

明 細 書

圧電振動子

技術分野

本発明は、水晶振動子などの圧電振動体を密封保持する気密容器を有する圧電振動子および気密容器を構成する気密端子に関し、特にその構造および製造方法に関する。

背景技術

気密容器内の密封保持された圧電振動体と、一端がこの圧電振動体に接続され、他端が密封容器の外に露出するリード線とを有する圧電振動子が知られている。圧電振動体として、音叉型振動体、矩形AT板型振動体などが用いられている。また、気密容器は、一端が開放された略筒型のキャップと、このキャップの開放端の内径に嵌合する外周形状を有し、ここに圧入されるベースを有している。キャップは、コパールや洋白より形成されている。一方、ベースはガラス材の外周に金属環が設けられ、前記ガラス材にはコパールなどからなる複数のリード線が貫通している。圧電振動体は、リード線の先端にハンダ付けによって結合支持されており、前述のようにベースをキャップに圧入することによって、圧電振動体が気密状態で収納される。このように、ベースは、圧電振動体を密封し、また外部と接続する、気密端子である。

このような圧電振動子の一般的な製造方法は、次のようなものである。まず、キャップの入口内周部、ベースの外周部、リード線の各々に共晶系のハンダ材をメッキする。そして、リード線の気密容器の内側に配置される部分に、共晶系のハンダ材とフラックスを混合したペーストを供給し、その部分に圧電振動体の表面に形成された表面電極を当接する。さらに、加熱してハンダペーストを溶融させて圧電振動体をベースに固定し、圧電振動子を得る。ベースの外周部およびキ

ギャップ入口内周部に柔らかい金属であるハンダ材をメッキしたことにより、ベース圧入時にこの部分の隙間をふさぐことができる。また、リード線表面がハンダメッキされていることにより、圧電振動体の表面に形成された電極および外部回路とのハンダ付け性を良好なものとしている。なお、共晶ハンダとは、スズを62重量パーセント含有し、残りが鉛のハンダを示すが、以降の説明においては、この共晶ハンダを含め、鉛が60重量パーセント以下のハンダを低温ハンダと記す。低温ハンダの残りの成分は、全てまたは大部分がスズであり、2-3%程度の銀などの添加剤を含んでもよい。この低温ハンダ材の融点は、スズの融点である232℃以下となる。

このような構造の圧電振動子は、用途によっては更に耐熱性を求められる。たとえば回路基板に対するSMD（表面実装型デバイス）用素子として用いる場合、封止後に実装のためハンダのリフローを行うので240℃・5秒間程度（あるいは260℃・10秒間またはそれ以上）で封止部の気密不良を起こさないことと圧電振動体のマウント部が溶けないことが要求される。これらの部分に低温ハンダ材を用いた場合でもリフロー条件が比較的低温あるいは短時間であれば、封止部はギャップの機械的な締め付け効果で気密を維持されるので比較的安全である。しかし、マウント部はその熱容量のためにハンダ材が溶けるに至らない場合もあるが、安全とは言い難い。いずれにせよユーザーの条件設定によっては十分な耐熱性が得られない危険がある。

圧電振動子の耐熱性を向上させる目的で、鉛含有率の高いハンダ材を圧電振動子に用いた従来例がある。たとえば、特開昭64-68007号公報に開示されている技術は、圧電振動体のマウント部とベースおよびギャップの封止部に共に高温ハンダを用いている。高温ハンダとは該文献によれば、融点が260から327℃で、Sn対Pb比がほぼ1:9である。また、特開昭64-62909号公報に開示されている技術は、ベースを構成する金属リングの外周部のみに鉛合金からなる鉛系メッキ層を形成し、更に加熱時の鉛蒸気の発生を抑えるため、必要に応じて銀メッキ層をその上に形成したものである。

次に耐衝撃性に関する問題点がある。近年、水晶振動子は携帯電話機等の手持ちで使用される携帯機器に多用されるようになった。そのため耐衝突性に対する

市場の要求はますます苛酷になっており、たとえば単体で100ないし150 cmからの木板上への数回の自由落下に耐えねばならない。

耐衝撃性に関しても従来いくつかの改良案が出されている。特開昭61-247775号公報に開示の技術は水晶振動子片をショア硬さがDスケールで90以下の感光性接着剤にてベース面に支持固着する。特開平4-78211号公報においては短いインナーリードにヤング率 $5.0 \times 10 \text{ GPa}$ 以下の材質よりなる付加リードを取付けその先端に水晶振動子片を接着する。また、付加リードは実施例においては $1.95 \times 10 \text{ GPa}$ となるハンダを短い板状に形成したものである。特公平7-14132号公報においては水晶片電極と外部への引出導体とを、エポキシ樹脂、ポリブタジエン樹脂、石油系樹脂および導電性粉末を含み、可撓性を有する導電性接着剤で接着固定するものである。

また、耐熱性の要求が厳しくない場合には、圧電振動体の支持に低温ハンダ材のペーストを用いる例も多かった。その場合には、圧電振動体を固定する際の急激な加熱によってハンダボールまたはハンダ飛びと呼ばれる極めて小さなハンダ粒子が飛散し、容器内に残ったり圧電振動体に付着する。これが、CI（クリスタル インピーダンス）値不良や低ドライブレベルでの発振不良等の歩留り低下を起こすという問題があった。

前述の従来例の具体的な問題点を考察する。特開昭64-68007号公報および特開昭64-62909号公報に記載の技術によればベースへの高温ハンダ材のメッキを普通に行うと、ベースの外周金属環部とリード線の気密容器の内側部分（以下、インナリードと記す）、外側部分（以下、アウトリードと記す）は全面に高温ハンダ材がメッキされてしまう。鉛の含有率の高い合金は表面に強固な酸化膜を生じやすく、圧電振動子を外部回路基板に実装する場合のハンダ付が困難となる。これは、低温ハンダを使っている他の部品を傷めない程度の低い温度で行わねばならないためである。そこで、アウトリードからわざわざ高温ハンダメッキを剥がして低温ハンダ槽に浸漬しなければならず、製造工程が増えて高価になっていた。また、この浸漬によるハンダ層は厚さが不均一なためアウトリードの曲げ加工がし難かったり、ハンダ量のバラツキのために実装性が悪かった。アウトリードの曲げ加工は、圧電振動子の表面実装時に行われる。表面実装時、

キャップの側面とアウトリードの末端とが回路基板面に密着せねばならない。そのためにはアウトリードを段曲げしてリード線の高さ位置をキャップの側面と揃えねばならない（図1参照）。

また、特開昭64-62909号公報によれば、鉛の含有率の高い合金は加熱時に鉛蒸気を生じるので実装時のリフローにより鉛が圧電振動体に付着し、周波数をシフトさせる。したがって、ベース外周やキャップ内面に高温ハンダ材が圧入に必要な部分以外に付着しないようにするため、工数のかかる部分メッキ手法を採らざるを得なかったとしている。しかし、この点については、われわれは見解を異にしており、鉛が特に蒸気を発生しやすいということはない。なぜなら、たとえば150℃における鉛の飽和蒸気圧は極めて小さい。260℃では、蒸気圧は多少大きくなるが加熱は短時間で終わるのでほとんど問題がないからである。封止後に容器内の低温ハンダ材を（特に表面積の大きい部分で）溶融させない限り問題は少ない。

また、特開昭64-62909号公報において表層にメッキされる銀はハンダ付け性を良好にするが、高価な材料であるためその厚さはわずか（0.1～0.2μm程度のフラッシュメッキ）である。よって、リード線を曲げた部分で銀膜が破れて下の高温ハンダが露出し、ハンダ付け性が悪くなる。また、一度実装すると銀が基板ハンダ中に失われてしまい、再度実装することができなくなる。すなわち、不使用の回路基板から回収した部品の再利用ができないことになる。

