

部品が無くてもガラエポ基板が燃える

Wired, Weird

現在の電気機器では、プリント基板に FR-4 などのガラスエポキシ(ガラエポ)材料が広く使われている。本来、ガラエポ基板は不燃性であり、基板が単体で燃えることは無い。しかし筆者は、部品が実装されていないにもかかわらず、ガラエポ基板が燃えるという珍しい事故に遭遇した。今回はこの事例を紹介する。

2013 年 03 月 04 日 07 時 30 分 公開

[山平 豊, 内外テック]

筆者は今までにいろいろな基板の焼損事故に遭遇した。それらのうちほとんどは、プリント基板に実装された部品に過電圧や過電流が印加され、部品が過電力になって焼損したものである。

基板の素材として、30 年以上前は民生向けで安価な白色の紙エポキシの基板を使っていたが、この素材は燃えやすい自燃(じねん)性であり、最近はあまり見かけなくなっている。近年は、安全仕様が強化されて、緑色の FR-4 などのガラスエポキシ(以下、ガラエポと略す)基板が採用されている。

ガラエポ基板は不燃性であり、基板が単体で燃えることは無い。しかし筆者は、ガラエポ基板で部品が実装されていないにもかかわらず、基板が燃えるという珍しい事故に遭遇した。今回はこの事例を紹介する。

コネクタしか載っていない基板が……

事故があった基板は、センサーと制御基板を接続する中継用の基板である。実装されている部品はほとんどがコネクタだった。基板の燃えた部分の写真を図 1 と図 2 に示す。



図1 焼損した基板の部品実装面

中央に盛り上がりあり

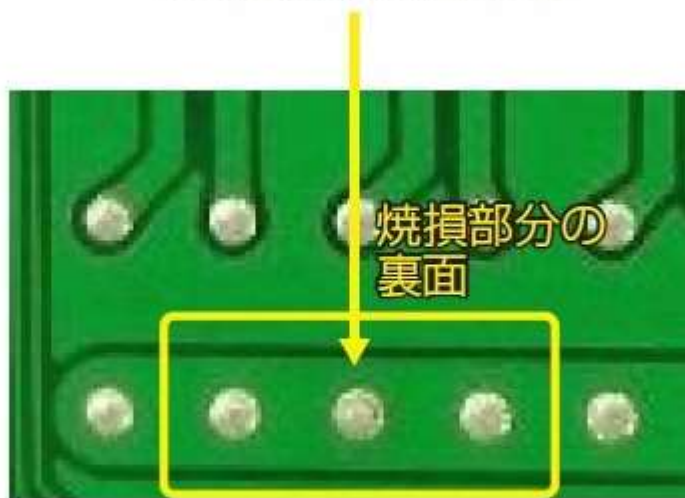


図2 同じ基板の裏面（はんだ面）

図1は焼損した基板の部品面で、焼損跡が黒くなっている。放射状に広がっている黒い痕跡は、激しく焼損した時に煙（すす）が飛散したものである。基板のレジストが剥げて銅箔（はく）が露出しているが、銅箔の表面に白い付着物が見える。この付着物が基板の焼損を解明する鍵だった。

図2は焼損部分のはんだ面である。両図中、白いランドが見えるパターンはDC24Vの電源（VCC）で、周囲のベタパターンはグラウンド（GND）である。写真を見れば一目瞭然だが、焼損した部分に部

品は実装されていない。図 3 に、焼損していない基板で写真の焼損相当の位置に赤色の丸印を付け、煙の飛散の跡を赤色の矢印で示した。



図3 焼損していない基板

部品が実装されていないのに、なぜ基板が焼損したのだろうか？ 基板の燃え方を詳細に確認したところ、激しく燃えている部分は図 3 に赤色の丸印で表示した部分で、ランド(VCC) と隣の GND パターンの間だった。しかし、この部分の上部にはレジストがあり、保護されていた。

焼損した位置のはんだ面を見てみよう。図 2 に黄色の枠で示した部分である。焼けた反対側のはんだ面側で左から 3 番目のランドの中央が少し盛り上がっているが、その他には変化が見られず、はんだ面にはあまり熱が伝わっていないようだ。

浮かび上がる犯人像

基板の燃え方から推定すると、基板の表面のみがかなり高温になり、焼損箇所のレジストが割れ、パターンも一部断線していた。焼損した基板の電源と GND の間の抵抗値をマルチメーターで測定したら、約 50Ω で短絡されていた。正常な基板ではこの抵抗値は無限大である。

