ソルダレジストコーティングを施したプリント配線板導体箔間のサージ絶縁耐力

永嶋 義行*, 馬場 旬平*, 首藤 克彦*, 正田 英介*

Surge Dielectric Strength between Printed Circuit Board Conductive Foils with Solder Resist Coating

Yoshiyuki NAGASHIMA*, Junpei BABA*, Katsuhiko SYUTOH* and Eisuke MASADA*

*東京理科大学理工学部電気電子情報工学科（〒278-8510 千葉県野田市山崎2641）

*Department of Electrical Engineering, Faculty of Science and Technology, Science University of Tokyo (2641 Yamazaki, Noda-shi, Chiba 278-8510)

Abstract

Recently miniaturization and performance enhancement of electronic equipment are remarkable. The gap between the conductors on a printed circuit board becomes much smaller, and the high insulation reliability is required for the printed circuit board. In the printed circuit board, it is also abounding in the opportunity of which various surge are applied, and it is abounding of printed circuit board of which the inverter surge is always applied by the development of recent power electronics. From such background, surge dielectric strength between printed circuit board conductive foil was examined. The experiment was carried out by FR-4 model printed circuit board. As a result, surge dielectric strength of the 0.03mm～0.5mm gap length sample was 0.2kV～2.5kV. In the sample with solder resist coating, surge dielectric strength between conductive foil was 9kV～10.5kV.

Key Words: Printed Circuit Boards, Characteristic of Insulation, Surge

1. はじめに

近年、電子機器の小型化、高密度化は著しく、電子機器の重要な構成部品であるプリント配線板は、高密度化し高い信頼性が要求されるようになってきている。

電子機器は、多様な場所で使用され、プリント配線板には、雷サージなどの各種サージ電圧が流入する機会も多い。これらのサージ電圧の抑制には、避雷器などのサージ抑制素子が用いられ、効果が期待されている。

しかし、最近の通信制御機器、特に家庭用の通信端末機器では、通信線、電源線と異なる外部接続線を持っている機器も多く、外部接続線より進入するサージによるプリント配線板の絶縁障害に起因する障害が見られる。また、最近のパワーエレクトロニクスの発達により、プリント配線板には常時インバータサージが印加されているものも多い^{1)～3)}。

これらの背景より、プリント配線板の導体箔間のサージ絶縁耐力、サージに対する絶縁信頼性の検討が重要と考えられる。

一般にプリント配線板には、ソルダレジストコーティングが施されている。ソルダレジストは、エポキシ樹脂が主成分であり、それ自体の絶縁耐力は高く、ソルダレジストコーティングは、各種サージに対する絶縁耐力強化への寄与が大きいと考えられる。

本研究では、ソルダレジストコーティングを施した間隙

長が0.03mm～0.5mmのモデルプリント配線板に標準雷インパルス電圧を印加することにより、プリント配線板導体箔間のサージ絶縁耐力の検討を行った。

一般に、プリント配線板のように、絶縁物に電極が貼り付けられたような形状における放電では、背面の導体の有無が放電電圧に大きく影響を与える。両面プリント配線板や多層プリント配線板では背面に導体が存在する。このため、背後電極の有無、機材の厚さの異なるモデルプリント配線板により、これらの効果の検討を行い、また、温湿度の影響についても検討した。

2. 試料および実験方法

2.1 モデルプリント配線板

モデルプリント配線板の形状をTable 1 およびFig. 1に示す。モデルプリント配線板は、ガラス基材エポキシ樹脂積層板（FR-4）に18 μ mの圧延銅箔を張ったものに電極をエッチングで形成し、ソルダレジストコーティングを施し

Table 1. Form of a sample

Sample	thickness of sample [mm]	solder resist coating	existence of backside electrode
(a)	0.8	one	nothing
(b)	0.8	two	nothing
(c)	0.8	one	exist
(d)	0.4	one	exist
(e)	0.2	one	exist

Fig.1 The model printed circuit board

Table 2. The measurement result of gap length

gap length [mm]	average value [mm]	error [%]
0.03	0.0483	61.16
0.05	0.0658	31.688
0.1	0.1054	5.374
0.2	0.2065	3.272
0.3	0.3017	0.566
0.5	0.504	0.792

た。

電極は、平行に相対する形状であり、間隙長は、0.03, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5mmである。ソルダレジストは1回塗りおよび2回塗りの試料を準備した。基材の厚さは、背後電極のある試料については、0.2mm, 0.4mm, 0.8mmであり、背面電極のない試料については0.8mmである。

顕微鏡によりモデルプリント配線板の間隙長ならびにソルダレジストコーティング膜の膜厚を測定した。間隙長は、それぞれの間隙長について500個所測定したが、Table 2に示すように、間隙長が0.03mm, 0.05mmの試料の誤差は、約60%, 30%と大きく、間隙長が0.1mm以上の試料については数%である。