また、耐衝撃性の改善に関する前述の特開昭61-247775号公報や特公平7-14132号公報に記載の技術で用いられる接着剤については、その管理と硬化工程や信頼性に未解決点がまだ存在する。たとえば、ハンダマウントであれば溶融ハンダ材の広がりや圧電振動体表面の電極パターンの形状に正確に倣うが、未硬化で液状の接着剤の広がりや圧電振動体表面の電極パターンの形状に倣うことができないので接着位置のバラツキがあり、それがCI値や接着強度のバラツキの要因となる。前述の特開平4-78211号公報に記載の技術では、小寸法の付加リードを介在させた圧電振動体のマウントはリード線の長さを増し圧電振動子の全長を増す上、異種リードの接合は極めて作業性が悪く、量産に不向きである。

発明の開示

本発明は、前述のような問題点、すなわち相反する性能を高いレベルで調和し、実装性や量産性を考慮しつつ耐熱性、耐衝撃性が向上された圧電振動子を提供することを目的とする。

前述の目的を達成するために、本発明の一つの態様である圧電振動子は、圧電振動体と、一端のみ開放した略筒形状を有し、前記圧電振動子を内部に納めるキャップと、前記キャップの開放端を封止し、前記キャップと共に気密容器を形成する気密端子であって、当該気密端子は、前記キャップの開放端の内径とほぼ同一の断面形状を有するプラグと、前記プラグを貫通する複数のリード線を有する、気密端子と、鉛の含有率が85以上、98重量パーセント以下のハンダ材にて形成され、前記圧電振動子を、前記リード線の気密容器内部に突出した部分であるインナリードに接合固定する支持部材と、を有している。

この構成によれば、鉛の含有率が高い、すなわち柔らかいハンダ材からなる支持部材により圧電振動体を支持することとなる。支持部材が柔らかいので、圧電振動体が外力を受けると、この支持部材がたわみ、応力を分散することができる。よって、圧電振動体に応力が集中することを抑制し、耐衝撃性が向上する。また、前記の鉛含有率を有するハンダは、高温ハンダに属するので、融点が高く、高温環境下においても、確実に圧電振動体を支持することができる。

さらに、前記リード線の表面、特にプラグから露出した部分の表面には、鉛の含有率が60重量パーセント以下のハンダ材（低温ハンダ）またはスズもしくはスズ合金からなる第1の層が形成されている。低温ハンダなどは、濡れ性が良いため、圧電振動体を固定する際や表面実装時に供給されるハンダ材が、リード表面に良くなじみ、確実にハンダ付けを行うことができる。また、ハンダ材は本来安価な材料であるから十分な厚み、たとえば5-10 μ mで、低温ハンダなどの第1の層を形成することができる。よって、リード線を曲げたりしても、この第1の層が破壊されることがなく、この面からも確実なハンダ付けが保証される。

さらに、前記プラグの表面には、鉛の含有率が60重量パーセント以下のハンダ材（低温ハンダ）またはスズもしくはスズ合金からなる第2の層が形成されて

いる。この第2の層は、第1の層と同時に形成することが好ましい。

さらに、前記プラグの第1の層の下に鉛の含有率が60重量パーセントを超えるハンダ材からなる第3の層を形成することもできる。この第3の層によって、高温環境下においても、圧電振動子の気密が破壊されることがない。たとえば、圧電振動子を実装する場合において、ハンダのリフローによる加熱にも、十分に耐えることができる。また、キャップの開口部にプラグを圧入する際においても、柔らかい高温ハンダが変形することによって、隙間を埋めるように働き、確実に封止される。特に、前記第1の層は、キャップにプラグを圧入する際に、その一部が削られるために、この低温ハンダの第1の層があったとしても、耐熱性の低下はほとんど起こらない。

さらに、前記リードの第2の層の下には、鉛の含有率が60重量パーセントを超えるハンダ材からなる第4の層を形成することも好ましい。この第4の層は、前記の第3の層と同時に形成することができる。

また、本発明の他の実施形態である圧電振動子は、圧電振動体と、一端のみ開放した略筒形状を有し、前記圧電振動体を内部に納めるキャップと、前記キャップの開放端を封止し、前記キャップと共に気密容器を形成する気密端子であって、当該気密端子は、前記キャップの開放端の内径とほぼ同一の断面形状を有し、鉛の含有率が60重量パーセントを超えるハンダ材からなる層を前記キャップの開放端内径と接触する部分に有するプラグと、前記プラグを貫通し、鉛の含有率が60重量パーセント以下のハンダ材またはスズもしくはスズ合金からなる層をプラグより露出する部分の表面に有する複数のリード線を有する、気密端子と、鉛の含有率が85以上、98重量パーセント以下のハンダ材にて形成され、前記圧電振動体を、前記リード線の気密容器内部に突出した部分であるインナリードに接合固定する支持部材と、を有している。

この構成によれば、鉛の含有率が高い、すなわち柔らかいハンダ材からなる支持部材により圧電振動体を支持することとなる。支持部材が柔らかいので、圧電振動体が外力を受けると、この支持部材がたわみ、応力を分散することができる。よって、圧電振動体に応力が集中することを抑制し、耐衝撃性が向上する。また、前記の鉛含有率を有するハンダは、高温ハンダに属するので、融点が高く、高温

環境下においても、確実に圧電振動体を支持することができる。

さらに、前記プラグの、前記キャップの開放端内径と接触する部分に形成された、鉛の含有率が60重量パーセントを超えるハンダ材、すなわち高温ハンダからなる層によって、高温環境下においても、圧電振動子の気密が破壊されることがない。たとえば、圧電振動子を実装する場合において、ハンダのリフローによる加熱にも、十分に耐えることができる。また、キャップの開口部にプラグを圧入する際においても、柔らかい高温ハンダが変形することによって、隙間を埋めるように働き、確実に封止される。

さらに、前記リード線の表面、特にプラグから露出した部分の表面には、低温ハンダなどからなる層が形成されている。低温ハンダなどは、濡れ性が良いため、圧電振動体を固定する際や表面実装時に供給されるハンダ材が、リード表面になじみ、確実にハンダ付けを行うことができる。また、ハンダ材は本来安価な材料であるから十分な厚み、たとえば $5-10\mu\text{m}$ で、前記の層を形成することができる。よって、リード線を曲げたりしても、この層が破壊されることがなく、この面からも確実なハンダ付けが保証される。

なお、以上のスズ合金は、銀を3%以下、さらに好ましくは2-3%含むものとすることができる。

さらに、前記の支持部材は、前記インナリードをほぼ覆い、当該インナリードの端より前記圧電振動体の重心方向に向けて、当該インナリードの直径の半分以上を超える長さの張り出し部を有しているものとすることができる。このような形状とすることで、圧電振動体を確実に固定することができる。

さらに、前記プラグに前記第3の層などのように高温ハンダの層が形成されている場合は、キャップを銅・ニッケル合金などの比較的堅い金属で形成することも可能である。これは高温ハンダが柔らかいため、キャップが堅くても、なじみが良いためである。銅・ニッケル合金は、高い耐熱性を有しているので、圧電振動子の耐熱性が高められる。同様に、銅・ニッケル系合金以外の金属でキャップを形成し、その表面にニッケル層を形成することも好ましい。

本発明の他の態様である気密端子は、一端のみ開放した略筒形状を有し、前記電子素子を内部に納めるキャップの開放端を封止する気密端子であって、当該気

密端子は、前記キャップの開放端の内径とほぼ同一の断面形状を有し、鉛の含有率が60重量パーセント以下のハンダ材またはスズもしくはスズ合金からなる第1の層を前記キャップの開放端内径と接触する部分の表面に有するプラグと、前記プラグを貫通し、鉛の含有率が60重量パーセント以下のハンダ材またはスズもしくはスズ合金からなる第2の層をプラグより露出する部分の表面に有する複数のリード線を有し、さらに、前記プラグの、前記第1の層の下には、鉛の含有率が60重量パーセントを超えるハンダ材からなる第3の層が形成され、前記リード線の、前記第2の層の下には、鉛の含有率が60重量パーセントを超えるハンダ材からなる第4の層が形成されているものとすることができる。

