江戸の白粉

風見 明[†]

1. ま え が き

タイトルは、これだけではわかりにくいと思われるので少々説明を加えると、江戸時代に女性が化粧に使った白粉（いわゆる女房言葉で、おしろいと言ませる）のことである。なんでこんなタイトルが出てくるのだ、場違いじゃないの、と読者の誰もが思うにちがいない。しかし、真面目な話なのである。ずっと以前のこと、たんなる好奇心から、江戸時代に女性がどんな白粉を使っていたのか、その白粉はどんな方法で作っていたのか、近くの図書館に行き、詳しく調べたことがあった。

このとき得られた白粉の知識が実は、ハイブリッドICの重大故障の原因究明と対策に決定的に役に立った。ここでする話はこんなまともなエレクトロニクスの話である。

2. 白粉の作り方

まずは、そのとき得られた白粉の知識を披露することにする。白粉を作ろうとするとき、真っ先に問題になるのは真っ白い粉末をどう作るかであるが、江戸時代でも、意外と容易にこれを作ることができたのだ。材料は鉛の棒と食酢だけでよく、装置といったものは全く不要で、陶磁器等のお皿があればそれでよかった。お皿に食酢を入れ、その中央に鉛の棒を立てる。この状態で数日放置しておくと、鉛の棒の露出した部分（浸漬した部分ではなく）に白い粉が噴いてくる。これをヘラで掻き集め、水洗いすれば、真っ白な粉末、つまり白粉が得られた。これを水

に溶いたり、植物油に溶いたりして、白化粧用として使ったわけである。白粉の作り方はこんな簡単な方法だったから、家で作ろうと思えば、作れたわけである。

白粉の組成は、炭酸鉛(PbCO_3)であり、鉛(Pb)と食酢の主成分である酢酸(CH_3COOH)とが反応して出来たものである。なお、白粉は鉛が主成分だから鉛白とも呼ばれる。この反応の特殊性は、酢酸が蒸気の状態のときに初めて起こることである。この一種の酸化反応は常温でも起こり、温度の上昇とともに当然反応が激しくなる。この反応の特徴は表面だけに止まらず、中までいくらかでも進行することである。普通の酸化反応では、出来た酸化物が保護膜的な役割を果たし、それ以上の酸化反応を押し止どめる。この反応はその点まったく違うわけで、粉末をたくさん作れる要因でもある。

このような白粉の作り方は、日本独自のものかという点、そうではなく、遠くギリシャ時代に発明され、日本には律令時代に中国を経て導入されたものである。西洋や中国・日本に共通の、長い歴史を有する作り方だったわけである。江戸時代の女性は、この白粉の作り方を常識として知っていた。したがって、鉛は酢と反応して、ポロポロの粉末状になるという化学を知っていたわけである。

近世においては、英国製のものが最高の品質を誇った。そのポイントは樹皮の利用にあった。鉛と酢を上述のようにセットした容器を積み上げ、それを覆う形で、樹皮を厚く被せる。そうすると樹皮は自然発酵して発熱し、温室状態を作る。この温度が適度であったのだろう、非常に細かい白粉が出来

た。

日本は明治以降も他国と同様、この白粉を用いていたが、皮膚からの浸透や口からの飲み込みにより、体内にある程度蓄積すると、重大な神経障害、いわゆる鉛中毒を起こすことがわかり、昭和9年よりは使用禁止になった。このきっかけは、天覧歌舞伎で役者(毎日のように白粉を多量に使う)が意識不明になった事件である。これ以降、白粉は亜鉛華や酸化チタンになった。

なお、公家が使っていた白粉はこの白粉ではなく、水銀と食塩とを焼いて作った塩化第一水銀(HgCl)のものであった。水銀と聞くと有毒と思いがちであるが、今の医学からみても無害なものである。公家が使っていたから御所白粉とも呼ばれたが、最高品質のもので、値も張り、一般の人にとっては手に入らない代物であった。伊勢近くの松坂は水銀が採れ、この白粉の特産地であったが、お伊勢参りの土産としてもこれを売っていたから、参拝者は大枚を出して購入し、お伊勢講で送り出してくれた郷土の人達への最高のお土産とした。

3. ハイブリッドICとは

白粉の知識がハイブリッドICの故障の原因究明と対策に役に立ったという、そのICとは一体どんなものか、歴史を含めて述べることにする。

ハイブリッドICは混成集積回路とも呼ばれるもので、トランジスタ、ダイオード、モノリシックICなどの能動素子とともに、抵抗やコンデンサなどの受動素子を1枚の基板に組んだものである。能動素子と受動素子とがチャンポンで入っていることからハイブ