焼損部分の周囲を詳細に確認したところ、図 1 上のランドの右から 3 番目の周りにも白い粉が見つかった。図 4 にその拡大写真を示す。



図4 ランドの周囲に白い粉が付着

図4でランドは黒く変色しているが、ランドの下の部分に白い粉が見える。図1で剥がれたレジストから露出した銅箔の上にも、大量の白い粉が残っていた。この白い粉の成分を分析したら、S（硫黄）とCu（銅）が検出された。S、Cu、白い粉から連想されるものは“硫酸銅”である。どうやら焼損事故の犯人像が浮かび上がってきた。

内的要因と外的要因を検証

焼損事故を起こした犯人はどうやら硫酸もしくは希硫酸と思われる。ではどうやって、硫酸の成分が基板の上に出現したのか？ 内的要因と外的要因が考えられた。

まずは内的要因として疑われる基板製造時の硫酸成分について、基板メーカーに確認した。その結果、硫酸は基板のメッキ時の2つの工程に使用されていた。1つはガラエポ基板に銅をメッキする工程で、もう1つは基板にスルーホールを形成する工程である。しかし、どちらの工程でもメッキ後に洗浄を施しており、仮に残留があったとしても ppm オーダーにとどまるはずだ。焼損事故を引き起こすレベルの濃度ではない。

次に外的要因として考えられるのは、基板が使用されている設備からの硫酸成分の侵入である。この基板を搭載する装置の過去のメンテナンス情報を確認したら、数年前にこの基板が交換されていた。交換した理由を確かめると、「基板の上部から薬品が入ってきた形跡があったから」ということだった。そ

してこの設備には希硫酸が使われていた。

これで、ほぼ犯人は特定できた。装置で使用されている希硫酸が基板の上に滴下したことはまず間違いない。

焼損に至るプロセスを推定

次は、基板の上に希硫酸が滴下して、どのようなプロセスで基板の焼損に至ったのかを推定してみよう。基板に薬品が滴下した場合の推定図を図5に示す。



図5 基板に薬液が滴下した状態

基板の表面はレジストで保護されているが、スルーホール部分は中央にはんだが乗って、ランドの周囲は銅箔がある。硫酸成分が基板の上に滴下すると、銅箔部分が硫酸成分と反応を始める。拡大図を図6に示す。



図6 銅箔部分と硫酸成分の反応が始まる

硫酸成分はまず基板の銅箔部分を腐食させ、銅箔部分が溶け始める。さらに反応が進むと、腐食がガラスエポ表面に達する。その後、ガラスエポ基板とレジストの界面から硫酸成分が内部のパターンまで侵入する。図7にその様子を示す。

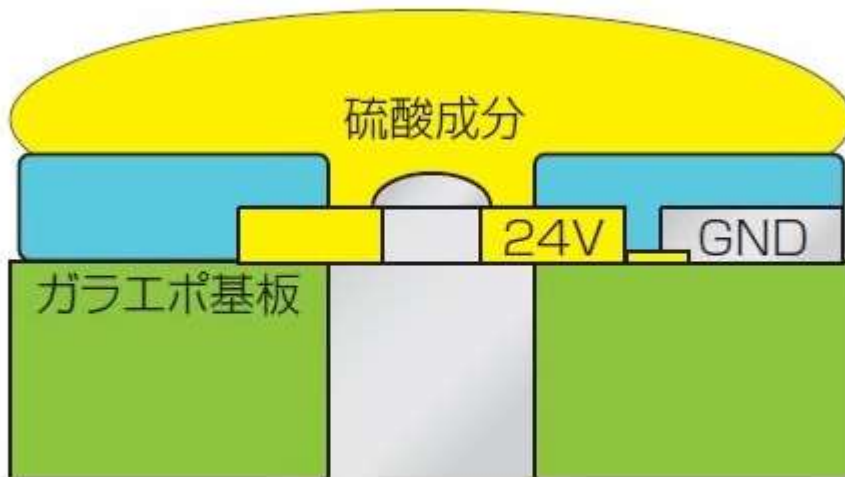


図7 硫酸成分が基板内部のパターンまで侵入

硫酸成分がレジスト下の GND パターンに到着すると、硫酸に溶けた銅イオンで VCC と GND が電氣的に接続される。また GND パターンの銅箔の腐食も始まる。VCC パターンには 24V 電位がかかっており、内部パターンは GND 電位である。このため硫酸成分に溶け出した銅イオンを通して、電流が流れ始

める。電流が流れると熱が発生し、界面部分の温度が上昇する。この熱で希硫酸による銅の腐食反応が加速され、短絡電流も増えて急激に温度が上昇した。このように推測できる。