本発明の他の態様である圧電振動子の製造方法は、キャップと気密端子により形成される気密容器内部に圧電振動体を収納した圧電振動子を製造する方法であって、前記気密端子の有するリード線と圧電振動体の有する電極膜との間に、鉛の含有率が88重量パーセント以上のハンダ材を供給し、前記リードと前記電極膜を結合することにより、気密端子に圧電振動体を固定する工程と、前記圧電振動体を前記キャップに納め、キャップを気密端子により封止することにより、圧電振動体を気密容器内部に密封して収納する工程と、を有している。供給するハンダ材の鉛含有率を88重量パーセント以上とすることで、リード線などに鉛含有率が低いハンダ材がメッキされていた場合でも、圧電振動体固定後の鉛含有率85%を確保することができる。

さらに、前記圧電振動体固定工程の前に、前記リード線の表面に鉛の含有率が60重量パーセント以下のハンダ材をメッキする工程を含むようにすることもできる。

また、前記圧電振動体固定工程の前に、前記気密端子に鉛の含有率が60重量パーセントを超えるハンダ材をメッキする第1のメッキ工程と、前記第1のメッキ工程の後に、前記気密端子に鉛の含有率が60重量パーセント以下のハンダ材をメッキする第2のメッキ工程と、を含むようにすることもできる。

さらに、前記圧電振動体固定工程においては、前記リード線と前記電極膜を結合するハンダ材が、鉛の含有率が85以上98重量パーセント以下となるような量のハンダ材を供給することも好ましい。

さらに、前記圧電振動体固定工程においては、前記リード線と前記電極膜を結合するハンダ材の体積が、前記リード線の気密容器内部となる部分にメッキされたハンダ材の体積の2倍を超えているものとすることができる。この体積比により、リード線などに鉛含有率が低いハンダ材がメッキされていた場合でも、圧電振動体固定後の鉛含有率85%を確保することができる。

さらに、前記圧電振動体固定工程においては、前記リード線と前記電極膜を結合するハンダ材の体積が、前記リード線の気密容器内部となる部分の体積以上とするものとすることができる。これにより、確実に圧電振動体を固定することができる。

さらに、前記圧電振動体固定工程の後、80以上140℃以下で、1以上5日以下の熱処理工程を含むようにすることができる。この工程によって、圧電振動体を支持する支持部材のハンダの結晶粒が成長し、この部分のヤング率が低下する。したがって、より柔らかくなり、応力をより分散させることができる。

図面の簡単な説明

図1は本発明の実施の形態の構造の一例を示す斜視図である。

図2は支持部材26の部分を拡大した、正面図である。

図3は支持部材26の部分を拡大した、側面図である。

図4は支持部材26の断面図である。

図5は圧電振動子に加わる落下衝撃による挙動を説明するモデル図である。

図6はハンダ縁部の応力状態を説明する縦断面図である。

図7はハンダ材の成分・温度と強度の関係を示すグラフである。

図8はスズ-鉛合金の2元状態図である。

図9は本発明の他の実施の形態の要部を示す図である。

図10は本発明のさらに他の実施の形態の要部を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の実施の形態を図面に従って説明する。図1は、本実施の形態の構造を示す斜視図である。ベース10は、略円筒形のプラグ12と、このプラグ12を円筒軸方向に貫通する2本のリード線14を含んでいる。プラグ12は、さらに略円筒形の封着ガラス16の外周にコバルからなる金属環18が設けられた構造を有している。前記の2本のリード線14は、封着ガラス16を貫通しており、封着ガラスから露出する部分が、インナリード20およびアウトリード22である。リード線14の、気密容器内部に突出する部分がインナリード20であり、図1においては、プラグ12より上方に飛び出した部分がこれに相当する。インナリード20の突出長さは短く、本実施形態の場合は、リード線14の直径である0.3mmとなっている。また、リード線14の、気密容器外部に突出する部分がアウトリード22であり、図1においては、プラグ12より下方に延びる部分がこれに相当する。アウトリード22は、表面実装に適するように、クランク状に曲げられている。

圧電振動体24は、コンベックス形の水晶振動体であり、その表裏の面には銀などの励振電極膜（不図示）が形成されている。また、圧電振動体24の形状に関しては、特にコンベックス形でなくとも、たとえば平板長方形AT板を用いることもできる。圧電振動体24は、その長軸をプラグ12の円筒軸に一致させ、かつ2本のインナリード20の間に配置される。そして、2本のインナリードが、圧電振動体24の表裏面に設けられた励振電極膜の一端に、ハンダ材よりなる支持部材26によって結合されている。

キャップ28は、一端が開放した略円筒形であり、その開口部の内径は、プラグ12の外周よりわずかに小さい径を有している。このキャップ28は、真空中で、図1中、上方より圧電振動体24およびベース12に被せられ、ベース12と圧入嵌合して、内部が真空となった状態で、封止される。これにより、気密容器が形成される。

図2ないし図4には、本実施形態の圧電振動体24とベース10との結合部分の詳細が示されている。本実施形態の圧電振動子の圧電振動体24は、図1など

に示すように片持ち支持であるため、圧電振動体 24 に、これを曲げるような外力が働くと支持部の根本に応力が集中する。このため、落下などにより過度の外力が圧電振動体に加わると、図 3 に示す一点鎖線 F のところで破断する。この破断を防止するために、本実施形態においては、支持部材 26 を、柔らかい、すなわちヤング率の低い材料で構成することにより、応力を分散するようにしている。支持部材 26 の材質は、鉛が 85 以上 95 重量パーセント（以下、wt%と記す）、好ましくは 90 wt% 以上で、残りがスズの高温ハンダである。鉛の含有量が多いと、柔らかくなり、応力を分散することができる。

ベース 10 の表面、すなわちプラグ 12 の金属環 18 およびリード線 14 の表面には、あらかじめメッキにより、厚さ約 $15\ \mu\text{m}$ のハンダ層 30 が形成されている。このハンダ層 30 は、鉛の含有量が 60 wt% 以下の低温ハンダ、好ましくは共晶点付近の組成である約 40 wt% 以下のハンダであることが好ましい。また、ハンダ層 30 は、鉛を含まないスズ、もしくはスズにわずかの銀を含むスズ合金がメッキされた層であっても良い。

何となれば鉛 40 wt% を超えるとハンダ付け性があまり良くない、軟らかく傷がつきやすい、色が黒ずんで美しくない、メッキ液の成分管理が困難になってくる等の欠点が目立ってくるからである。

支持部材のハンダ付けは次のように行う。低温ハンダ（共晶系ハンダ）メッキ済のベース 12 を治具上に並べて立てる。その上に、ちょうどインナリード 20 の頭部に当たる場所のみ穴があいていてペーストが塗布できるメタルスクリーンを重ね、高温ハンダ材の球状微粒子とロジン系フラックスとを混練して所望の粘度に調整したハンダペーストを印刷する。これにより、インナリード 20 の周囲に適量のペーストが付着する。その後、圧電振動体 24 をその電極膜がペースト滴に触れて濡れるようインナリード 20 の間隙に挿入する。この状態で全体を高温ハンダの融点を超える温度のリフロー炉を通すことにより圧電振動体 24 の電極膜とハンダの接続と支持固定が完了する。圧電振動体 24 の下端は、ほとんどベース 1 の上面に接しているので、圧電振動子の長さが短いものとなり、完成した圧電振動子の小型化を達成すると共に、ハンダボールの残存を許す間隙を作らない。

