

## ICカードの断面分析

中谷 美沙

### ユーザーベネフィット

- ◆ ICカードの不良解析・品質改善・研究開発など幅広い目的で活用できます。
- ◆ ICチップの配線パターンとその構成元素を可視化できます。

### ■はじめに

ICカードは、クレジットやETCカードにみられる接触型と、ICカード乗車券にみられる非接触型があり、金融・交通・サービスといった様々な業界で利用されています。

IC（集積回路）は、トランジスタなどの素子を金属配線により接続することで作製されます。小型化に伴い、配線の幅と厚みは数100 nm程度まで微細化される一方、配線長さは最長数100 m以上にも及びます。これらの配線に断線や接触不良が生じるとICは動作しません。また基板実装時にクラック等が発生すると不具合に繋がります。よって、材料自体の信頼性評価や構造評価、作製プロセスの検討が非常に重要です。

本稿では、電子線マイクロアナライザEPMA™（EPMA-8050G）を使用して、接触型ICカードの断面とICチップの配線パターンをマッピング分析した事例をご紹介します。

### ■接触型ICカードの元素分析

接触型ICカードは、ポリエチレンテレフタレート（PET）等から成るカード基材にICチップが搭載されたものであり、表面には専用のリーダライタと接触させることで動作電源を供給する接点端子が存在します。接点端子は厚さ約0.1 μmの金（Au）でできており、1~3 μmのニッケル（Ni）層を下地として電界めっきで形成されます。

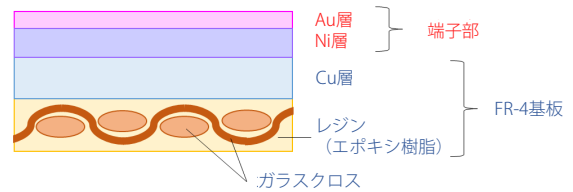


図1 ICカードの端子部とFR-4基板

端子の下には、銅張積層板（Copper Clad Laminate、CCL）と呼ばれる基板が存在します。ICカードに使用される基板は、ガラスエポキシ樹脂（FR-4）と呼ばれる最も一般的で汎用性の高い材料です。

図1にICカードの端子部とFR-4基板の構造を示します。FR-4は、ガラスクロスにエポキシ樹脂を含浸させて熱硬化させた層に、銅箔をコーティングした構造をしています。ガラスクロスはSiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaOのような酸化物から成り、高温でも樹脂のように変形しないことから、プレス加工時の配線位置のずれやボイド形成を抑制しています。エポキシ樹脂は分子鎖にエポキシ基を持つ熱硬化性高分子で、様々な特性が求められます。中でも高電圧の配線や部品が発火しないような難燃性が必要とされ、臭素系難燃剤が添加されることもあります。銅は難接着性金属でエポキシ樹脂に対する接着性が低いため、エポキシ樹脂との接着面に数μm程の凹凸をつける粗面処理を行って物理的に接着性を高めたり、硫黄を分子鎖に含む改質剤をエポキシ樹脂に

