明細書

# ツールチップおよびそのツールチップを備えたボンディングツールならびにそのボンディングツールの制御方法

## 技術分野

この発明は、ツールチップおよびそのツールチップを備えたボンディングツールならびにそのボンディングツールの制御方法に関し、より特定的には、半導体チップの電極をリード線または外部端子と接合させる工程において用いられるツールチップおよびそのツールチップを備えたボンディングツールならびにそのボンディングツールの制御方法の構造の改良に関するものである。

## 背景技術

従来、半導体チップの実装においては、半導体チップに形成された電極と外部端子またはリード線とを接続する工程が必要である。この工程において、半導体チップの電極と外部端子などとは、金、錫などのろう材、異方性導電膜または導電性の接着剤などの樹脂を介在して接続される。

このとき、半導体チップを外部端子などの所定の位置に位置決めし、押しつけ、さらに金、錫などのろう材または異方性導電膜を、直接的に加熱または半導体チップを介在して間接的に加熱するために、ツールチップが用いられる。

ツールチップには、半導体チップの接合仕様に応じて、必要とする温度に常時加熱するコンスタントヒート方式と、必要なときだけ瞬間的に加熱するパルスヒート方式との２種類がある。

いずれの加熱方式においても、半導体チップの実装の高密度化に伴い、ツールチップの先端の押圧面に高い精度が要求されている。この要求から、加熱時の押圧面の温度分布が均一であり、また押圧面の平坦度が良好で、さらに長時間にわたってその温度分布の均一および平坦度を維持することができることから、ダイヤモンド膜をツールチップの先端の押圧面に貼りつける技術が用いられている。

しかしながら、パルスヒート方式の場合、先端の押圧面に貼りつけられたダイヤモンド膜の温度上昇は、工具基材からの熱伝達によるため、ダイヤモンド膜を

貼りつけないニクロム、モリブデン、インコネルおよびステンレスなどの金属単体からなるツールチップに比べ、熱応答性が悪いという問題がある。

すなわち、電流パルスに応答して、ツールチップの先端の押圧面を所定の温度にまで加熱および冷却するために、金属単体からなるツールチップに比べ、ダイヤモンド膜を用いたツールチップは長い時間を必要とする。このため、1回の半導体チップのボンディングに要する時間を短縮することが困難である。

この点に関し、特開平5－304191号公報や、特開平5－226421号公報において、ツールチップの先端の押圧面に、気相合成法により合成されたダイヤモンド膜に導電性を付与し、ダイヤモンド膜自身を発熱させる方法が提案され、熱応答性に関しての問題が解決されている。

また、米国特許第5，488，350においても、気相合成法により合成された導電性ダイヤモンド膜を発熱体として用いることが提案されている。

しかしながら、上記特開平5－304191号公報に開示された技術によれば、ダイヤモンド膜が、熱膨張率の異なる金属製の工具基体にろう付けされる構造が用いられている。したがって、昇温時に熱膨張の差によりダイヤモンド膜に歪みが生じ、ツールチップの先端の押圧面の平坦性が確保されにくいという問題がある。

また、上記特開平5－226421号公報に開示された技術によれば、ツールチップ自体の使用材料がダイヤモンドとなるため、ツールチップのコストが高くなるとともに、その取扱時に破損しやすいという問題がある。

さらに、米国特許5，488，350に開示された技術によれば、発熱体の温度分布を均一にするため、導電性ダイヤモンド膜をヒータ線のようにパターン状に形成、すなわち選択的に導電性ダイヤモンド膜を成長させている。したがって、基板や絶縁性ダイヤモンドの上にスパッタリング法などを用いて、$SiO_2$などを導電性ダイヤモンド膜のパターンとは逆パターン形状に形成し、これをマスクとして導電性ダイヤモンド膜を形成している。しかし、$SiO_2$の膜厚を高精度に制御し形成する必要がある。また、導電性ダイヤモンド膜を形成した後$SiO_2$を溶解除去するなどの工程を必要となり、ツールチップ製造コストが高くなるという問題がある。

発明の開示

この発明の目的は、このような問題点を解決するためになされたもので、ツールチップの先端の平坦面の平坦性を高精度に維持し、かつ、取扱および設備への着脱が容易であり、さらに発熱部の製造方法がより簡便なツールチップおよびそのツールチップを備えたボンディングツールならびにそのボンディングツールの制御方法を提供することにある。