ペースト滴の量が適切に管理されていれば、支持部材 26 はインナリード 20 の側面と圧電振動体 24 の電極膜との間隙を埋め、インナリード 20 の両側方と先端部の更に上方に向かってなだらかに厚みを減じつつ圧電振動体 24 の表面に至る、概形が富士山型を形作る。本実施形態で使用する高温ハンダ材は鉛が 90 wt% 以上、残部が主にスズである合金が用いられている。少量の銀等を含んでも良い。前述のようにインナリード 20 の表面には、あらかじめ鉛が 60 wt% 以下である低温ハンダ材のハンダ層 30 がメッキにより形成されているが、その体積すなわち (インナリード 20 の表面積) $\times$ (メッキ厚) の 2 倍を超えるように、好ましくは 5 倍あるいは 10 倍以上となるように、支持部材 26 の体積を設定する。その結果、インナリード 20 にあらかじめメッキされた低温ハンダが支持部材 26 に溶け込んでも、その最終組成は十分鉛含有率が高くなる。また、支持部材 26 の体積は、インナリード 20 の体積に対してそれ以上であり、また支持部材 26 の裾野の部分はインナリード 20 の先端から圧電振動体 24 の重心 G のある方向に少なくともインナリード 20 の径、幅あるいは長さのうちの一つの寸法の少なくとも半分を超えて張出していることが望ましい。なぜなら、この張出し部分が衝撃時に適度に変形することが圧電振動体 24 を保護するからである。このように支持部材 26 を構成するハンダ材の最終的な組成を鉛含有率の高いものにしておくことによりハンダ材のヤング率を低く抑えることができる。ヤング率は鉛の成分比が多くなるほど低くなる傾向にある。

次にキャップ 28 にベース 10 を圧入封止した後の処理について説明する。

封止後熱処理として、80 ないし 140℃ で 1 日ないし 5 日間の加熱を行う。キャップ 28 の内面はベース 10 表面の軟質金属層であるハンダ層 30 に密着して機械的に気密を保つばかりでなく、キャップ 28 の成分の銅、ニッケルの一部が熱処理によりベース側の鉛およびスズと相互拡散して合金化し、その液相線を押上げ、SMD 実装時のリフローに耐え、封止をより確実なものとする。

金属環 18 にメッキされた低温ハンダは、ほとんど外周側面、すなわちキャップ 28 との圧入封止面に存在する。この部分は熔融温度に加熱されても短時間ならば性能劣化するほどのガス発生はしないし、キャップ 28 の締め付け効果により封止がゆるむこともない。リング状の内側端面にメッキされた低温ハンダが容

器内に露出するが、僅かな面積に過ぎないのでこのハンダがたとえ溶融してもガス発生が悪影響はほとんどない。インナリード20の表面にメッキされた低温ハンダは圧電振動体24の搭載時に支持部材26の高温ハンダに溶け込んでしまう。この支持部材26の表面積は大きいが実装時のリフロー温度では溶融しないのでガス発生が悪影響はほとんどない。また、搭載時高温ハンダのペーストが加熱溶融されるが、高温ハンダ材の場合低温ハンダと比較するとハンダボールやハンダ飛びの発生は極めて少ない。また、たとえハンダの飛沫があっても、すぐ冷えるので水晶振動体や水晶振動子容器内に付着し難い。

さて、圧電振動子の耐衝撃性に関するハンダ支持部の効果を検討する。まず円筒型圧電振動子の木板床上への自由落下テストにおいて、最も弱い、すなわち内部の圧電振動体が破断しやすい状態は、圧電振動体がAT板である場合その主面（板面）をほぼ水平にした姿勢、あるいは圧電振動体の短辺がほぼ水平、長辺の圧電振動子先端側がやや下向きになった姿勢で床と衝突する場合と考えられる。圧電振動体が音叉型である場合は、脚折れに対しては同様に主面（U字面）がほぼ水平か、あるいは主面が垂直で長手軸（対称軸）が水平かやや下向きの場合と考えられる。以下に矩形AT板振動体を用いた本実施形態について、支持部の緩衝効果を成分およびヤング率の異なる2種類のハンダ材を例に取り上げ、数値的に考察する。

図2ないし図4において支持部材26の形は理想化してある。実際には図示するようなシャープな台形とならず、ややまるみを帯びる。平面形状は圧電振動体24表面の蒸着電極パターンに倣うのでかなり正確である。断面形状はハンダペーストの量に応じて多少不規則な形になる。支持部材26は圧電振動体24にほぼ接するインナリード20を包含し、その圧電振動体24から離れた側面を頂上とし、水晶表面上の広いパターンの縁に向かって厚さを減じ裾野を引きつつ終わる形状となっている。圧電振動体24は主面の両側を支持部材26に挟持されている。支持部材26は、ベース10の端面から圧電振動体24の重心G（中心）に向けて力学的性質、特に剛性に従って3つの部分A、B、Cに分けられる。部分Aはインナリード20の先端までで、これは極めて剛性の高い剛体部として作用する。部分Bはハンダ裾部で、剛性は場所により変化するが部分Aよりかなり

小さくなる部分を含むので、圧電振動体 24 を板面に垂直な方向 8 に撓ませようとする衝撃等による力またはモーメントに対してある程度弾性を有して緩衝作用を有する。部分 C は圧電振動体 24 の全質量の慣性力に対して、水晶板自体が撓んでバネ性を発揮する部分である。なお、圧電振動体 24 の全質量はその重心に集中しているとみなして以後の考察を行ない、そして、水晶板の重心以遠の部分は無視する。

実施形態においてインナリード 20 の直径は約 0.3 mm、部分 A および部分 B の長さは 0.25 mm、圧電振動体 24 の重心 G までの部分 C の長さは 2.5 mm である。また、周波数は 8 MHz であり、圧電振動体 24 の全長は 6 mm、幅は $b = 1.6$ mm である。圧電振動体 24 の中心（重心 G）での最大厚は 0.212 mm、両端厚は 0.123 mm、部分 B と部分 C の境界における厚さは 0.150 mm であり、両面は中心を頂点とする 2 次曲線よりなる筒状面と仮定する。圧電振動体 24 の厚さ y を式 (1) に示す。

$$2d = y = -0.00992 \times (-3)^2 + 0.212 \text{ (mm)} \quad (1)$$

この曲線を積分して幅を掛けることにより圧電振動体 24 の体積は 1.7494 mm³ となり、したがって、水晶の密度を 2.65 mg/mm³ とすれば質量は $m = 4.636$ mg と計算される。また、圧電振動体 24 の任意断面における断面 2 次モーメント I_q を式 (2) に示す。

$$I_q = b d^3 / 12 \text{ (mm}^4\text{)} \quad (2)$$

図 4 は、実施形態の支持部材 26 と圧電振動体 24 の断面図で、図 2 の IV-IV 断面である。支持部材 26 及び圧電振動体 24 の部分 B における断面が示されている。部分 B は圧電振動体 24 の厚さの中心を通る平面を中立面 32 として曲げ変形をすると仮定する。この仮定は支持部材 26 の位置と形が中立面 32 に関して対称ではないので厳密には正確ではないが、計算の便宜上このようにした。バネ効果を発揮するハンダ厚の薄い裾野の部分では誤差が小さくなる。計算に用いた他の諸寸法は、支持部材 26 の頂上の幅 $a = 0.1$ mm、裾の幅 $c = 1$ mm、圧電振動体 24 の幅 $b = 1.6$ mm（前出）である。また、圧電振動体 24 の厚さの半分を d mm、ハンダ断面の上辺の幅を z 、その中立面からの距離を e とする。 z はハンダ部の裾野に沿って a と c の間を直線的に変化するものとする。こ

