

特集 異方性導電接着フィルムの絶縁寿命の解析*

Analysis of Dielectric Breakdown Life for Anisotropic Conductive Film Adhesion

野々山 和美 新帯 亮

Kazumi NONOYAMA Akira SHINTAI

Anisotropic conducting adhesive technology for fine pitch interconnection is being actively investigated now. We report the result that we have examined dielectric breakdown life of ACF (Anisotropic Conductive Film), without a reduction in the fine pitch interconnection. We have proved that dielectric breakdown life of ACF is influenced by the distance between the conducting particles which are uniformly dispersed in its thermosetting adhesives, using computer simulation and measured values. As a result, we have achieved higher reliability for fine pitch interconnections.

Key words : Anisotropic Conductive Film, Dielectric breakdown life, Conducting particles, Fine pitch interconnections

1. まえがき

異方性導電フィルム（以下ACFと省略. Anisotropic Conductive Film）を用いた導電接着は、これまでLCD（Liquid Crystal Display）実装分野において、LCDパネルとTCP（Tape Carrier Package）等の外部配線との電気接続に広く用いられてきている。また最近では、携帯電話、ノートパソコンなど小型化、軽量化、低コスト化が要求される携帯情報端末での素子実装にて実用化され始めており、更に次世代の半導体パッケージとして注目される超高密度素子実装への展開が注目されている。これらの接続端子は、小面積、狭ピッチ化が進み、導電接続にとっては導電性の確保のみならず、隣合う電極間での絶縁性が課題となってきた。本研究では、ACFの絶縁メカニズムについて考察し、その破壊寿命の定量化を行った。

2. 研究の課題

ACFの接合断面をFig.1に示す。ACFは絶縁性を有する接着性バインダー中に、 $2 \sim 10\mu\text{m}$ の微小な導電粒子を均一分散させたフィルム状接着剤である。ACFによる接続原理は、ACFを被着体の端子間に挟んだ状

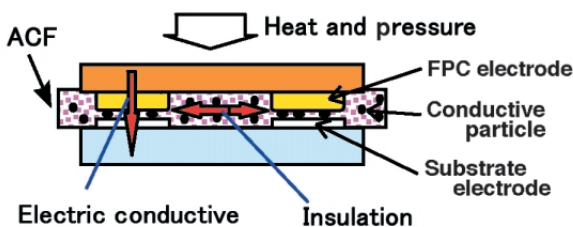


Fig.1 Drawing of cross-section structure of interconnection using ACF

態で加熱・加圧することにより、端子上の余分なバインダーを排除し、上下の端子間に導電粒子を挟み込むことで導電性を有すると同時に熱硬化性の絶縁性バインダーにより、接着性の保持および隣接端子間の絶縁を一括して行うものである。

このように、ACFは上下の電極間では導電接続し、隣合う電極間では絶縁接続を同時に行うことから、導電性と絶縁性の両立が必要となる。

絶縁性に影響する要因としては、主に導電粒子の濃度、電極スペースの二つが考えられる。しかしながら、これまでACFは比較的低電圧な部位で使用されてきたため、これら要因が絶縁性、特に破壊に至るまでの寿命とどのように相関があるのかという定量的な考察がほとんどされておらず、車載用の高電圧を必要とする部品への展開を考えた場合、その信頼性確保が課題となる。

3. ACF絶縁破壊寿命の考え方

絶縁材料の絶縁破壊寿命は、球電極と平板電極を使った平等電界中での絶縁破壊試験において、一般にその寿命は式(1)なる経験則が成り立つことが知られている。(Fig.2)

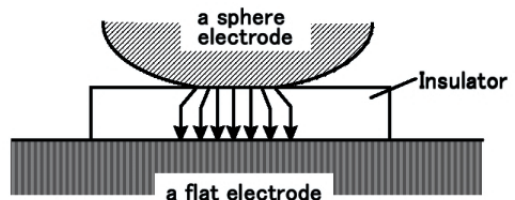


Fig.2 Measuring method of dielectric breakdown

*(社)自動車技術会の了解を得て、2000年春季大会学術講演会前刷集No.69-00, 315より一部加筆転載

$$t = kE^{-n} \quad (1)$$

(E : 平等電界, k : 係数 (材質, 厚み依存))

