

## 新しい工業用 X 線非破壊検査法の提案

— これまで見えなかった欠陥が X 線タルボ干渉法で撮影可能に —

平成 25 年 10 月 2 日

独立行政法人 産業技術総合研究所

国立大学法人 東北大学

独立行政法人 科学技術振興機構

### ■ ポイント ■

- ・ タルボ干渉計を用いることでこれまで見えなかった電子部品内の欠陥の撮影が可能に
- ・ 実験室レベルの小型 X 線源で撮影できるため生産現場での利用が容易
- ・ 電子部品など工業製品の品質管理の高度化・効率化に期待

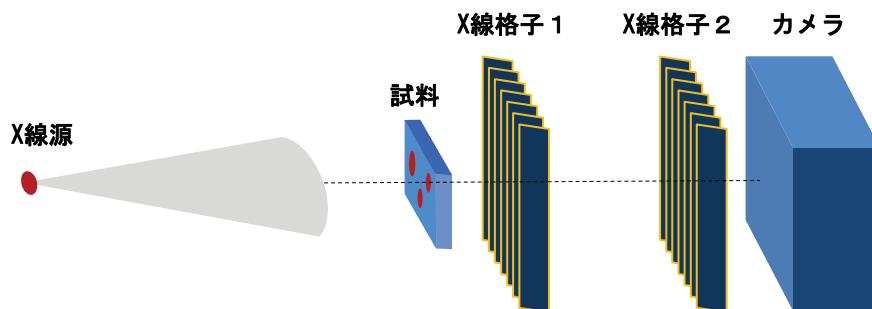
### ■ 概 要 ■

独立行政法人 産業技術総合研究所【理事長 中鉢 良治】（以下「産総研」という）生産計測技術研究センター【研究センター長 坂本 満】プロセス計測チーム 上原 雅人 主任研究員と、国立大学法人 東北大学【総長 里見 進】多元物質科学研究所【所長 河村 純一】の百生 敦 教授、矢代 航 准教授は、半導体パッケージの封止材中の空隙（ボイド）など、従来の X 線非破壊検査法では見えなかった内部欠陥が X 線タルボ干渉法により観測できることを実証した。

金属を透過できる X 線は工業製品の非破壊検査に用いられている。しかし、工業製品は金属の他、セラミックスや樹脂など X 線吸収係数の大きく異なる材料で構成されており、従来の X 線吸収像では、樹脂などの X 線吸収係数の小さい部材の検査は難しい。一方、X 線位相像では樹脂などでも十分なコントラストの像が得られるが、撮影には多くの場合、大型の放射光光源を必要とし、生産現場での利用に難があった。X 線タルボ干渉法では、実験室用の X 線源でも X 線位相像を撮影できる。これまで医療用としての開発が先行していたが、産総研は、電子部品の欠陥観察への利用を提案して実験を行った。その結果、これまでの X 線非破壊検査では見えなかった、樹脂などの内部の欠陥を観測できることが分かった。品質管理の高度化などへの貢献が期待される。

なお、この成果の詳細は、*Journal of Applied Physics* に 2013 年 10 月 3 日（米国東部時間）オンライン掲載される。

は【用語の説明】参照



X 線タルボ干渉法の装置の概略図

X 線タルボ干渉法では、X 線格子 1 の後ろに現れる回折像と X 線格子 2 の重ね合わせで作られるモアレ模様から、従来の X 線吸収像と X 線位相微分像、X 線散乱像を同時に取得できる。

## ■ 開発の社会的背景 ■

我が国の基幹産業である製造業の競争力を高めるためには、品質の高いものづくりと生産の高効率化が必須であり、これらに直結する非破壊検査は重要な技術である。特に、さまざまな部材が実装されている電子部品の内部構造はますます複雑化しており、検査技術もそれに対応する必要がある。

X線は非破壊検査に広く用いられているが、従来の検査で得られるX線吸収像だけでは、電子部品内部の金属配線や電極を検査できても封止材の検査はできない。封止材の検査には、一般に超音波を利用しているが、試料を水に浸す必要があり全数検査には難がある。