の直線は圧電振動体 24 の固定端を通る。部分 B の任意断面における圧電振動体 24 上下にある支持部材 26 の断面 2 次モーメント I_s は式 (3) で表される。

$$I_s = 2 \int_d^e y^2 z dy$$

$$= \frac{[c(3d^4 - 4d^3e + e^4) + z(3e^4 - 4e^3d + d^4)]}{[6(e-d)]} \quad (\text{mm}^4) \quad (3)$$

部分 B において $x = 0.25 \text{ mm}$ から 0.5 までの区間を 5 等分して 6 断面をとり、それぞれの断面について式 (1)、(2)、(3) によって d 、 I_q 、 I_s を求める。水晶材ヤング率を E_q 、低温ハンダ、一例としてスズ含有率 96%、鉛含有率 0.05% のハンダ材のヤング率 E_{s1} 、高温ハンダ、一例として鉛含有率 89.5%、スズ含有率 8% のヤング率 E_{s2} とする。それぞれの値は $E_q = 73.0 \text{ GPa}$ (7454 kgf/mm^2)、 $E_{s1} = 42.1 \text{ GPa}$ (4300 kgf/mm^2)、 $E_{s2} = 15.7 \text{ GPa}$ (1600 kgf/mm^2) である。これらの値を各断面の I_q 、 I_s に乗ずる。添字の意味は、 $q = \text{quartz}$ 、 $s = \text{support}$ 、 $1 = \text{低温ハンダ}$ 、 $2 = \text{高温ハンダ}$ である。さらに、圧電振動体 24 の重心位置 G に板面に垂直な仮想の荷重 $W = 9.8 \text{ N}$ (1 kgf) を掛け (水晶振動体や支持系は荷重に比例した変位をし、破断しないものとする)、その荷重により考えている断面に作用する曲げモーメントを M とする。ハンダの裾部 B の長さは 0.25 mm と短くかつ水晶振動体の重心からは遠く、約 2.5 mm 離れているので、B 部に作用する曲げモーメント M はほぼ一様であって、 $M = 24.5 \text{ N}$ ($2.5 \text{ kgf} \cdot \text{mm}$) であるとする。

こうして得られたある断面における $1/\rho = di/dx$ は、次式 (4) に示すとおりとなる。

$$1/\rho = di/dx = M / (E_q I_q + E_s I_s) \quad (4)$$

式 (4) において ρ は中立面の曲げ撓みの曲率半径 (mm)、 i は撓み角 (rad) である。したがって、部分 B の全撓み角 i_s は式 (4) を部分 B の始点 $x = 0.25$ から 0.5 まで積分すれば得られる。この積分は上記各断面における式 (4)

の値から、台形法等を用いて数値積分すればよい。計算の細かい過程の記述は省略する。結果は低温ハンダでは $i s_1 = 0.04543$ (rad)、高温ハンダは $i s_2 = 0.07356$ (rad) である。また、その撓みに起因する圧電振動体 24 の重心の変位 δ は、撓み角に重心までの距離 $l = 2.5$ mm を掛けて低温ハンダで $\delta_1 = 0.11358$ (mm)、高温ハンダで $\delta_2 = 0.18390$ (mm) と得られる。そして結局、ハンダ支持部の部分 B のバネ性として、圧電振動体 24 の重心位置に換算したバネ定数が低温ハンダで $K_{s1} = 86.3$ N/mm (8.8044 kgf/mm)、高温ハンダで $k_{s2} = 53.3$ N/mm (5.4377 kgf/mm) が得られた。高温ハンダ材のヤング率は低温ハンダ材のその約 37.2% しかなく大幅な緩衝性が期待されたが、支持系のバネ定数での比は約 61.8% に止まっている。これは表裏のハンダ材に挟まれた芯としてヤング率の高い水晶材が存在するためハンダ材の差異による効果が薄められたためである。

次に、圧電振動体自身も緩衝バネ効果を有するので、そのバネ定数を求めておく。このバネ定数 K_q は近似的に、圧電振動体重心 G に板面に垂直に加えられた荷重 $W = 9.8$ N (1 kgf) と、それによる圧電振動体本体の曲げ撓みによる重心 G の変位との比である。この曲げ撓みに寄与するのは図 2 において部分 C の部分 B の端から重心 G までの部分とみなしてよい。この部分は断面の厚さが変化する一様材質の片持ち梁で、その自由端に荷重 W が作用している。一様断面ではないので上述の部分 B の撓みを求めた場合に倣って、水晶片持ち梁の長手方向に数個の断面を等間隔に取り、各断面における荷重 W による断面 2 次モーメント I_q (式 (2) 参照)、曲げモーメント M (断面の中間の区分では一様とする) を求め、水晶のヤング率 $E_q = 73.0$ GPa (7454 kgf/mm²) とし、各区間の曲げ撓みによる重心 G の変位の寄与分を式 (4) により求める。このとき、ハンダ材の項 $E_s I_s$ を無視する。そして、それらを足し合わせると総合的な水晶振動体の部分 C による重心 G の変位 $\delta_q = 1.1948$ mm、バネ定数 $K_q = 8.20$ N/mm (0.8370 kgf/mm) が求められる。

図 5 は、圧電振動子に加わる落下衝撃による挙動を説明するモデル図である。以下の説明によって、既に求めた K_q 、 K_s 、 m と、衝撃により水晶振動体に発生する応力の大小である耐衝撃性との関係を明らかにする。図 5 において圧電振動

子のキャップ 28 の内部では、一端が容器の固定された支持バネと等価なバネ（バネ定数 K_s ）、その他端に直列に接続された水晶振動体本体と等価なバネ（バネ定数 K_q ）があり、さらにその先端に水晶振動体の重心における等価質量 m が吊られている。バネ K_s とバネ K_q との直列バネの合成バネ定数を K とすると次式（5）により求められる。

$$1/K = 1/K_q + 1/K_s; K = K_q K_s / (K_q + K_s) \quad (5)$$

このようにモデル化された圧電振動子が、前に説明した最悪の姿勢で木板 34 上に高さ h から落下するものとする。圧電振動子各部は高さの差 h に相当する位置エネルギーが、衝突直前の時点で衝突速度 v に対応する運動エネルギーに変化する。衝突と共に容器は停止するが、中身の圧電振動体等価質量 m は慣性で運動を続ける。そのため質量 m の運動エネルギーをちょうど吸収するため s だけバネ K は伸びる。もし容器が衝突で停止せずに反跳する場合は、バネが吸収すべきエネルギーが衝突速度と反跳速度の絶対値の和に対応する運動エネルギーあるいは落下高さと反跳高さの和に相当する位置エネルギーとなるが、モデルや現象の本質には変化がない。以下簡単のため容器は衝突後停止すると仮定する。バネ K が吸収すべきエネルギー U を式（6）に示す。

$$U = m g h = (1/2) m v^2 = (1/2) K s^2 \quad (6)$$

式中 g は重力加速度で、 $g = 980 \text{ cm/s}^2$ である。

図 5 のモデルによる以下の計算は、落下による圧電振動体の一定の運動エネルギーが K_q と K_s とに分散されて吸収されるが、その場合支持バネ定数 K_s がある程度小さい方が圧電振動体の等価バネ性 K_q に吸収されるエネルギーがより減少し、したがって振動体を折損させようとする応力が小さくなるということを定量的に示そうとするものである。

