

無線光学マウス (2)

共振で繋がる電波の世界

はじめに

前報¹⁾では、マウスの微妙な動きを感じする赤外線センサーの仕組みについて紹介した。今回は、このマウスの情報を電波でパソコンに伝える上で重要な、水晶振動子とアンテナの仕組みについて紹介する。これらの部品は、いずれも「共振現象」を利用している。

小型の受信器を開けてみる

マウス本体には、乾電池一本、昇圧コイル、水晶振動子およびICがあり¹⁾、これらで作る高周波電流にマウスの動作情報を乗せ、銅箔アンテナから周波数2.4GHzの電波(電磁波)が発信される。この電波をパソコンのUSB端子に差し込まれた小型のレシーバで受信し、低い周波数に変換し、情報を読み取り、パソコン画面に反映する(図1)。このUSB受信器の構造を見てみよう。



図1. 無線マウスの送信と受信の仕組み
マウスの情報は本体のアンテナから2.4GHzの電波が発信され、レシーバのアンテナで受信する。

1) 差し込み金具と電極

よく目にするUSB端子への差し込み金具の母材はリン青銅(Cu-7%Sn-0.1%P)で、下地に銅(Cu)めっき、表面にニッケル(Ni)めっきがされていた。金具を外すと基板上に4本のCu電極がある(図2)。表面は導通確保のため、Ni下地に金(Au)がめっきされていた。外2本は電源線、内2本は信号線である。

2) 部品とアンテナ

プリント基板には多数の部品がはんだ付けされている(図2上)。Lはコイル、Cはコンデンサー、Rは抵抗である。裏面中央にはICがあり、その外側のCu配線を辿ると、C13コンデンサーの上に曲がりくねったCuのアンテナ線に繋がっている。

アンテナの全長は約31mmで、これは後述するように周波数2.4GHzの波長の1/4に相当している。またアンテナの根元は貫通穴を介して表側配線(C2)に繋がっている。これが恐らく中間銅箔層に繋がりを、またパソコンのアース(GND)に繋がる。

表側の中央にあるのは水晶振動子で、スズ

(Sn)と少量の銀(Ag)からなる4つのはんだ電極に載っている。これは基板に印刷されたはんだ電極上に部品を乗せ、基板全体を約220℃に加熱して接合する方式(表面実装: Surface Mount Device)なので、SMD水晶振動子と呼ぶことにする。

この水晶振動子のリッド(蓋)はコバル合金(Fe-29%Ni-17%Co)で、周囲にはAuが顔縁のようにある。これは、後述するAuめっきされたリング(枠)に相当する。

時を刻む水晶発振器

1) 圧電効果と水晶

ある結晶に圧力を加えると、原子の位置が少しずれ、表面に電荷が発生(分極)する。これを「圧電効果」あるいは「ピエゾ効果」と言う。逆に、結晶に電圧を加えると結晶が変形する。これを「逆圧電効果」と言う(図3)。この圧電現象は1880年にキュリー兄弟により発見されている。電子式ライターや卓上カセットコンロの点火では、この発生電圧に拠る火花放電を利用している。

水晶は無色透明の石英(SiO₂)単結晶のことで、これも圧電効果を示し、特にある結晶面(ATカット面)では、あまり温度に拠ることなく、一定の固有振動数で共振し、安定した高周波電圧を発生する。このため、クォーツ時計、パソコン、電波など「時」や「同期」が重要な機器には必ず1-5個入っていて、基準の信号を作っている。

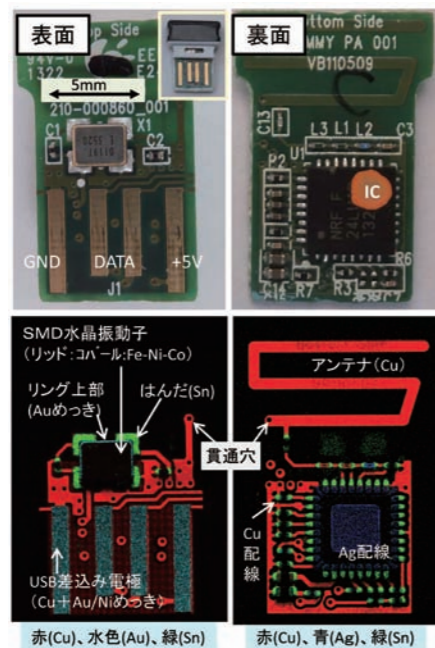


図2. 受信器基板と蛍光X線像
プリント基板の表面にはSMD水晶振動子、裏面にはICとアンテナがある。

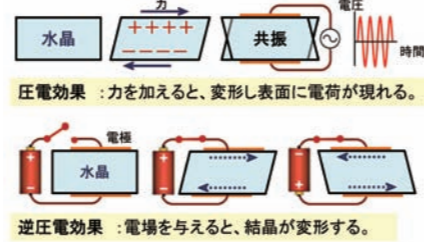


図3. 圧電効果とは

水晶のATカット面にタイミング良く電圧をかけると、厚みすべり変形が共振し、高周波電圧を出す。

共振周波数は水晶の厚みと次の関係がある。周波数(MHz)=1.67/厚み(mm)。0.1mm厚なら周波数は16.7MHzとなる。ただ、この周波数は僅かの酸化や吸着で変化するので、水晶板は不活性ガスで気密封止される。