ソルダレジストコーティングの厚さの測定は、試料を樹脂に埋め込み、膜厚方向に切断して研磨したものについて顕微鏡により測定した。レジストコーティングの銅箔部分を100個所測定した結果、膜厚の平均値は1回塗りでは約16 μ m, 2回塗りでは約40 μ mであり、誤差は、 $\pm 2 \sim 7\%$ であった。レジストコーティングの表面の形状は、銅箔部分および銅箔がない部分での差異はなく、ほぼ平面であった。

2.2 実験回路および方法

Fig. 2に実験回路を示す。主コンデンサに0.2 μ Fのコンデンサを用いたインパルス電圧発生装置により、試料にインパルス電圧を印加するように構成されている。印加インパルス電圧の波形は1.2/50 μ sの標準雷インパルス電圧である⁹⁾。

Table 1に示す試料(a)については、室内(25 $^{\circ}$ C - 30 $^{\circ}$ C

Fig.2 The experiment circuit map

Fig.3 Comparison of the going-up-and-down method and a Weibull distribution

RH程度)ならびに恒温恒湿槽中で50%フラッシュオーバー電圧(V_{50})の測定を行った。恒温恒湿槽中での測定では、槽内の環境を60 $^{\circ}$ C - 60%RH, 60 $^{\circ}$ C - 80%RH, 80 $^{\circ}$ C - 60%RH, 80 $^{\circ}$ C - 80%RHに設定した。

試料(b), (c), (d), (e)については室内環境についてのみ測定を行った。

2.3 インパルス絶縁破壊電圧の決定

インパルス絶縁破壊電圧は、50%フラッシュオーバー電圧(以下 V_{50} と称す)で示され、 V_{50} は昇降法または補間法で決定されるのが一般的である。しかし、プリント配線板導体箔間では、インパルス放電による導体箔の損傷が大きいため昇降法や補間法の適用は困難であると考えられる。そこで、プリント配線板のような絶縁物に張り付けられた導体箔間の V_{50} の決定は、多数の試料に異なる電圧を多数回繰り返し印加して、絶縁破壊までの回数の測定を行い、ワイブル分布により V_{50} を決定する方法が考えられる。しかし、この方法では測定に長時間を要すると同時に多数の試料が必要となる。

また、電圧印加による試料の損傷を考慮して電圧印加ごとに試料の交換を行い、昇降法に準じた方法で V_{50} を決定する方法も考えられる。

本研究では、これらの2つの方法を比較検討した⁹⁾。その結果、Fig. 3に示すように、2つの方法で求めた V_{50} に差異は小さいことより、電圧印加ごとに試料を交換するという昇降法に準じる方法により V_{50} を決定した。

3. 実験結果

電極間の間隙長は、間隙長が0.03mm, 0.05mmでは誤差は約60%, 30%と大きい、以下の実験結果、検討では、間隙長0.03, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5mmとする。

3.1 50%フラッシュオーバー電圧

各間隙長における V_{50} をFig. 4に示す。ソルダレジスト1回塗りの試料では、実験室内における V_{50} の値は、間隙長が0.05mm~0.5mmの間では約10.1kV~約10.8kVとほぼ一定の値となっている。間隙長が0.03mmの V_{50} の値は、約9kVを示している。

Fig.4 The effect of solder resist coating

ソルダレジスト 2 回塗りの試料では、間隙長が0.1mm～0.5mmの間では V_{50} の値は約17kV～約18.6kVとその値に差異は少ない。しかし、間隙長が0.05mmでは V_{50} の値は、約13kVと間隙長が0.1mm以上の値に比較すると低下し、間隙長が0.03mmの V_{50} の値は、ソルダレジスト 1 回塗りの試料とほとんど同じ約9kVを示す。

図中には、比較としてソルダレジストコーティングを施していない試料の値も示しているが、ソルダレジストコーティングを施した試料の V_{50} は、ソルダレジストコーティングを施していない試料の値より5～15倍高い値を示している。

3.2 高温高湿度における50%フラッシュオーバ電圧

ソルダレジスト 1 回塗り試料について、恒温恒湿槽内での測定結果をFig. 5 に示す。

恒温恒湿槽内における V_{50} の値は、室内環境での値より60℃ - 60%RH, 60℃ - 80%RH場合は12%程度低下し、80℃ - 60%RH, 80℃ - 80%RH場合は17%程度低下している。各温度において湿度が上昇すると V_{50} は低下する傾向を示す。80℃ - 80%RHの場合、間隙長が0.2mm以下になると V_{50} は急激に低下する傾向を示す。

3.3 背後電極の効果

ソルダレジスト 1 回塗り試料について、背後電極の効果

Fig.5 V_{50} in temperature and humidity Fig.6 V_{50} with backside electrode

ならびに基材の厚さの相違による V_{50} をFig. 6 に示す。

基材の厚さが0.8mmの試料では、背後電極を有しない場合の V_{50} は、間隙長が0.05mm～0.5mmでは10.1～10.8kV程度であるが、背後電極を有する試料では、8.8～9.1kVと最大で15%程度低下している。厚さが0.2mmの基材の場合には、 V_{50} は7.8kV～8.2kVであり基材の厚さが薄くなるにつれて V_{50} が減少する傾向がある。