[†] 三洋電機株式会社 半導体事業本部
“The Powder in the Edo Era” by Akira
Kazami (Sanyo Electric Co., Ltd., Gunma)

リッド(混成)の名が付いた。能動素子はチップ状のものを使い、抵抗は膜抵抗であることが条件である(最近はこの条件が外され、プリント板組立との境界が曖昧になった)。

日本の半導体業界がこの開発に取り組んだきっかけは、IBM が昭和 40 年頃、新開発の大型コンピュータにこの IC を採用したことであった。これはトランジスタ 3 個と抵抗 3 個からなる単純なものであるが、基板としては 10 mm 角ほどのアルミナセラミックを用い、まず、この上に銀系の導体配線をスクリーン印刷で行い、次に金属・ガラス系の抵抗ペーストをスクリーン印刷し、最後にチップ状のトランジスタを付けたのであった。

日本の上記業界は、この奇妙な IC にびっくりするとともに、これこそ未来の組立技術だとばかりにこぞって飛びついた。しかし、東京三洋電機(今は三洋電機)はすぐに、この IC システムに重大な欠点があることに気づいた。その欠点とは、放熱の問題で、パワー回路にはとても使えないということである。アルミのヒートシンク(アルミ製に決まっているようなもの)にビス留めしようものなら、割れるのは火を見るより明かだし、アルミナも所詮セラミックだから、熱伝導が悪い(アルミの 10 分の 1 程度)。しかし、この「混成」コンセプトだけは立派なものであり、大いに利用できると踏んだ。そこで独自に開発したハイブリッド IC システムが IMST (Insulated Metal Substrate Technology, 絶縁金属基板技術)である。これは IBM のものとは使用材料が何から何まで異なるものであるが、最も顕著な違いは、基板としてアルミを使用したことである。ビス留めは問題ないし、放熱性も当然問題ない。昭和 40 年半ばからステレオがブームになり、国内向けおよび輸出向けにステレオが大量に生産されるようになったが、このシステムによる音声出力 IC がこの全数といってよいほどに採用された。ステレオの中を開けてみたら、どれもこれも音声出力回路は三洋の IC だった、といわれたものだ。こうした状況は長く続き、

今日でも多くのメーカーが採用している。

4. IMST ハイブリッド IC の構造

アルミ基板を使って組立完了したものを図 1 に、これにパッケージングした完成品を図 2 に示す。この IC はステレオ用パワーアンプであり、30 W 出力回路 2 個入りのものである。プリアンプ段も入っているから、ステレオの回路組立を非常に簡単にし、ステレオメーカーにとってはとても使いやすい

ものである。サイズは名刺大である。

図 1 で中央に四角形で白いものが見えるが、これはパワートランジスタである。この構造は図 3 に示されているが、2 つの工程よりなる。まず、ばらばらの状態の銅製ヒートスプレッド(熱を水平方向に拡散させる機能からこの名称が付いた)にパワートランジスタ素子(もちろんシリコンで出来ている)をハンダ付する。ほとんど鉛よりなるハンダを用いる。鉛ベースのハンダが一般に使われるが、この最大の理由は、鉛には塑性があつて、金属疲

図 1
組立完了後の
IMST ハイブリ
ッド IC の構造

図 2 図 1 のものにパ
ッケージングを
した完成品

図3 パワートランジスタの構造

6. 元凶の部材を突き止める

そこで、思い出したのが、少し前に勉強した白粉の作り方である。この場合も鉛がボロボロになって白粉の粉末が出来たわけである。現象がまったく似ている。使った部材の中に、酢酸蒸気を放出するものがあるではないか？ちょっと考えただけでは、思い当たる部材はない。とにかく、酢酸かどうかは別として、ボロボロにする蒸気を放出する材料があることは確かであり、それがどの部材であるか特定することにした。