2) 水晶振動子(本体/発信側)

前報のマウス本体調査では、プリント基板上に、SMDではなく2本の足のついた水晶振動子が搭載され¹⁾、そのキャップには16MHzの周波数を出すことが示されていた(図4)。

キャップ部は、洋白あるいはニッケル黄銅と呼ばれる銅合金(Cu-21%Zn-15%Ni)で500円硬貨と同様組成である。底部は炭素鋼で、ここだけ磁石に付く。2本の足は前述のコバルである。この合金の熱膨張率は鉄の半分以下(鉄の12x10⁻⁶/K)で、硬質ガラス(封着材)のそれに近いので、気密封止する時に熱応力が発生せず、割れが起きにくい特徴がある。

断面のEPMA像を見ると、コバルの足の上には板バネ状の支持電極(銅合金:洋白)が溶接され、その上にAg粉が入った導電性接着剤で水晶板が接合されている(図5)。厚み0.10mm(100μm)の水晶板の上

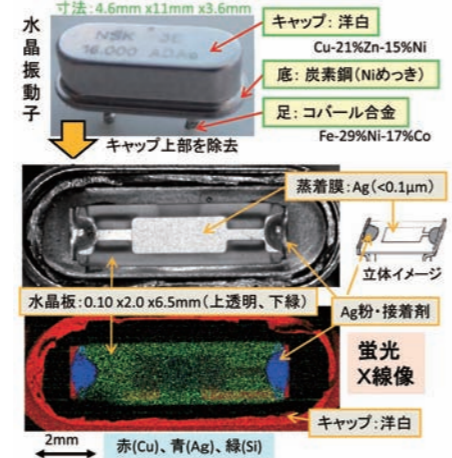


図4. 水晶振動子(発信側)の内側
水晶板の表裏は、左右の電極から出てきたAg蒸着膜に挟まれている。膜は薄いのではAgの強度は低い。

シリーズ

材料の素顔に迫る

元日立金属 技師長 工学博士 岡本 篤樹

下面には銀の薄膜が蒸着されていて、それぞれ左右の電極に繋がっている。恐らく0.1μm以下の厚み²⁾であるが、EPMAで何とか観察できている(図5左下)。この膜で上下面から交互に+-の電圧をかけて水晶板を共振させ、また安定した周波数の電気を取り出している。この信号をICで2.4GHzの高周波にして、アンテナから電磁波が発信される。

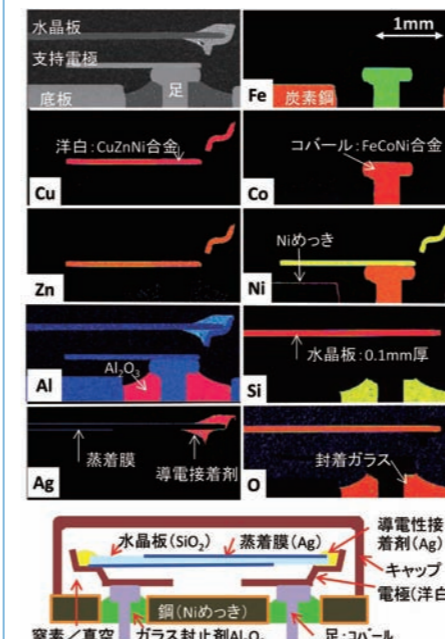


図5. 水晶振動子断面のEPMA像
足部には気密封止のため、コバルが使われている。水晶板上下に薄いAg膜が見える。

3) SMD水晶振動子(受信側)

これに対し、受信器基板のSMD水晶振動子は小さくて背が低い。上部を除去して内部を見ると、タングステン(W)メタライズ層の上にNiとAuをめっきした4つ電極がある(図6)。内2つは導通しているため、入出力は対角の2端子となる。Wメタライズとは、W粉末入り樹脂をアルミナ成形体上に印刷・高温焼成して、セラミックス上に金属膜を作り、めっき濡れ性を改善する方法である。

