較

Auバルク試料を測定したスペクトルを重ねて表示したものを示す。FT150ではコリメータ装置に対しおよそ1,000倍の蛍光X線強度が得られている。

## 4. 測定例

典型的な試料であるリードフレームと小型積層セラミックコンデンサについて、FT150による測定の実例を以下に示す。

### 4.1 Cu/Ni/Pd/Au 3層めっき

FT150を用いて、IC(Integrated Circuit)に用いられるリードフレームに施されたNi/Pd/Auの3層めっきの測定を行った。測定にあたっては、膜厚既知のAu箔、Pd箔、Ni箔を銅(Cu)板上に重ねたもの1組を参照試料として登録した。

100秒の測定を10回繰り返し行い、平均値とRSD(Relative Standard Deviation: 相対標準偏差)を求めた。厚さが10 nm(0.01 μm)を下回るような薄い膜も高精度で測定できていることが分かる(表2参照)。

### 4.2 積層セラミックコンデンサ

FT150hを用いて、市販の積層セラミックコンデンサの電極部に施されているNi/Snめっきの測定を行った。

表2 | リードフレームのNi/Pd/Auめっきの繰り返し測定結果

測定時間100秒の測定を10回繰り返した場合の平均値とRSDを示す。

	平均値	RSD
Au	0.0062 μm	1.5%
Pd	0.0180 μm	1.9%
Ni	0.9045 μm	0.1%

注：略語説明 RSD (Relative Standard Deviation)

表3 | セラミックコンデンサのNi/Snめっきの繰り返し測定結果

測定時間30秒の測定を10回繰り返した場合の平均値とRSDを示す。

	平均値	RSD
Sn	4.32 μm	0.4%
Ni	2.46 μm	0.8%

測定対象のコンデンサについて、前処理なしで、直接Ni/Snの2層めっきを測定した。測定にあたっては、膜厚既知のSn箔、Ni箔をCu板上に重ねたもの1組を参照試料として登録した。

30秒の測定を10回繰り返し行い、平均値とRSDを求めた。30秒という短い測定時間でもRSD1%以下の高い精度の測定が行えていることが分かる(表3参照)。

測定したコンデンサを研磨機を使用して断面を作成し、SEM (Scanning Electron Microscope：走査電子顕微鏡)で観察してみたところ、蛍光X線法による膜厚と極めてよい一致を示した(図7参照)。FT150は、蛍光X線測定により照射領域内の平均的な膜厚を精度よく短時間に、断面試料を作成することなく非破壊で測定できるため、生産現場での膜厚管理に適している。

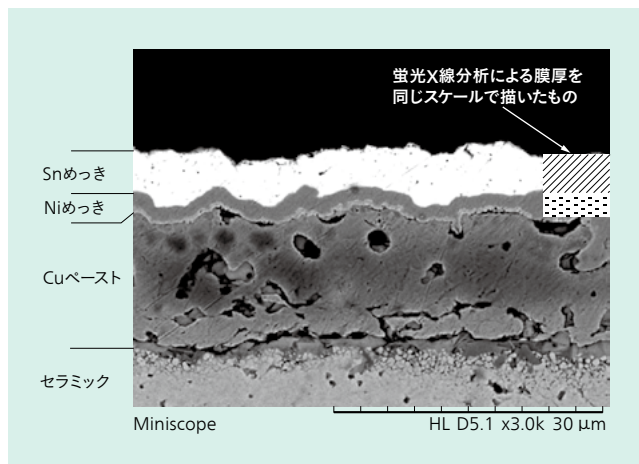


図7 | 測定した積層セラミックコンデンサの断面SEM像

画面右中に、蛍光X線法で得られた膜厚をSEM (Scanning Electron Microscope) 像と同じスケールで表示してある。両者がよく一致していることが分かる。

## 5. おわりに

本稿では、電子部品のめっき膜厚管理における微小部・極薄膜を測定するニーズの高まりを紹介した。そのニーズに応えるために、ポリキャピラリX線集光素子を用いた高輝度微小X線ビームを中心とした測定システムを構築することで、必要とされる測定性能を獲得したことを実測データも交えて示した。

高付加価値の超小型電子部品に対する旺盛な需要は今後も続くと考えられ、膜厚計測もそれに伴って微小化と高精度化をめざして開発を進めていく。

### 参考文献など

- 1) JIS H 8501:1999, めっきの厚さ試験方法, 日本工業規格
- 2) 波岡, 外: X線結像光学, 培風館 (1999.7)
- 3) 泉山, 外: 51回X線分析討論会講演要旨集 (2015.10)

### 執筆者紹介



高橋 春男

株式会社日立ハイテクサイエンス 設計本部 分析設計部 所属  
現在、蛍光X線分析装置の開発に従事



泉山 優樹

株式会社日立ハイテクサイエンス 営業本部 応用技術部 所属  
現在、蛍光X線分析装置の応用技術開発に従事  
日本分析化学会会員



廣瀬 龍介

株式会社日立ハイテクサイエンス 設計本部 分析設計部 所属  
現在、蛍光X線分析装置の開発に従事  
工学博士  
応用物理学会会員



高原 稔幸

株式会社日立ハイテクサイエンス 設計本部 分析設計部 所属  
現在、X線異物検査装置の開発に従事