## ■ 研究の経緯 ■

産総研は、品質や生産性の向上、製品不具合の対処、安全確保、環境保全などに資する新たな計測技術を生産現場へ提供することを目指している。一方、X線タルボ干渉法は医療用としての研究・開発が先行しているが、今回、これを工業用非破壊検査法として応用の可能性を探るため、電子部品の撮影を試みた。

今回用いた、X線タルボ干渉法による高感度X線位相撮像装置は、独立行政法人 科学技術振興機構（JST）の先端計測分析技術・機器開発プログラムの一環として、百生 教授らによって開発され、東北大学に設置されたものである。今回の研究成果は、同プログラムの枠組み「開発成果の活用・普及促進」の中で、東北大学に設置された高感度X線位相撮像装置を利用して得られたものである。

## ■ 研究の内容 ■

図1にX線タルボ干渉法によりICパッケージを撮影した結果を示す。ICパッケージは素子、金属配線、電極の他、それらを外部から保護する封止材で構成されている。従来のX線非破壊検査法である(a)のX線吸収像では、金属配線や電極は見えるが、封止材の構造は全く見えない。一方、X線タルボ干渉法で得られた(b)のX線位相微分像では、封止材内部の多数のボイドが観察できた。このようなボイドは封止材の保護力を弱めると考えられるため、品質管理上、問題となるが、X線タルボ干渉法によって非破壊検査の高度化が可能になると考えられる。

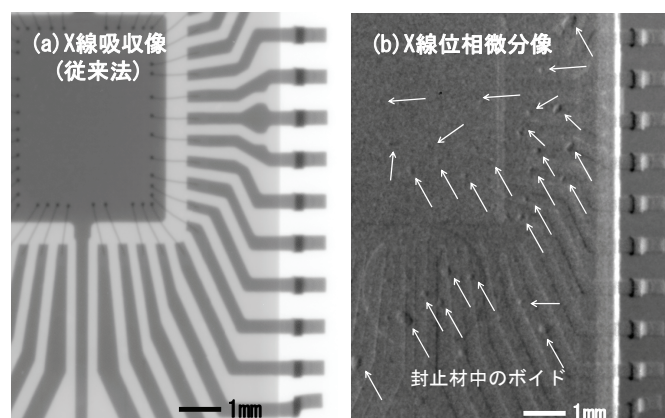


図1 ICパッケージの撮影実験結果

(a)X線吸収像（従来のX線非破壊検査法）、(b)X線位相微分像。

封止材中のボイドは(a)では全く観察できないが、(b)では多数のボイドが明瞭に観察できる。

図2はパワーモジュール模擬試料をX線タルボ干渉法によって撮影した結果である。この試料は、アルミニウムの冷却板と窒化アルミニウムの絶縁板、シリコン基板を積層し、封止材で覆ったものである。あらかじめアルミニウムや封止材表面には傷を入れてある。これらの傷は(a)のX線吸収像では全く見えないが、(b)のX線位相微分像でははっきりと確認できた。また、試料内部のシリコン基板は(a)や(b)では全く確認できないが、(c)のX線散乱像では確認できた。窒化アルミニウム内にあらかじめ入れておいたクラックも、(a)や(b)では全く見えなかったが、(c)のX線散乱像では明瞭に見ることができた。