左2つの電極上にはAg粉入り接着剤(円状)があり、ここに水晶板が片持ち梁で支えられていた。水晶板は割れて外れてしまったが、厚みは0.10mmで、発信側と同じであ

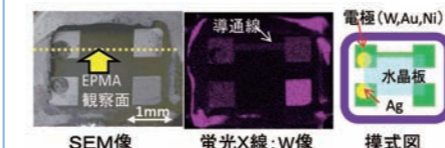


図6. SMD水晶振動子の内側
左2つの電極(W/Au,Ni)上に、Ag粉入り接着剤で水晶板が接合されるが、観察では外れている。

るものの、蒸着膜はAuで異なっていた。

断面のEPMA像を見ると(図7)、下部はアルミナ系のセラミックスパッケージで、その縁に注目すると、アルミナ上にWメタライズ層があり、コバル製シールリング³⁾(枠:0.3mm厚)とCu-Ag合金のろう付け層で接合されている。この上はコバル製リッド³⁾(蓋:0.09mm厚)で、この接合部にはNiとAuしか無いことから、ここはシーム溶接されていることがわかる。シーム溶接とは真空または窒素中で、回転電極を押さえながら通電し、その抵抗熱で縫合する方法である。

アンテナで受信した高周波の電流は、このSMD水晶振動子を基準にして低い周波数に変換され、マウスの信号が取り出される。

水晶振動子、発振子など水晶デバイスは日本が世界をリードしてきた製品である。世界で年間120億個以上(2012年)生産され、その6-7割は日本製と推測されている。

アンテナの長さ

周波数2.4GHzの電磁波は空間中で1秒間に2.4x10⁹回の+-の電場変化を繰り返している。空気および金属中に電気が伝わる速度はほぼ光速(3x10¹¹mm/s)なので、波長(光速/周波数)は125mmである。今回の受信アンテナのアースから先端までの長さは、この波長の1/4(31mm)になっている。これを1/4波長モノポールアンテナという。

金属の棒に電位差があると電気が光速で進み、棒端で反射して逆向きに進む。合成した電流分布は、端部では打ち消し合ってゼロ、中央部も打ち消し合うが、棒の長さの2倍波長の電磁波(電場変化)に対しては共振して中央部に大きな電流分布をもつ定在波が形成される(図8)。

この金属棒中央(給電点)から電流を取り

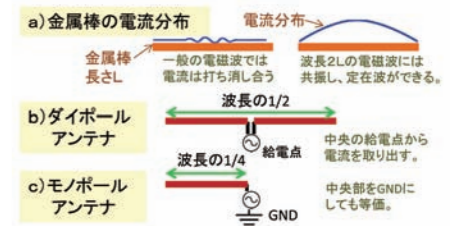


図8. アンテナの長さと受信波長
金属棒の長さが電磁波の波長の半分の時、棒は共振し、中央部が高い電流分布の定在波を示す。

出すのがダイポールアンテナで、アンテナ長は波長の1/2となる。この中央部をアース(GND)にしてアース側を鏡像アンテナとしたのがモノポールアンテナである。

アンテナ回路の誘電率が1より大きいと、電気の伝わる速度が遅くなり、共振するアンテナの長さを短くできる。最近はそのようにして小型化したアンテナが携帯機器では複数個使用されている。

まとめ

無線光学マウスの仕組みと使用されている金属について2回に分けて紹介した。信頼性が必要な水晶振動子では、熱膨張率がセラミックスに近いコバル合金や、耐食性と導電性が良いAu,Ag,Wが要所に使われていることに注目したい。

なお無線は、今回紹介した方式が現在主流であるが、最近では双方向通信が可能なBluetooth内蔵のパソコンが増え、USBレシーバが不要のマウスも出てきている。

<参考資料>

- 1) NSSTこうしん84号(2014)4月
- 2) 草野淳: Design Wave Magazine,2007,p112
- 3) (株)日立金属ナノテックHP

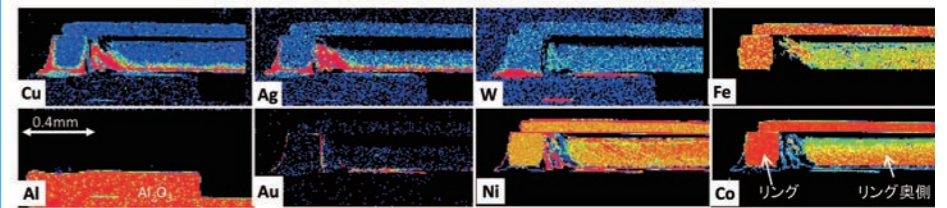


図7. SMD水晶振動子の断面EPMA像と構造模式図
パッケージのW層上にリング(枠)がAg-Cuでろう付けされ、その上にリッド(蓋)がシーム溶接されている。水晶板は電極(W,Au,Ni)上に接合されているが、観察では外れている。パッケージの窪みは無い場合もある。