4. 検 討

ソルダレジストコーティングを施した試料は、ソルダレジストコーティングを施していない試料よりも、5～15倍程度の絶縁耐力を示し、ソルダレジストコーティングは、プリント配線板のサージ耐力向上への寄与が大きいと考えられる。

インパルス電圧印加によるソルダレジストコーティングの破壊状況は様でなく、ソルダレジスト 1 回塗り間隙長0.03mm, 2 回塗り間隙長0.03mm, 0.05mm以外では, Fig. 7, Fig. 8 に示すように、破壊箇所は導体箔の相対する端面ではなく、電極の中央部分である。このことは、放電路は、電極真上のソルダレジストを貫通破壊し、ソルダレジスト表面または大気中を経過し、相対する電極上のソルダレジストを貫通破壊して対向電極に達する経路をとると考えられる。

ソルダレジスト 1 回塗り間隙長0.03mmならびに2 回塗り間隙長0.03mm, 0.05mmの試料では, Fig. 7 (a), Fig. 8 (a)(b)に示すように、電極の相対する端面でソルダレジストが破壊されている。Fig. 9 は、各間隙における破壊電圧をcmあたりの値に正規化したものであるが、間隙長が0.03mmの場合、破壊電界は2MV/cm程度であり、この値は、一般の誘電体の真性破壊電界と同等な値である。また、ソルダレジスト 1 回塗りならびに2 回塗り試料における間隙長0.03mmの V_{50} がほとんど同じ値を示している。これらのことより、ソルダレジスト 1 回塗り間隙長0.03mm, 2 回塗り間隙長0.03mm, 0.05mmの試料では、ソルダレジスト部分を貫通破壊したものと考えられる。

Fig.7 The conductive foil after the flashover with one SRC

Fig.8 The conductive foil after the flashover with two SRC

Fig.9 V_{50}/cm

ソルダレジスト 1 回塗りの試料では、間隙長が 0.05mm 以上では、破壊電圧はほぼ一定となり、ソルダレジスト 2 回塗りの試料では、間隙長が 0.1mm 以上では、ほぼ一定になっていること、間隙長が 0.03mm における V_{50} の値がほぼ等しいこと、ソルダレジストの破壊状況などより、ソルダレジストコーティングを施したプリント配線板導体箔間のサージ耐電圧特性は、間隙長がソルダレジストコーティングの厚さに比較して長い場合は、電極表面のソルダレジストの膜厚に依存し、電極間隙に依存しないことが考えられる。

高温高湿環境では、温度、湿度の上昇と共に、 V_{50} は低

下する傾向を示す。これは、高温高湿度環境でのソルダレジストの軟化のためと考えられる。この場合、軟化は、温度、湿度のどちらにより強く依存するかは、現段階では明確ではなく今後の課題である。

背後電極の効果は、Fig. 6 に示すように顕著に現れ、基材の厚さが薄いほど背後電極による電界の影響のため V_{50} は低下したものと考えられる。

5. おわりに

本研究の結果、ソルダレジストコーティングのサージ絶縁耐力に対する寄与、背後電極の効果などを明らかにした。

プリント配線板は複合絶縁材料が用いられ、製作過程を考慮すると、微細な部分まで均一な実験試料を得ることが困難である。このようなことから実験により多様な結果が得られることが考えられ、本実験はその中の 1 つの結果を示すものと考えられる。

電子機器にはサージ電圧が印加される機会も多く、サージによるプリント配線板の絶縁破壊は機器の機能停止につながり、また発煙、発火などの事故にもつながることも考えられ、さらなる検討が重要と考えられる。

また、本研究では、昇降法に準じた方法でサージ耐電圧を決定したが、測定法についても検討の余地はあり、検討を進めるつもりである。

ソルダレジストの絶縁耐力向上への寄与は、ソルダレジストコーティングの微細な傷などの影響は大きいと考えられ、これらの検討も今後の課題である。

また、電界計算などによる背後電極の効果の詳細な検討も今後の課題である。

終わりにあたり、実験に協力いただいた卒業研究生各位に感謝する。

(2002.3.12-受理)

文 献

- 1) 柳瀬繁廣, 中島幹夫, 首藤克彦, 正田英介: “プリント配線板導体箔間のサージ絶縁耐力の検討”, 電気学会誘電絶縁材料研究会, DEI-00-74, 2000
- 2) 柳瀬繁廣, 首藤克彦, 正田英介: “プリント配線板の耐サージ特性”, 電気学会誘電絶縁材料研究会, DEI-01-84, 2001
- 3) 首藤克彦: “プリント配線板の耐サージ特性”, 第15回エレクトロニクス実装学術講演大会, 22B-08, 2001
- 4) 電気学会 電気規格調査会標準規格 JEC-0202-1994
- 5) 永嶋義行, 首藤克彦, 正田英介: “レジストコーティングされたプリント基板導体箔間のサージ絶縁耐力”, 平成13年電気学会基礎材料共通部門大会, 12-1, 2001