式（6）から、衝突速度 v と最大重心変位 s は、式（7）のように表わせる。

$$\therefore v = \sqrt{2 g h}, \quad s = \sqrt{m/K} v \quad (7)$$

また、変位 s により重心位置に発生する力を f 、その力 f による水晶の破断面（図 3 中、一点鎖線で示される面）に作用する。モーメントを M 、そのモーメントにより水晶の破断面に発生する最大応力 σ 等は式（8）のように表せる。

$$f = K s, \quad M = f l, \quad \sigma = M/Z, \quad Z = b y^2/6 \quad (8)$$

なおZはいわゆる断面係数であって、破断面において実施形態の8MHzのAT板では $y = 0.150 \text{ mm}$ であれば、 $Z = 0.006 \text{ mm}^3$ となる。 $m = 4.636 \text{ mg}$ 、 $h = 100 \text{ cm}$ の場合、本実施形態の具体的な数値を式(5)から式(8)に適用した結果を、次に示す。なお、添字1,2については前述と同様、低温ハンダと高温ハンダの区別を示す。

$$U = 4.54 \times 10^{-5} \text{ J} \quad (454.29 \text{ erg})$$

$$v = 442.7 \text{ cm/s}$$

$$K1 = 7.49 \text{ N/mm} \quad (0.76434 \text{ kgf/mm})$$

$$K2 = 7.11 \text{ N/mm} \quad (0.72535 \text{ kgf/mm})$$

$$s1 = 0.11018 \text{ mm}$$

$$s2 = 0.11311 \text{ mm}$$

$$f1 = 0.825 \text{ N} \quad (0.084215 \text{ kgf})$$

$$f2 = 0.804 \text{ N} \quad (0.082044 \text{ kgf})$$

$$M1 = 2.06 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (0.2106 \text{ kgf} \cdot \text{mm})$$

$$M2 = 2.01 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (0.2052 \text{ kgf} \cdot \text{mm})$$

$$\sigma1 = 344 \text{ MPa} \quad (35.10 \text{ kgf/mm}^2)$$

$$\sigma2 = 335 \text{ MPa} \quad (34.18 \text{ kgf/mm}^2)$$

ハンダ材の例における必要な計算結果が得られたので、その数値について以下に比較検討・考察する。まず支持部(図2中部分B)に用いたハンダ材のヤング率には本来大差があったのだが硬い水晶芯材の存在のためにその差が縮まって、 $Ks2/Ks1 = 61.8\%$ 程度の比になったことは前に述べた。上記K1とK2を比較するに、 $K2/K1 = 94.9\%$ とさらに接近した。これはモーメントの働き方や断面の厚さにもよるが一般に長い板は曲げやすく短い板は曲げ難いのであるが、水晶板本体は十分長いのでそのバネ定数Kqは小さくなった(コンプライアンスが大)が、一方Ks2、Ks1は図2中部分Bの短かさのため比較的剛性が高く数値大のため式(5)の合成バネ定数Kの差がさらに小さくなることになったからである。得られた変位s、力f、曲げモーメントM、応力 σ のそれぞれについて、材料に関する比は結局 $\sqrt{K2/K1}$ に比例または反比例するので、その差は小さくなる。水晶材の応力値が破断限界値に達すると水晶材の破断が起こればと考えられる

ので、例えば異なるハンダ材による応力 σ の比較は最終的な耐衝撃性の評価の指標となると考えるべきであるが、得られた結果より $\sigma_2/\sigma_1=97.4\%$ であり応力差は約 2.6% となった。

この計算結果に示されるように鉛含有率が高いハンダ材を用いることにより数%の応力減が達成できる。市場の要求である落下高さ 1 m あるいはそれよりやや高い場合の水晶曲げ応力の計算値は、実際に水晶振動体に静荷重を掛けた破断実験によって得られた曲げ応力値とかなりよい一致を見ている。これは上に述べてきた衝撃の力学的考察の妥当性をも示すものである。このように、圧電振動子の耐衝撃性が市場の最高ニーズぎりぎりである場合には、たとえ数%の改善といえども製品の信頼性への寄与は大きく、その産業的な価値は高い。

当社での実験によれば、低温ハンダ使用の場合の耐衝撃性が落下高さ 75 cm 程度であったものが高温ハンダ使用で 1.2 m から 1.5 m までも大幅に改善された。鉛含有率の高いハンダ材の使用で耐衝撃性を大きく改善できると推測できる理由が、前記計算とはまた別に少なくとも2つは存在するのでそれを説明する。

第1にはハンダ材の応力-歪特性に基づく効果である。ハンダ材で試験片を作成して、引張試験を行うと、引張応力の増分は伸び歪にほとんど比例せずに歪の増加と共に単調に減少し、対数曲線の正の部分に似た形状の曲線を描く。この線形状は、ハンダ材のヤング率が歪が大きいほど低い値になることと、未確認ではあるが繰返し変形に関してはヒステリシスがあり、内部損失が大きい材料であるだろうということを示している。前述した計算で用いたヤング率は変形の極く初期の曲線の傾向から求めた値であるし、前述の計算からハンダ支持部(B部)に 1 m 落下で生じうる最大歪みである 0.1% もの歪値にあつては平均ヤング率が初期値の半分以下にも減少することがわかった。その減少傾向は低温ハンダ(スズに近いもの)も高温ハンダもよく似ており、歪値の高い場合でもやはり高温ハンダ材の平均ヤング率の方がかなり低い。

第2は応力集中効果の差である。図6は本来の実施の形態における支持部材26の裾部の縁とその付近の圧電振動体24の縦断面図で、曲げモーメント M により、裾部の縁位置での圧電振動体24の長手軸に直角な断面36における中立面32の上下に発生する応力分布38を図示している。実際に生産される圧電振動

子の中には、図6に示すように支持部材26の縁部が裾を引かずに蒲鉾型に急傾斜で終わっているものが多い。その場合隅部40における圧電振動体24の表面付近は曲げられたとき支持部材26の剛性のために応力集中を生じ、そのため断面36上の応力は、もし支持部材26がなければ直線で示される応力分布42で示されるように中立面32からの距離に比例した直線的な増加をするべきところ、実際は曲線状の応力分布44で示されるように表面での最大応力がより増大するような分布になると推測される。機械工学便覧によると、回転しながら曲げを受ける段付き丸棒の疲れ限度（無限回の繰返し荷重変化に対して疲労破壊を起さない最大限の応力値）は、隅肉部の応力集中のため段付き丸棒の細い部分と直径が等しい平滑な丸棒の疲れ限度より低下し、その低下の倍率は1.0を超え、隅肉部のアール（曲率半径）が小さく鋭い場合には2.5にも達成するとの記載がある。これは曲げを受けると応力の最大値が隅肉部では実際にその倍率で増大しているからであり、繰返しのない1回の荷重でも同様であるといえよう。この記載から図6の応力分布が類推される。

しかし、本実施例では材質的に不連続で、ハンダと水晶という異なった材質で段付き形状が構成されている点が異なり、硬い水晶を軟かいハンダが包んでいるので、倍率は便覧に記載された値よりもっと小さくなるであろう。想像を加えて言えば、一様材質での倍率2.5にたとえばさらにハンダ材と水晶材のヤング率の比 E_s/E_q （低温ハンダでは0.577、高温ハンダでは0.215）などが掛かるかも知れない。ただし倍率が1を下回ることはないであろう。このような仮説の下で、前記倍率2.5に低温ハンダのヤング率比を掛けると倍率は1.44となりかなりの応力の増大はあることになる。しかし、高温ハンダを用いると倍率は1（積の値は0.538<1となるので倍率1とする）となり応力集中は全くなくなる。すなわち水晶材本来の強度がフルに発揮されるので格段の効果があることになる。

これらの知見を前述の計算における考え方に加味すると、衝撃の過程で支持部の変形の進行と共に低高温いずれのハンダ材の場合でもそのヤング率が減少して、前記計算値よりも大きく変形し等価バネ定数 K_s は小さくなり、水晶の応力は減じる。しかし、鉛含有率の高いハンダ材においては、支持部の変形量にしたがって