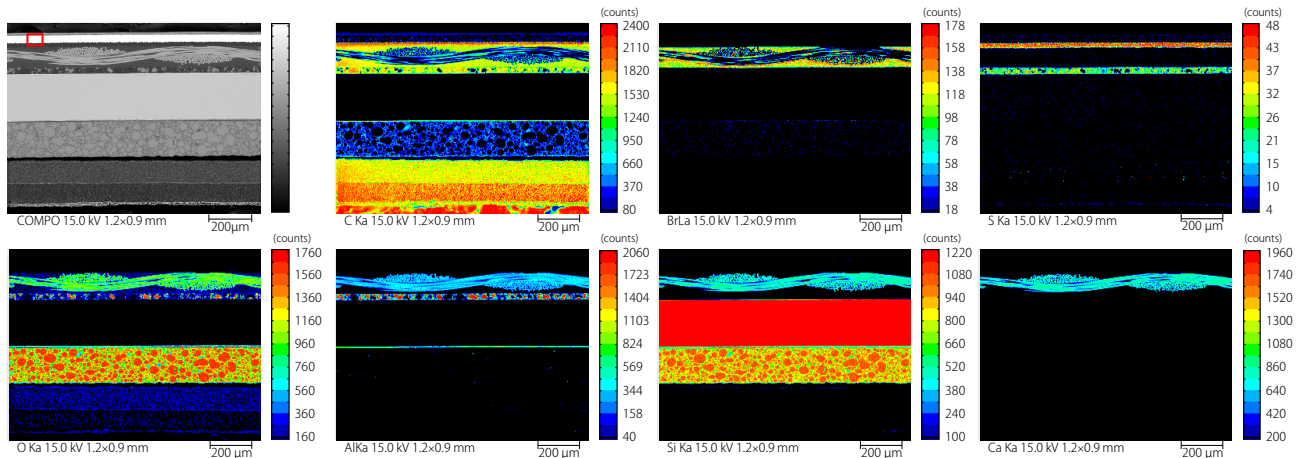


図2 接触型ICカード断面のマッピング分析（全体像）

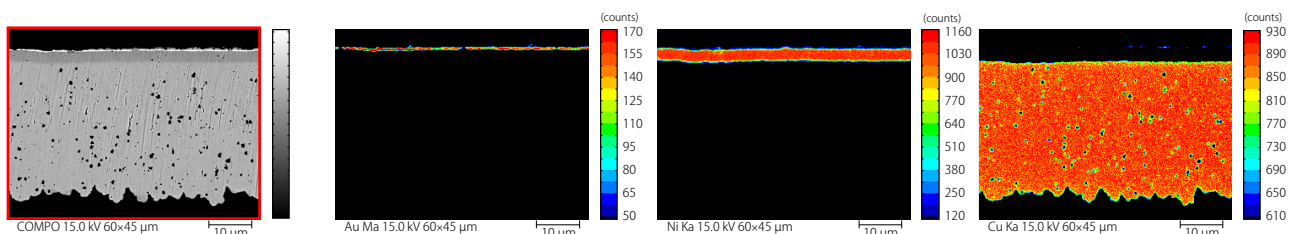


図3 接触型ICカード断面の端子部のマッピング分析（図2の赤枠の拡大像）

添加するなどして接着性を改善します。

図2は、ICカード断面の全体像を捉えています。ガラスクロス部で酸素(O)、アルミニウム(Al)、珪素(Si)、カルシウム(Ca)が観察され、その周囲にはエポキシ樹脂由来の炭素(C)、酸素(O)、臭素(Br)が確認できます。また、端子部を拡大した図3では、表層から金(Au)、ニッケル(Ni)、銅(Cu)の順で分布し、Cuのエポキシ樹脂側には数μmの凹凸が存在する様子が確認できます。

ICは前述のFR-4基板の下に位置します。厚さ約300μmの超高純度シリコン単結晶基板に多数の素子を形成し、それらをAl配線で接続したものがICチップです。通常、チップ単体では小さすぎて扱いにくいこと、また損傷腐食等による不良が起きやすいことからパッケージに収納されます。パッケージの封止材には熱膨張率が小さく、流動性と充填性に優れた0.1~100μmのシリカ(SiO<sub>2</sub>)球状粒子と樹脂の混合物が使用されます。図2では、シリコン単結晶基板でSiが観察され、その表層に配線であるAlの層が存在することが分かります。また、その下には球状のSiO<sub>2</sub>が観察され、Al配線を保護している様子が確認できます。

### ■ ICチップの配線パターンの元素分析

ICチップにおいて、素子間を電気的に接続する配線には、電気抵抗が小さく加工性の高いAlが使用されます。また、素子間を分離するための素子分離膜には良質な絶縁体である

SiO<sub>2</sub>が使用されます。AlとSiO<sub>2</sub>の間には、これらの反応を抑制して配線の信頼性を向上させるバリアメタルが存在し、Al配線の場合は主に窒化チタン(TiN)が使用されます。さらに、デバイスの小型化に伴い配線は多層化され、タングステン(W)のような高融点材料によって縦方向に配線接続されるようになりました。また、チップ最表層には緻密な窒化珪素(Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)で形成されたパッシベーション膜が存在し、傷や不純物の混入等を防いでいます。

図4、5は、ICチップの配線パターンを示しています。図4では、積層化されたAl配線がWプラグによって縦方向に接続される様子が確認され、その周囲で絶縁層由来のSiとOが検出されています。また、最表層ではパッシベーション膜の成分が検出されており、拡大した図5ではAlとSiの間にバリアメタルのTiNが存在する様子が分かります。さらに、図4のOverlayでRGB重ね合わせ表示にすると、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>はマゼンタ、TiNはオレンジなど、各層の識別が容易になります。

### ■ まとめ

EPMAを使用して、ICカード断面とICチップの配線パターンのマッピング分析を行いました。広域のマッピングでは、カード全体の構造と各元素の分布を捉えることができました。また、高倍率のマッピングでは、配線パターンにおける各層と元素の対応を視覚化できました。EPMAは材料の信頼性評価や製品の不良解析などに有効なツールです。