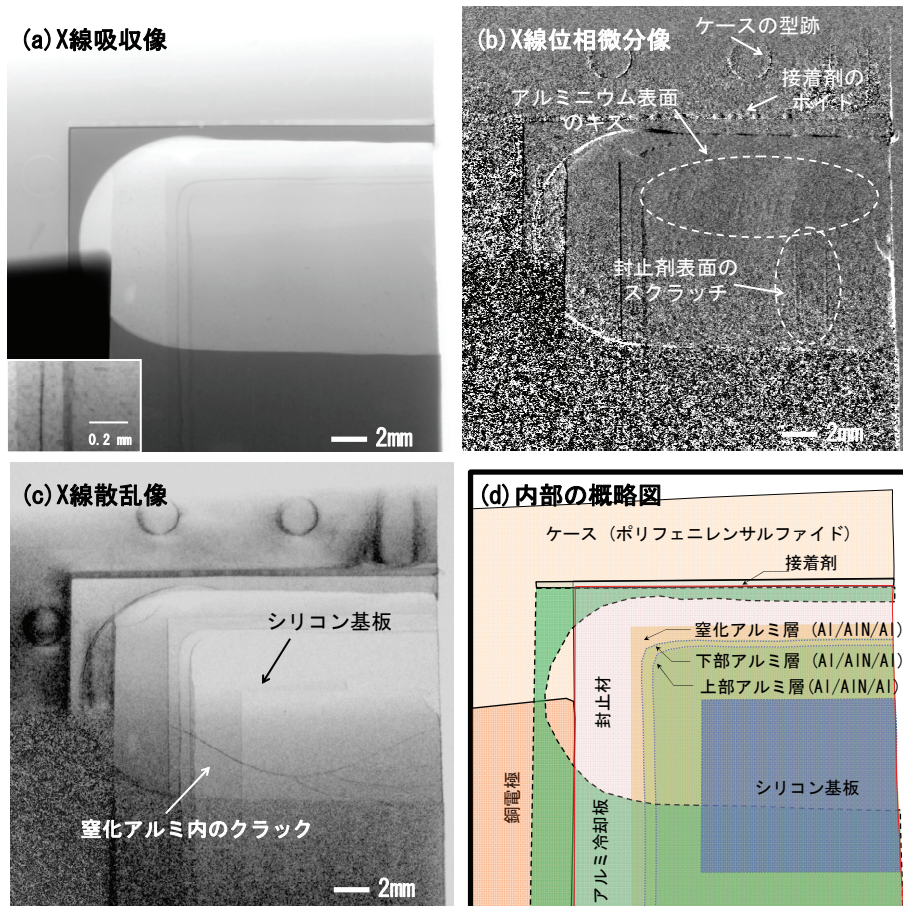


図2 パワーモジュール模擬試料の撮影結果。

(a) X線吸収像（従来のX線非破壊検査法）、(b) X線位相微分像、  
(c) X線散乱像、(d) 内部の概略図。

(b)では表面の傷などが、(c)では内部のシリコン基板や窒化アルミニウムのクラックが見える。  
これらは従来のX線非破壊検査方法である(a)のX線吸収像では全く観測できない。

X線タルボ干渉法によって電子部品を撮影した結果、これまでの非破壊検査法（X線吸収像）では全く見えなかった封止材内部のボイドや表面の傷、セラミックス絶縁体内部のクラックなどが、X線位相微分像やX線散乱像では観察できることが分かった。このような、電子部品として致命的な欠陥を実験室レベルのX線装置で撮影できたのは世界でも初めてである。X線タルボ干渉法は、X線位相微分像やX線散乱像を、従来のX線吸収像と同時に取得でき、小型のX線源でも撮影可能なので、生産現場でも使用できる工業用のX線装置として、非破壊検査の高度化に貢献することが期待される。



## ■ 今後の予定 ■

さらに厚みのある製品でも検査ができるように、X線の更なる高エネルギー化とそれに対応できるX線格子の作製を行う。また、欠陥などの配置や形態を立体的に把握できるように、コンピュータ断層撮影（CT）のような立体画像の構築などの研究を進め、より生産現場のニーズに応えた装置を開発する予定である。

## ■ 本件問い合わせ先 ■

独立行政法人 産業技術総合研究所

生産計測技術研究センター プロセス計測チーム

主任研究員 上原 雅人 〒841-0052 佐賀県鳥栖市宿町 807-1  
TEL : 0942-81-4056 FAX : 0942-81-3690  
E-mail : m.uehara@aist.go.jp

国立大学法人 東北大学 多元物質科学研究所

教授 百生 敦 〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1  
TEL : 022-217-5388 FAX : 022-217-5826  
E-mail : momose@tagen.tohoku.ac.jp