ハンダ材の歪がより大きいのでヤング率の低下がより進行し最終的な変形が一層増加するであろうから、低温ハンダ材の場合との水晶応力比は前の計算結果である2.6%よりも拡大していることが期待される。さらに、このヤング率低減に伴う効果の他に、上記のハンダ材の弾性ヒステリシス、すなわち内部損失が衝撃によって生起される振動エネルギーの一部を熱に変換して放散することによる緩衝作用も併存しているであろう。そのハンダ材による量的な差異は現在明らかではないが、塑性変形の容易な材料として知られている鉛含有率の高いハンダ材の方が効果大なのではないかと想像される。

本発明に使用されるハンダ材の成分・特性について補足する。図7はハンダ材中の鉛の重量成分比と温度変化に対する強度を示すグラフ、図8はスズ-鉛合金の2元状態図である。圧電振動子のベースやリード線にあらかじめメッキしておく低温ハンダ材としては、融点（図8の液相線の位置）が純スズの融点232℃程度以下となる成分比すなわち鉛の重量比が0から60%の範囲が適当である。ただし鉛の重量比が40から80%の合金にはやや使い難さがある。また、圧電振動体の支持に使用する高温ハンダ材中の鉛の成分比は最高は鉛100%までが選択可能範囲であるが、インナリードにメッキされた低温ハンダ材が搭載時に溶融して高ハンダ材と混合することを考慮し、冷却後の組成が約85%から97%になるように選ばれる。下限値の85%は図8の固相線が純スズの融点を下回らない値であり、また上限値97%は図7において封止完了後の電圧振動体の支持部分が加熱されてもある程度の強度を維持するように定めた。

図9には、本発明の他の実施形態の要部が示されている。本実施形態の説明において、前述の実施形態と同様の構成には同一の符号を付し、その説明を省略する。本実施形態において、特徴的なことは、キャップ28にも低温ハンダ材のハンダ層46が設けられている点である。このハンダ層46は、キャップ28の少なくとも開放端部の内面に設けられる。その他の構成は、前述の実施形態と同様である。

金属環18にメッキされた低温ハンダとキャップ28内面にメッキされた低温ハンダとは圧入によって互いに圧接され協同して気密封止を行う。ハンダからなる軟質金属層の総厚はたとえば15 μ m程度であるが、それをベース10とキャ

ップ28とにたとえば半々に振り分けることができる。すなわち、ベース10への低温ハンダのメッキ厚さは数 μm あればよい。この結果、インナリード20へのメッキ厚さも同程度に薄くなる。よって、支持部材の高温ハンダの支持部材26にはインナリードにメッキされていた低温ハンダが溶け込み、搭載後の支持部材26中の鉛の成分比を下げるが、その低下の程度が少ない。すなわち、支持部材26のヤング率の上昇が低く抑えられる。ただし圧電振動子の回路基板への実装時に低温ハンダの溶融点を上回る加熱を圧電振動子全体に対して行くと、封止の圧接面は締めつけ効果でたとえ溶けても気密を維持するが、キャップ内面に残された低温ハンダが溶融し蒸気を発生し圧電振動子の特性を害するので、本発明の構成において全体の耐熱性には一定の限界がある。しかしアウトリードの加熱に対しては、熱伝導の終点が高温ハンダなのでかなり強い。

図10には、本発明のさらに他の実施形態の要部が示されている。本実施形態の説明において、前述の実施形態と同様の構成には同一の符号を付し、その説明を省略する。本実施形態において、特徴的なことは、ベースにメッキによって2つのハンダ層が設けられている点である。その他の構成については、図1などに示した実施形態のものと同様である。

金属環18の外周部と、リード線14の露出部分、すなわちインナリード20+アウトリード22には、高温ハンダ材からなる第1のハンダ層50と低温ハンダ材からなる第2のハンダ層52が設けられている。高温ハンダ材は、前述のように鉛含有率が60wt%を超えるハンダ材であり、本実施形態の場合、90wt%以上のハンダ材が第1のハンダ層50を形成している。また、第1のハンダ層50は、メッキにより約9-15 μm の厚さに形成されている。第1のハンダ層50のさらに上に、低温ハンダ材からなる厚さ約3-5 μm の第2のハンダ層52が形成されている。低温ハンダ材は、前述のように鉛含有率60wt%以下のハンダ材であり、本実施形態では、共晶点付近の組成である約40wt%以下のものを用いている。この組成のものを選択したのは、鉛含有率が40wt%を超えると、ハンダ付け性が悪くなり、柔らかく傷つきやすく、また色が黒ずんでいて美しくない、さらにメッキ液の成分管理を厳しく行う必要があるなどの理由からである。

なお、リード線14および金属環18の表面には、前述の2つのハンダ層50、

52を形成する前に、あらかじめ2-5 μ mの銅メッキを行うことも好適である。これは、リード線14や金属環18の材質であるコパールとハンダ材との密着性を良くするためである。さらに、第1のハンダ層50を形成した後、この表面にニッケルや銅や金など鉛より融点の高い金属を中間層として1 μ m程度メッキしておくことも好適である。これは、第1のハンダ層50から第2のハンダ層52に鉛が拡散することを防止するためである。

圧電振動体は、前述の実施形態と同様にハンダ付けによりインナリードに固定される。ハンダ付けが行われるリフロー炉の温度は、たとえば300℃であり、このときインナリードにメッキされていた高温ハンダも溶融し薄いニッケル膜を破って、上層の低温ハンダも共にマウント用の高温ハンダに溶け込み一体となって冷却し固まる。実験によれば支持部材の最終成分は鉛77%でも耐熱性の向上が認められるが、本来の高温ハンダ材（例えば鉛90、スズ8、銀2wt%）の組成に近づけることが、耐熱性、対衝撃性双方の目的を達成するために望ましい。インナリードの第1のハンダ層50の成分比のために、ハンダ塊の最終組成は鉛が薄まることが少なく前記目的を達成しやすい。

なお、図10に示したベースは、電子素子の封止用部品である気密端子として極めて広い用途がある。すなわち、高温ハンダ材からなる第1のハンダ層50によって、高い耐熱性が要求される場合でも使用することができ、もちろん一般の用途にも使用できる。

以上の各実施形態に対し、圧電振動体は他の形式、例えば音叉型圧電振動体であっても実質的には変りはない。また内部構造によっては圧電振動体を両持ちとすることもありうる。気密端子のリード線は円形断面に限定する必要はない。圧電振動体はインナリードで挟む必要はなく、圧電振動体の片面に並べてハンダ支持してもよい。この場合は、支持部材が圧電振動体の片面にまとまるのでそのコンプライアンスを下げることができ、高温ハンダ使用の効果がより顕著になるであろう。また、コパール等の材料よりなるベースにあらかじめハンダメッキをする際、銅などの下地メッキを行っておくことも含まれる。また、キャップの材質は洋白の他、より安価な、鉄、鉄合金、アルミニウム、アルミ合金、銅、SUS材、銅-ニッケル-錫合金（これらにニッケル等のメッキを施したものも含む）

などが考えられる。

以上、各実施形態によれば、圧電振動体を支持する支持部材の体積が大きいので支持部材の成分は十分に鉛含有率が高いものとなり、SMD実装も可能な耐熱性を与えられる。また、支持部材の鉛含有率が高いことによって低ヤング率とその非線型低減効果、内部摩擦、応力集中緩和等の総合作用によって大きな緩衝効果を得て、実験データで得られていたように、高度な耐衝撃性が得られた。これは緩衝用に接着剤を用いた従来技術におけるマウントの位置ズレを解消しC I