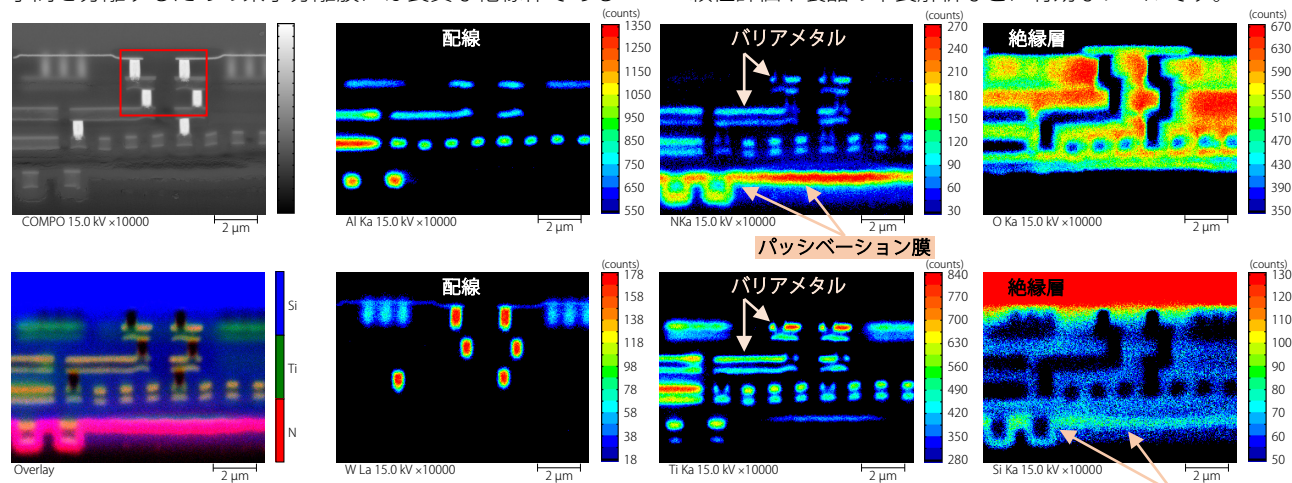


図4 ICチップの配線パターンのマッピング分析

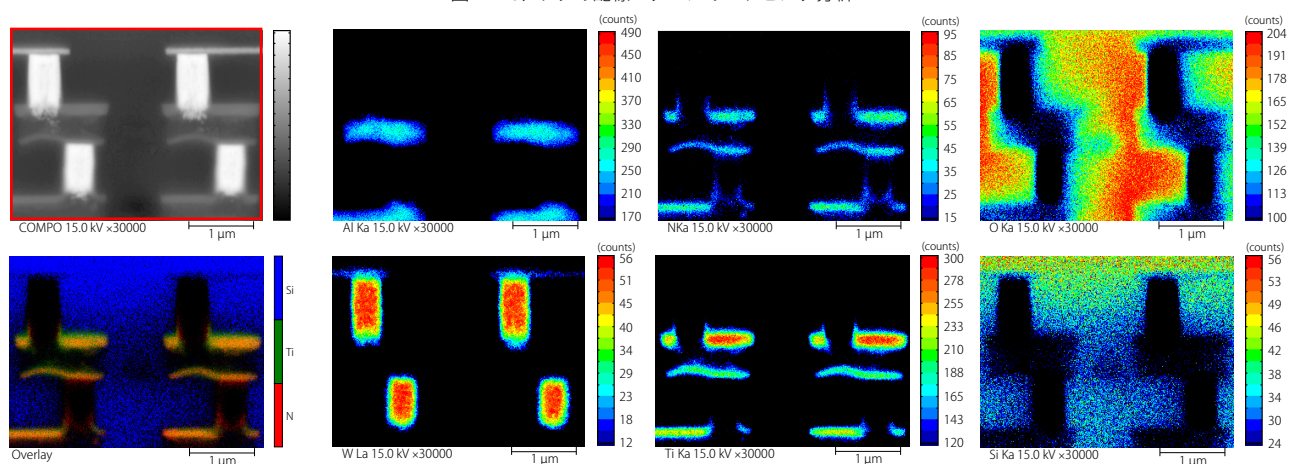


図5 ICチップの配線パターンのマッピング分析(図4の拡大像)

#### <参考文献>

- 1) 遠藤伸裕ほか：はじめての半導体製造材料、工業調査会、190(2002)
- 2) 菊地正典：最新半導体のすべて、日本実業出版社、230(2006)
- 3) 前田真一：積層基板(その2)——レジン、ガラスクロスなど素材の微妙な違いで変わる特性、@ele、ピーバンドットコム、<https://www.atmarkete.com/articles/155> (2021年7月1日参照)

EPMAは、株式会社島津製作所またはその関係会社の日本およびその他の国における商標です。

**株式会社 島津製作所** 分析計測事業部  
グローバルアプリケーション開発センター

01-00234-JP 初版発行：2021年9月

島津コールセンター ☎ 0120-131691

本文中に記載されている会社名および製品名は、各社の商標および登録商標です。本文中では「TM」、「®」を明記していません。

最新版は、島津製作所>分析計測機器の以下のサイトより閲覧できます。  
<https://www.an.shimadzu.co.jp/apl/index.htm>

会員制情報サービス Shim-Solutions Club に登録いただきますと、毎月の最新情報をメールでご案内します。新規登録は、<https://solutions.shimadzu.co.jp/> よりお願いします。

本資料は発行時の情報に基づいて作成されており、予告なく改訂することがあります。