この式(1)は、絶縁破壊寿命 $t(h)$ が絶縁材料に印加される電界強度 $E(kV/mm)$ に依存することを示すものである。そこで、この寿命式(1)をACFの絶縁破壊寿命の考え方に適用する。特に、ACFでは樹脂バインダー中に分散された導電粒子の影響がポイントになると考えられる。以下に検討のステップを示す。

<ステップ>

- ACF材料中の電界強度解析
- ACFの絶縁破壊寿命の定量化
- Fine pitch電極接合部の絶縁寿命解析

4. ACF接着部の電界強度解析

ACFに電圧を印加した時の電界強度の分布をFEM解析にて推定する。その解析モデルの一例をFig.3に示す。ここでは、解析を容易にするため導電粒子を格子状に配置することとし、樹脂バインダー中に均一に分散させた導電粒子を入れた2次元要素としてモデル化した。

<FEM解析条件>

- ・適用手法：2次元静電場解析
- ・解析条件：導電粒子間距離0.039mm, 電位1V
対称形状とした1/2モデル
- ・解析出力：ACF膜内の電界強度分布

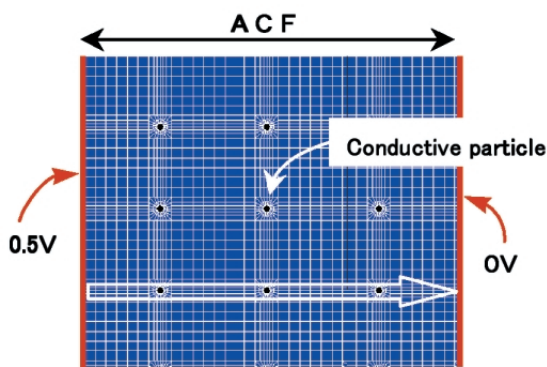


Fig.3 Simulation mesh of ACF

FEM解析の結果、Fig.3の解析モデルの矢印に示す導電粒子を含むライン上の電界強度をプロットしFig.4を得た。導電粒子近傍では、平均電界強度のおよそ2倍の高い電界が認められる。つまり、導電粒子では電界集中が発生するため、絶縁破壊の起点となり破壊寿命に大きく影響すると考えられる。

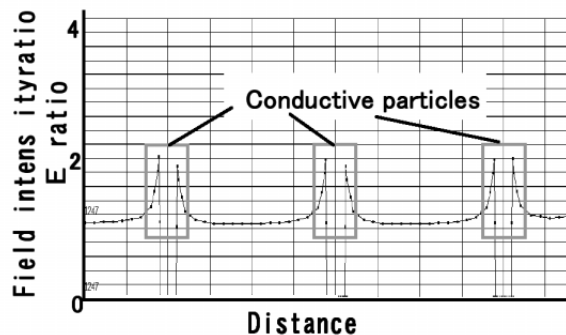


Fig.4 Simulation result of field intensity

以上のことから、ACFでは導電粒子に発生する電界集中 E' により破壊が進展し、導電粒子間の距離によってその寿命が依存すると考えられる。(Fig.5)

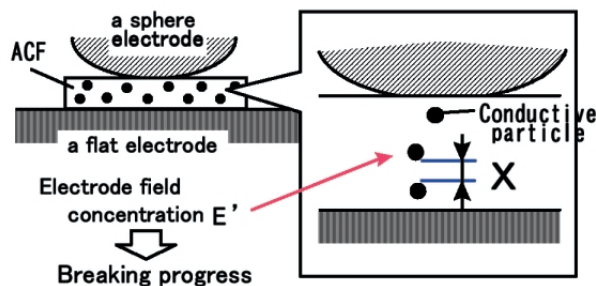


Fig.5 Image model of dielectric breakdown of ACF

そこで、式(1)をACFの寿命式(式(2))として適用するに当たり、平均電界強度 E を導電粒子の電界強度 E' に置き換えると同時に、電極間距離が導電粒子間距離 X に縮まることで寿命が短くなると考え、この効果は係数 k を X の関数とした $f(X)$ で置き換えられると考えた。

$$t' = k' E'^{-n} \quad (2)$$

t : 寿命 (h), E : 導電粒子の電界強度 (kV/mm)
 $k' = f(X)$, X : 導電粒子間の平均距離 (mm)