希硫酸が基板に残っている時は低い抵抗で電源を短絡するため、基板表面が過熱状態になり、部分的に基板が焼損した。図 1 で焼損部の周辺が放射状に黒く変色して見えるのは、高温で焼損した時の煙（すす）の跡だろう。発生した熱で希硫酸の水分が蒸発していたが、水分が少なくなった時に高温になってすすが発生したと思われる。

さらにこの熱でガラエポ基板の炭化が進み、低抵抗（ 50Ω ）で VCC と GND 間が短絡されてしまったと推測できる。基板表面のパターンは過熱したが、GND パターンがベタパターンになっており、発生した熱はベタパターンを通して放熱し、焼損部から離れた場所やはんだ面側の温度は基板が変色するほどの高温には達しなかったと考えられる。

最後に、焼損した基板の表面をクリーニングした写真を図 8 に示す。

この写真から分かるように、下の右から 2 番目と 3 番目のランドはほとんど無くなって、周辺の GND パターンも激しく消耗し、焼損している。また 3 番目のランドの温度がかなり高くなったため、図 2 の裏面（はんだ面）のランドにも熱が伝わって、はんだが溶けて中央が少し盛り上がったと推定される。

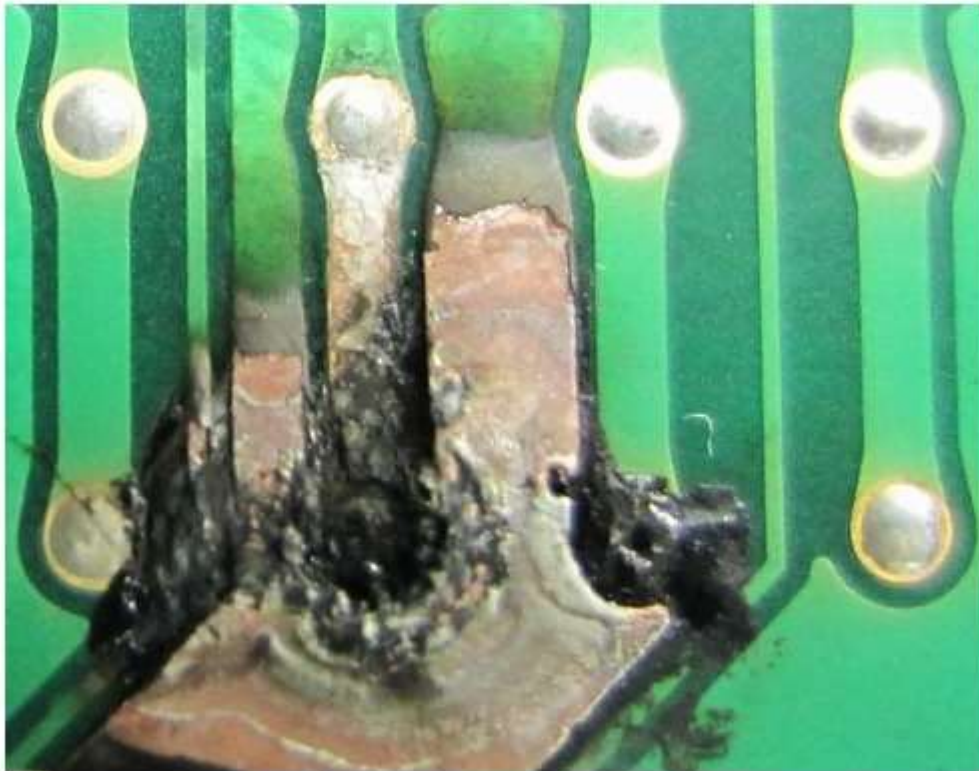


図8 クリーニングを施した焼損部

焼損は“あってはならない”事故

今回は、あえてこのような珍しい焼損事故を報告した。金属を腐食させる酸やアルカリ成分が基板に付着した時に、同様な問題が出る可能性があることを理解してもらうためである。基板に実装される部品の事故としては、かつて4級アンモニウム塩を使った電解コンデンサで強アルカリ成分が基板に漏れて、大きな問題になったことがあった。また電池は強アルカリ成分が漏洩しやすく、鉛蓄電池には希硫酸が使用され同様に漏洩することがある。

このように電気製品の近くにも、焼損事故を誘発しやすい薬品や部品が使われている。電気機器の設計時には、薬品と電気を遠ざけるように配慮すべきだ。また、保守時に基板上に異物が付着した痕跡が見つかった場合は、その原因を確認して早急に対策することを心掛けてほしい。事故が起これば、製品の顧客は大きな損害を被り、メーカーは信頼を失ってしまう。焼損事故は、あってはならないものである。