対象の部材には、小信号トランジスタを基板に接着する銀ペースト、同トランジスタの保護用のシリコン樹脂、基板に使われている銅箔接着用エポキシ、パッケージ接着用のエポキシ樹脂、チップコンデンサのハンダ付けに使用したフラックス、それにパッケージ材のFRPET等がある。試験方法は、これらの部材の個々とパワートランジスタの付いたヒートスプレッドをガラス試験管に入れ、口をバーナで炙って完全封止し、このものを上述の完成品ライフテストのときのパワートランジスタの温度とほぼ同じ125℃の高温槽に入れ、数日置きに取り出して、ハンダがボロボロになっているかどうかをガラスごしにチェックする、という方法であった。ある1つの部材で見事再現した。数百時間で、実際と同じくハンダがボロボロになった。その部材とはFRPETであった。これは意外だった。一番大丈夫と思っていたものであった。

早速にFRPETのメーカーを呼び、ICのライフテストでの大問題が発生したことや、FRPETがその元凶であることなど、それまでの経緯を話し、FRPETのどの材料が悪いかわ調べたいから、構成する材料をすべて頂きたいと申し出た。どんな材料構成になっているかは、最高の企業秘密であることを承知したうえでの申し出である。

いわゆる秘密の鼻薬が入っているわけで、これがわかれば、同じものを作るのは容易いことである。追従メーカーがねらっているデータでもある。

労を起しにくいという性質があるからだ。このような性質を利用した身近なものとして、芯に鉛の棒を入れた自在定規があるのをご存じの方が多だろう。パワートランジスタ素子は最高150℃にもなる。これを冷やすのがヒートスプレッドの役目である。パワートランジスタ素子とヒートスプレッドの間には、当然大きな温度差が生じると同時に機械的ストレスが生じる。鉛ベースのハンダなら、このストレスの繰り返しにも耐えられるわけである。

このようにしてパワートランジスタ素子を取り付けたヒートスプレッドを基板に接合するハンダは最もありふれた共晶ハンダ(鉛が約40%で、残りがスズ)である。このハンダにはそれほど熱ストレスは掛からないから、この組成で問題ない。この後、パワートランジスタ素子と基板の電極とを結ぶアルミ線を超音波溶接すれば、この部分の組立が完成する。

パッケージの材料はFRPETという商品名が付いた国産のものである。熱可塑性樹脂であり、射出成型ができる。FRはガラス繊維で強化したという意味の英語の頭文字であり、PETはポリエチレンテレフタレート(デュポン社の“テトロン”なる布地用繊維でよく知られている)の略称である。パッケージと基板とは、エポキシ樹脂によって接合させるが、パッケージングは中空構造であり、かつ密閉構造である。

このほかのところの構造も本来は説明すべきであるが、後の話と直接関係ないので省略することにする。詳細を知りたい方は筆者らによる「ハイブリッドICとその応用」(パワー社)をご

覧下さい。

5. 重大故障の発生

上記のパッケージは、需要が本格化した今から25年ほど前、最も手間の掛かるパッケージング工程の合理化の決め手として採用されたのであるが、材料変更があったときに必ず確認のために行う完成品ライフテストのひとつで大問題が生じた。このテストは最大出力の状態で作動させ、故障が起きないかどうかをみる、実用に即した最も大事なテストであるが、数百時間でパワートランジスタがごとごとく破壊した。こんなレベルのものでは市場で不良が多発するのは火を見るより明らかである。当然、出荷は取りやめ、事業の存続にも関わる問題であるから、組織を上げてまずは原因の究明に取り組むことになった。

破壊したパワートランジスタ素子を上から見ると、シリコンが溶けた跡が見られ、過度の温度上昇による熱破壊モードによる破壊であった。素子をピンセットで触ると、何と、いとも簡単に外れた。この面を顕微鏡観察すると、ハンダがボロボロの状態になっていた。素子周辺のハンダも同じようになっていた。そこで考えた破壊メカニズムは、何らかの原因でハンダがボロボロになり、接合ハンダ層に空気が入った形になり、このため放熱が極端に悪くなった、というメカニズムである。素子の下のハンダばかりでなく、その周囲のハンダまでもボロボロになったということは、熱ストレスによるものではなく、化学的な反応に違いないと考えた。

FRPET メーカーは事の重大性を理解してくれて、この無理な要求を聞き入れてくれた。そして、6種類ほど材料について前述の試験管封止テストを行った。その結果、ガラス繊維がクロと出た。これも一番大丈夫と思っていたものであった。