次に、式(2)に基づき、導電粒子の電界強度 E' 、導電粒子間平均距離 X に着目してACFの絶縁寿命を検討していく。

5 . ACFの絶縁寿命測定

5.1 導電粒子の平均距離、電界強度の算出

まず、導電粒子間平均距離 X は、ACFの導電粒子濃度 C_f および導電粒子径 d より算出する。(Fig.6) また、導電粒子の電界強度 E' は、FEM解析により粒子間平均距離 X を変えて算出した。(Fig.7)

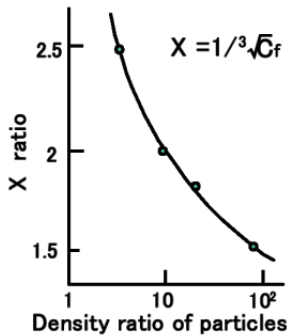


Fig.6 Average clearance between conductive particles

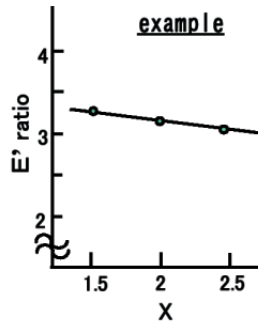


Fig.7 Field intensity at conductive particles

一方、ACFの絶縁寿命 t' を実測し寿命線図 (S - N線図) を求め、式 (2) を導出する。

5.2 ACFの絶縁寿命測定

式 (2) の相関を得るために、縦軸にFEM解析で求めた導電粒子の電界強度 E' を、横軸にはACFを球電極と平板電極を用いた平等電界中で破壊まで試験した寿命 t' を測定してプロットする。

その結果、Fig.8に示すようにACFの絶縁破壊寿命は、導電粒子の電界強度とよい相関関係を示すことが確認できた。また、粒子間平均距離 X が短い程、寿命も短くなるのが分かった。

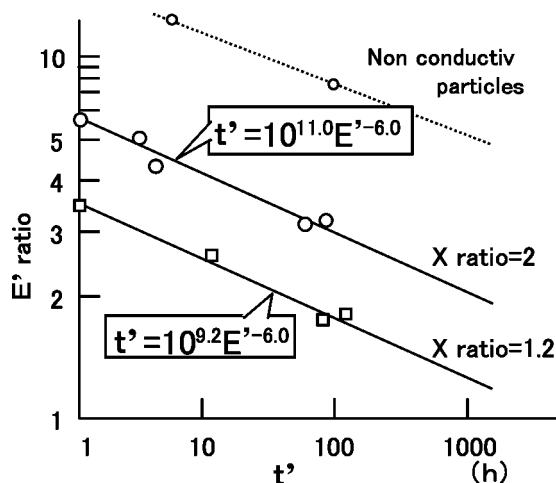


Fig.8 v-t curve of ACF

以上の結果より、前述の式 (2) は粒子間平均距離 X の関数として k' を表すことができ、ACFの寿命は式 (3) のように表すことができる。

$$t' = k' E'^{-6.0}, k' = 10^{2.2X+6.6} \quad (3)$$

t' : 寿命 (h), E' : 導電粒子の電界強度 (kV/mm)
 $k' = f(X)$, X : 導電粒子間の平均距離 (mm)

一方、絶縁寿命測定により破壊したACFの断面をFig.9に示す。ACFの絶縁破壊は、導電粒子の周辺で発生しており、その起点が導電粒子であることが確認できる。このことは、FEM解析で得られた電界集中を示すものである。