## ■ JST 先端計測分析技術・機器開発プログラムに関する問い合わせ先 ■

独立行政法人 科学技術振興機構

産学基礎基盤推進部 先端計測室

久保 亮、菅原 理絵 〒102-0076 東京都千代田区五番町 7 K's 五番町  
TEL : 03-3512-3529 E-mail : sentan@jst.go.jp  
HP : <http://www.jst.go.jp/sentan/>

---

### 【プレス発表／取材に関する窓口】

独立行政法人 産業技術総合研究所 九州産学官連携センター 武内 鼓  
〒841-0052 佐賀県鳥栖市宿町 807-1  
TEL : 0942-81-4075 FAX : 0942-81-4089 E-mail : t-takeuchi@aist.go.jp

国立大学法人 東北大学 多元物質科学研究所 総務課 総務係  
〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1  
TEL : 022-217-5204 FAX : 022-217-5211  
E-mail : syomu@tagen.tohoku.ac.jp

独立行政法人 科学技術振興機構 総務部 広報課  
〒102-8666 東京都千代田区四番町 5-3  
TEL : 03-5214-8404 FAX : 03-5214-8432 E-mail : jstkoho@jst.go.jp

## 【用語の説明】

### ◆封止材

半導体や金属配線を、外部からの衝撃や湿度から保護する樹脂部材。ボイドができると、外部からの衝撃に弱くなったり、水分を含むことで半導体や金属配線が劣化したりしてしまう。

### ◆空隙（ボイド）

物体に含まれる微小な空洞。封止材を固めるときに空気が入るとできてしまう。

### ◆X線タルボ干渉法

X線位相法的一种。小型のX線源でも位相像を撮影できる方法で、2枚のX線格子を用いて、タルボ効果という回折現象を利用して位相像を撮影する。1枚目のX線格子の後ろに現れる回折像と2枚目のX線格子の重ね合わせで作られるモアレ模様から、従来のX線吸収像だけではなく、X線位相微分像、X線散乱像も同時に取得できる。

### ◆X線吸収係数

物質がX線を吸収する度合いを示す係数。物質によって大きさが異なる。

### ◆X線吸収像

従来のレントゲン写真と同じ。X線の吸収に基づく像で、吸収の度合いで明暗がつく。吸収の度合いは物質のX線吸収係数の他、厚さによっても変化する。

### ◆位相

波のような周期的な現象において、その周期内の位置を表す指標。X線も光の一種なので、波の性質を持っている。

### ◆X線位相像

物質を透過する際にX線の位相は変化する。その変化量に基づく像。

### ◆放射光光源

放射光は、高輝度で位相のそろった光で、X線位相像を撮影しやすい。放射光光源はそれを作り出す大型施設。

### ◆X線格子

X線用の格子。本実験では、金とシリコンが数マイクロメートル間隔で周期的に並んだしま構造の格子を用いている。X線は優れた透過能を持っていてシリコンを透過しやすいが、金に対して透過しにくい。回折像を生み出したり、回折像からモアレ画像を取得したりするために用いている。マイクロメートルは1ミリメートルの千分の一の長さ。

#### ◆回折像

回折とは、波が障害物の背後に回り込んで伝わっていく現象のことを言う。回折像とは、回折格子の周期的な各開口部から回折したX線が互いに干渉し合うことで現れる像。

#### ◆モアレ模様

規則正しい繰り返し模様を複数重ね合わせた時に、それらのずれによって形成される模様。モアレ模様を取得することで、高感度で位相変化を検出できる。

#### ◆X線位相微分像

X線位相像は位相の変化量に基づく像であり、X線吸収係数の小さい材料でも十分なコントラストが得られる。X線位相微分像は位相の変化率による像。

#### ◆X線散乱像

物質中に複雑な微細組織があるとX線は散乱する。その散乱によって形成される像。

#### ◆クラック

ヒビのようなもの。金属冷却板と素子を絶縁する役割を担う窒化アルミニウム製絶縁板にクラックが入ると、電気を通してしまいショートする恐れがある。