7. 故障メカニズムの解明

ガラス繊維は当然ガラスだけでできていると思っていたが、これは大変な思い違いだった。実際は樹脂も使われていたのである。ガラス繊維の作り方はこうである。まず、熔融したガラスを孔径10μmほどのダイスから引いて冷却固化させてファイバを作る。次に、これを数10本束ねて、樹脂で固め、これで完成する。ガラス繊維はファイバの束を樹脂で固めた構造になっているのだ。樹脂が使われていたのは大変意外なことであった。この役目の樹脂には収束剤という業界用語が付いていることを知った。FRPET メーカーを通じ、ガラス繊維メーカーにこの樹脂の種類を聞いた。企業秘密ということであったが、経緯を聞いて酢酸ビニールだと教えてくれた。この酢酸という文字が付いた樹脂名を聞いた途端に、これが酢酸蒸気を放出すると確信した。これはガスクロマトグラフィで確認できた。

こうしてパワートランジスタのハンダがボロボロになる原因と究極の元凶が完全にわかった。ここまでくればもうしめたもので、これからやることは決まったようなものである。

8. 収束剤の改良

酢酸蒸気を出さない樹脂に変えればよいわけで、代替樹脂としてすぐ浮かぶものは、エポキシである。ガラス繊維メーカーにこれに変えるように要請した。そのとき、FRPETのメーカーもガ

ラス繊維メーカーも、酢酸が鉛をボロボロにすることなんて、とても信じられないということであった。そこで、冒頭で述べた江戸時代の白粉の話をこんなと聞かせた。この化学は女性の常識であったことを特に強調した。両メーカーのエンジニアとも、専攻は化学が中心で、しかも、一流レベルの人ばかりであるが、この化学を知っている人は誰もいなかった。これが負い目となったのだろう、こちらの要請をすんなり聞いてくれた。直ちに、ガラス繊維メーカーはこの変更に対応してくれた。そして、FRPETメーカーもこれへの切り替えに直ちに対応してくれたことはいうまでもない。これで一件落着である。

9. 改良収束剤の波及効果

収束剤として酢酸ビニールを使うというのは、日本ばかりでなく、世界の標準だった。取り立てて問題がないということで、旧態依然であったわけである。FRPETメーカーはエポキシ樹脂に変えたもので、いろいろな工業材料としての特性を調べた。驚く結果が出た。機械強度がかなりアップしたのである。そればかりでなく、顔料を入れた色物では、成型品の色がくすみのない鮮やかな色に仕上がった。

この原因として、酢酸ビニールのものでは、成型（FRPETを約250℃に上げて液体にし、これを高圧で型に流して固める）のとき、酢酸蒸気が発生し、成型品内部に気泡を作ること、機械強度を低下させる原因となり、また、酢酸の色が色をくすませると考えられた。エポキシ樹脂なら、蒸発するものは何もなく、問題ないわけである。FRPETメーカーにとっては予期せぬ大収穫であり、当然FRPET以外の製品にも適用した。このいい話は国内のほかの工業樹脂メーカーにも伝わ

て、切り替えが行われた。そして、世界規模で切り替えが展開されて、エポキシ樹脂収束剤が世界の標準となった。

10. むすび

白粉の知識は、ハイブリッドICの故障原因の究明を速め、また、対策を速めた。そして、大袈裟な話になるが、ガラス繊維を入れた工業樹脂全般の特性向上にもつながった。他愛ない雑学に過ぎないと思っていた白粉の知識が、まさかエレクトロニクスの世界で役に立つなどとは、夢にも思っていなかった。エレクトロニクスの製品といえども、製品化に当たって立ち足はだかる障害は、純粋に電子工学や電磁気学の問題となるケースは稀であり、上述のような泥臭い物性の問題となるケースがほとんどだといえる。そして、どの文献にも本にも書いてない未知との遭遇であることが多い。これは後からわかるものであるが…。これ乗り越えるには、幅広い見方、アプローチを取ることが肝心だと痛感して来た。こんなことから、ほかの人が見向きもしない、古い時代の技術や伝統工芸の技術を勉強するようになった。これで得られた知識がハイブリッドICの故障問題を解決するアイデアになったり、特許のアイデアともなった。こういう「雑学のすすめ」をもって、結びとしたい。

(1998年2月25日受付)

かざみ 風見
あきら 明

1966年、早稲田大学大学院応用物理学修士課程修了。同年、東京三洋電機(株)（現三洋電機(株)）入社。ユニークな混成集積回路方式として世界的に有名になったIMST（絶縁金属基板技術）の技術開発を担当。関連特許多数。発明協会・全国発明表彰発明賞を含めて特許表彰も多数。専門外の著書には、「技と日本人」と「色の文化誌」（ともに工業調査会）がある。