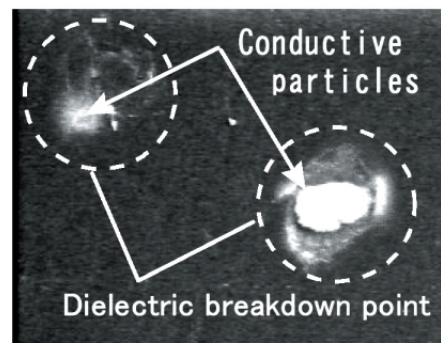


Fig.9 Cross-section of ACF

以上のことから、ACFの絶縁破壊寿命を導電粒子の電界強度 E' および粒子間平均距離 X により定量化することができた。

6 . Fine pitch電極への適用

6.1 電極接続状態での絶縁破壊寿命

前節までの検討は、ACF単体での絶縁性を評価してきた。この結果を踏まえて、次にFine pitch電極をACF接合した場合の絶縁寿命について検討する。ここでは櫛歯状の電極を施した基板を用いて電極ピッチが狭いときの絶縁寿命を評価する。

まず、導電粒子に発生する電界強度を、前節4章と同様にFEM解析により算出する。この解析では、櫛形基板の電極と導電粒子をFig.10に示すようにモデル化した2次元要素として、以下の条件で解析した。

<解析条件の一例>

- ・適用手法：2次元静電場解析
- ・解析条件：電極間スペース0.05mm，電位1V
電極間中心で対称形状とした1/2モデル
- ・解析出力：ACFおよび電極エッジの電界強度分布

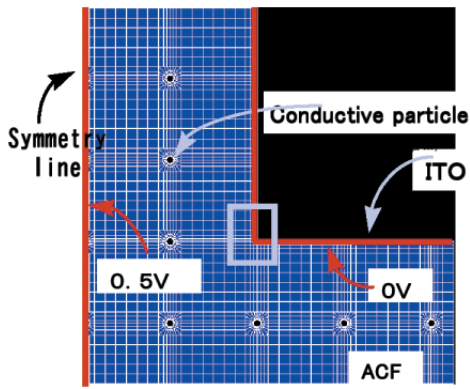


Fig.10 Analysis mesh of test board

解析の結果をFig.11に示す。楕形電極の先端エッジ部と導電粒子に電界集中が認められ、ほぼ同じ電界強度を示すことが分った。比較として、電極エッジのない平等電界での解析結果も添付する。電極エッジのある場合、エッジの近傍にある導電粒子の電界強度は、大幅に上昇していることが分かる。この理由としては、電極エッジでのより高い電界集中により近接する導電粒子の電界強度が上げられるためと考えられる。

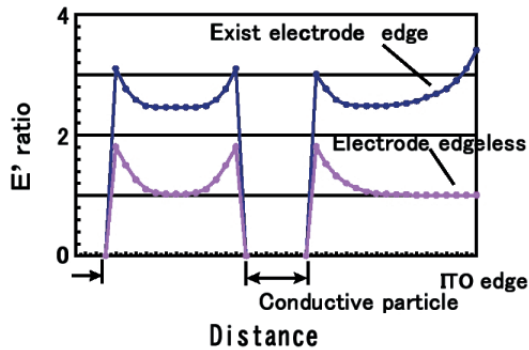


Fig.11 Analysis result for field intensity of test piece

この導電粒子の電界強度 E をACFの寿命式(3)へ代入し寿命を予測した結果をFig.12に示す。また、この解析結果の検証として、FEM解析モデルと同様な楕形電極のテストピースにて絶縁寿命を測定し、Fig.12の実線で示す解析値とほぼ一致することを確認した。

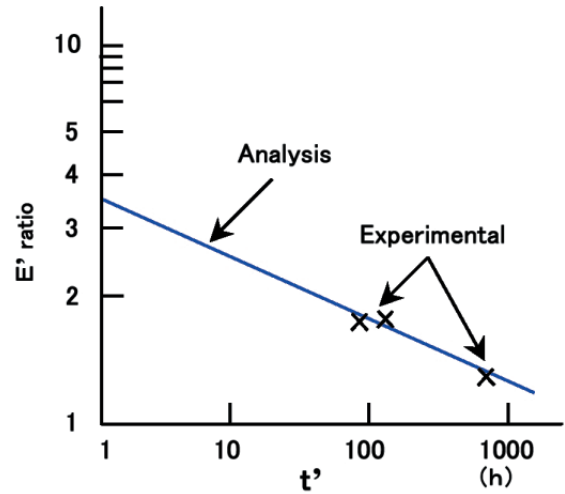


Fig.12 v-t curve of test piece

また、このテストピースの破壊状態は、電極エッジ周辺で絶縁破壊しており (Fig.13)、エッジ近傍の導電粒子にて破壊 (Fig.14) していることを確認している。