(共振時の等価抵抗値)やC o (電極間容量値)のバラツキを減少させた。また、他の従来例のように緩衝用の中間部品をインナリードに付加する必要もなくなり、構造の複雑化や組立コストの上昇、圧電振動子の全長の増加、ハンダボールの残留等の危険をすべて回避することができた。また、高温ハンダによる支持の故に、ハンダの飛散や付着がなくなった。

また、ベース(気密端子)には下層に高温ハンダ材、上層に低温ハンダ材の2重メッキを行った場合、そのままでアウトリードによる圧電振動子のハンダ付けの作業性を良好に維持できた。従来例のように鉛含有率の高いハンダメッキの除去加工も不要とし、表面に材料費の嵩む銀メッキを(薄く)行う従来例におけるリード線の曲げ加工や再実装が困難になる欠点を除くことができた。また、インナリードのメッキのハンダ塊への溶け込みによるハンダ塊の鉛成分比を一層改善することができた。なお、2層メッキはメッキ浴槽を同じ工程内で直列に並べるだけ実施できるのでほとんどコストアップにはならない。

更に内部にハンダ等の低融点の軟質金属をメッキしない、あるいはメッキを施さないキャップを用いる場合、加熱時に内部からの金属蒸気の発生を実質的になくし、SMD実装に適する耐熱性を有する圧電振動子を実現した。

請求の範囲

(1) 圧電振動体と、

一端のみ開放した略筒形状を有し、前記圧電振動体を内部に納めるキャップと、
前記キャップの開放端を封止し、前記キャップと共に気密容器を形成する気密端子であって、当該気密端子は、前記キャップの開放端の内径とほぼ同一の断面形状を有し、鉛の含有率が60重量パーセント以下のハンダ材またはスズもしくはスズ合金からなる第1の層を前記キャップの開放端内径と接触する部分の表面に有するプラグと、前記プラグを貫通し、鉛の含有率が60重量パーセント以下のハンダ材またはスズもしくはスズ合金からなる第2の層をプラグより露出する部分の表面に有する複数のリード線を有する、気密端子と、

鉛の含有率が85以上、98重量パーセント以下のハンダ材にて形成され、前記圧電振動体を、前記リード線の気密容器内部に突出した部分であるインナリードに接合固定する支持部材と、
を有する圧電振動子。

(2) 請求の範囲(1)に記載の圧電振動子において、前記プラグの、前記第1の層の下には、鉛の含有率が60重量パーセントを超えるハンダ材からなる第3の層が形成されている、圧電振動子。

(3) 請求の範囲(2)に記載の圧電振動子において、前記リードの第2の層の下には、鉛の含有率が60重量パーセントを超えるハンダ材からなる第4の層が形成されている、圧電振動子。

(4) 圧電振動体と、

一端のみ開放した略筒形状を有し、前記圧電振動体を内部に納めるキャップと、
前記キャップの開放端を封止し、前記キャップと共に気密容器を形成する気密端子であって、当該気密端子は、前記キャップの開放端の内径とほぼ同一の断面形状を有し、鉛の含有率が60重量パーセントを超えるハンダ材からなる層を前記キャップの開放端内径と接触する部分に有するプラグと、前記プラグを貫通し、鉛の含有率が60重量パーセント以下のハンダ材またはスズもしくはスズ合金からなる層をプラグより露出する部分の表面に有する複数のリード線を有する、気



密端子と、

鉛の含有率が 85 以上、98 重量パーセント以下のハンダ材にて形成され、前記圧電振動体を、前記リード線の気密容器内部に突出した部分であるインナリードに接合固定する支持部材と、
を有する圧電振動子。

(5) 請求の範囲(1)に記載の圧電振動子において、前記支持部材は、前記インナリードをほぼ覆い、当該インナリードの端より前記圧電振動体の重心方向に向けて、当該インナリードの直径の半分を超える長さの張り出し部を有している、圧電振動子。

(6) 請求の範囲(4)に記載の圧電振動子において、前記支持部材は、前記インナリードをほぼ覆い、当該インナリードの端より前記圧電振動体の重心方向に向けて、当該インナリードの直径の半分を超える長さの張り出し部を有している、圧電振動子。

(7) 請求の範囲(1)に記載の圧電振動子において、前記キャップは、銅・ニッケル合金で形成されている、圧電振動子。

(8) 請求の範囲(4)に記載の圧電振動子において、前記キャップは、銅・ニッケル合金で形成されている、圧電振動子。

(9) 請求の範囲(1)に記載の圧電振動子において、前記キャップは、その表面にニッケルにより形成されるニッケル層を有する、圧電振動子。

(10) 請求の範囲(4)に記載の圧電振動子において、前記キャップは、その表面にニッケルにより形成されるニッケル層を有する、圧電振動子。

(11) 一端のみ開放した略筒形状を有し、前記電子素子を内部に納めるキャップの開放端を封止する気密端子であって、

当該気密端子は、前記キャップの開放端の内径とほぼ同一の断面形状を有し、鉛の含有率が 60 重量パーセント以下のハンダ材またはスズもしくはスズ合金からなる第 1 の層を前記キャップの開放端内径と接触する部分の表面に有するプラグと、前記プラグを貫通し、鉛の含有率が 60 重量パーセント以下のハンダ材またはスズもしくはスズ合金からなる第 2 の層をプラグより露出する部分の表面に有する複数のリード線を有し、



前記プラグの、前記第1の層の下には、鉛の含有率が60重量パーセントを超えるハンダ材からなる第3の層が形成され、前記リード線の、前記第2の層の下には、鉛の含有率が60重量パーセントを超えるハンダ材からなる第4の層が形成されている、

気密端子。

(12) キャップと気密端子により形成される気密容器内部に圧電振動体を収納した圧電振動子を製造する方法であって、

前記気密端子の有するリード線と圧電振動体の有する電極膜との間に、鉛の含有率が88重量パーセント以上のハンダ材を供給し、前記リードと前記電極膜を結合することにより、気密端子に圧電振動体を固定する工程と、

前記圧電振動体を前記キャップに納め、キャップを気密端子により封止することにより、圧電振動体を気密容器内部に密封して収納する工程と、
を有する、圧電振動子の製造方法。

(13) 請求の範囲(12)に記載の圧電振動子の製造方法であって、前記圧電振動体固定工程の前に、前記リード線の表面に鉛の含有率が60重量パーセント以下のハンダ材をメッキする工程を含む、圧電振動子の製造方法。

(14) 請求の範囲(12)に記載の圧電振動子の製造方法であって、前記圧電振動体固定工程の前に、

前記気密端子に鉛の含有率が60重量パーセントを超えるハンダ材をメッキする第1のメッキ工程と、

前記第1のメッキ工程の後に、前記気密端子に鉛の含有率が60重量パーセント以下のハンダ材をメッキする第2のメッキ工程と、
を含む、圧電振動子の製造方法。

(15) 請求の範囲(12)に記載の圧電振動子の製造方法であって、前記圧電振動体固定工程においては、前記リード線と前記電極膜を結合するハンダ材が、鉛の含有率が85以上98重量パーセント以下となるような量のハンダ材を供給する、圧電振動子の製造方法。

(16) 請求の範囲(12)に記載の圧電振動子の製造方法であって、前記圧電振動体固定工程においては、前記リード線と前記電極膜を結合するハンダ材の



体積が、前記リード線の気密容器内部となる部分にメッキされたハンダ材の体積の2倍を超えている、圧電振動子の製造方法。

(17) 請求の範囲(12)に記載の圧電振動子の製造方法であって、前記圧電振動体固定工程においては、前記リード線と前記電極膜を結合するハンダ材の体積が、前記リード線の気密容器内部となる部分の体積以上とする、圧電振動子の製造方法。

(18) 請求の範囲(12)に記載の圧電振動子の製造方法であって、前記圧電振動体固定工程の後、80以上140℃以下で、1以上5日以下の熱処理工程を含む、圧電振動子の製造方法。