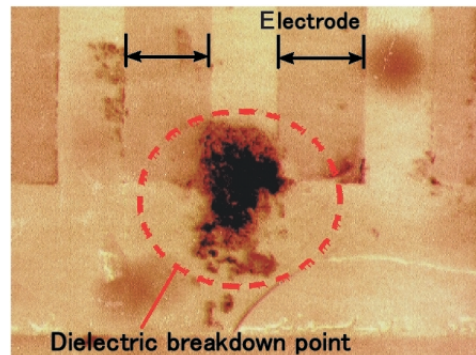


Fig.13 Surface state of test board

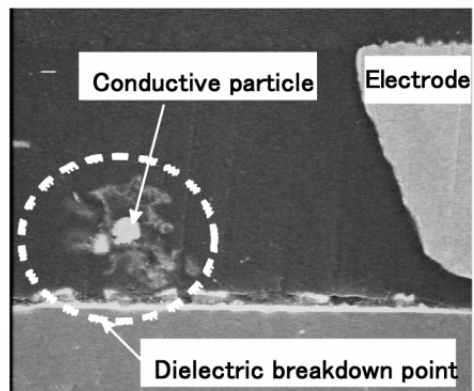


Fig.14 Cross-section structure of test board

以上の検討より、この考え方が実際の電極構造にも適用できることが分かった。

6.2 絶縁寿命向上に関する一考察

電極エッジでの電界集中を低減し、更なるFine pitch化に対応するための手法の一つとして、エッジ部の曲面化について検討を行なった。(Fig.15)

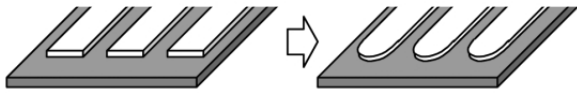


Fig.15 Curve shape of electrode edge

前節6.1項と同様にFEM解析にて、エッジ部の曲率(R)を変えて解析した結果、Fig.16に示すように曲率が大きくなるほど電極エッジでの電界強度が低減でき、電界集中がほぼ解消できると思われる。

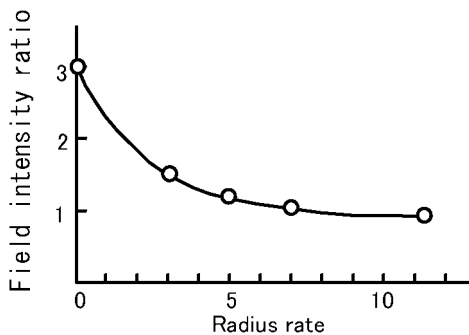


Fig.16 Field intensity ratio of electrode edge

また、他の手法としては、接合時の組付けズレを最小限に留めることで電極間スペースを十分に確保する等の方策も必要と思われる。

7. むすび

以上の解析によりACFの絶縁寿命について以下のことが分かった。

- (1) ACF接合は導電粒子の電界集中により絶縁破壊が進行し、その寿命は導電粒子間平均距離により決定されることが明確になった。
- (2) Fine pitch電極では、電極エッジにおける電界集中の影響を受け導電粒子近傍の電界強度は上昇し、その絶縁寿命が大幅に低下する。

今後は、この寿命式を、より高密度、高電圧な製品へ適用できる材料開発の指針としていく。

<参考文献>

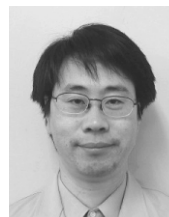
- 1) 電気学会編：放電ハンドブック(1975)
- 2) 河野照哉：高電圧工学，電気工学基礎講座17，朝倉書店(1996)
- 3) 大木正路：高電圧工学，槇書店(1989)



<著者>



野々山 和美
(ののやま かずみ)
材料技術部第5材料技術室
高密度パッケージの実装研究に従事



新帯 亮
(しんたい あきら)
材料技術部
高密度パッケージ研究に従事