この発明に基づいた１つの局面におけるツールチップは、圧着のための先端部に、気相合成された導電性多結晶ダイヤモンド膜を用いるツールチップにおいて、ダイヤモンド多結晶体、Ｓｉ、ＳｉＣ、ＡｌＮ、$Si_3N_4$および単結晶ダイヤモンドからなるグループから選択された少なくとも１つの材料を主成分とする基体と、上記基体上の、圧着に用いられる面、この面と反対の面またはこれらの面と交わる２面以上の側面に被覆され、比抵抗が１×１０$^{-4}$Ωｃｍ以上１×１０$^{3}$Ωｃｍ未満、膜厚が０．１μｍ以上５００μｍ以下の範囲である導電性多結晶ダイヤモンド膜と、上記導電性多結晶ダイヤモンド膜の上に、上記導電性多結晶ダイヤモンド膜に電力を導入するために被覆された金属膜とを有している。

導電性多結晶ダイヤモンド膜において、膜厚が０．１μｍ以下の場合は、膜厚を均一な連続膜として形成することが困難である。また、局所的な発熱量は導電性多結晶ダイヤモンドの膜厚に依存するため、膜厚が０．１μｍ以下では、面内温度分布が急激に悪くなる。

一方、膜厚が５００μｍ以上では、ツールチップの熱容量が大きくなるため、昇温に要する電力量が多くなる。その結果、ツールチップの昇温特性、冷却特性が劣ってしまう。また、導電性多結晶ダイヤモンド膜を形成するためのコストが高くなるとともに、導電性多結晶ダイヤモンド膜の応力のため、素材の反りが大きくなってしまう。さらに、導電性多結晶ダイヤモンド膜の表面の平坦性を出すための研磨時間が急激に長くなり、導電性多結晶ダイヤモンド膜の表面の加工費が高くなってしまう。

以上の理由から、導電性多結晶ダイヤモンドの膜厚を０．１μｍ以上５００μｍ以下とすることによって、平坦性および昇温冷却特性に優れ、また成膜コストの低い導電性多結晶ダイヤモンド膜を得ることができる。

導電性多結晶ダイヤモンド膜の比抵抗については、導電性多結晶ダイヤモンド膜の比抵抗が大きいと金属膜との接触抵抗が大きくなり、通電時にスパークを発生しやすくなる。したがって、これを回避するためには、$1\times10^{3}\Omega cm$以下の比抵抗が必要である。また、不純物添加量が$1\times10^{-4}\Omega cm$以下になると導電性多結晶ダイヤモンド膜の劣化を招き、熱電導率、耐摩耗性などの特性を損なうことになる。

一方、ツールチップにおいて、速やかに所定の温度に上昇させるためには、１００Ｖ－２０Ａ容量の電源を用いて６００～１ＫＷ程度の電力をツールチップに印加することが必要である。したがって、上記導電性多結晶ダイヤモンドの膜厚に鑑みて、比抵抗は、$1\times10^{-4}\Omega cm$以上$1\times10^{1}\Omega cm$以下にあることが好ましい。

また、導電性多結晶ダイヤモンド膜を、たとえばホウ素の添加量が異なる２種以上の膜から構成し、上記基体側にホウ素の添加量が高い導電性多結晶ダイヤモンド膜を形成し、この膜の上にホウ素の添加量が低い導電性多結晶ダイヤモンド膜を形成した場合、上層のホウ素の添加量が低い導電性多結晶ダイヤモンド膜は研磨による数$\mu m$の膜厚変化で比抵抗値の変化が０．１Ω未満である必要がある。その結果、導電性多結晶ダイヤモンドの比抵抗は、$1\times10^{1}\Omega cm$以上$1\times10^{3}\Omega cm$未満であることが好ましい。

以上の理由から、導電性多結晶ダイヤモンド膜においては、$1\times10^{-4}\Omega cm$以上$1\times10^{3}\Omega cm$未満の比抵抗を有することが最も好ましい。

このように上記膜厚および比抵抗を有する導電性多結晶ダイヤモンド膜を用いることにより、この導電性多結晶ダイヤモンド膜自体が抵抗発熱することになる。また、この導電性多結晶ダイヤモンド膜は、熱電導率に優れ、圧着に用いられる面は均一な温度分布が得られる。さらに、半導体チップと接触する導電性多結晶ダイヤモンド膜の部分だけの発熱となるため、熱容量が小さくまた熱応答性が速くなる。

また、必要な部分だけの加熱ですむため、周囲に熱による影響を及ぼしにくい。さらに、従来のツールチップのように基体へのろう付け構造となっていないため、昇温時に導電性多結晶ダイヤモンド膜の反りが発生することもない。

また、上記局面において、好ましくは、上記圧着に用いられる上記面から上記面の反対側の面にまで少なくとも1個以上の吸着用貫通孔が設けられている。

このように、圧着に用いられる面に吸着用貫通孔を設けることにより、半導体チップの搬送が容易となる。さらに、ツールチップの先端の押圧面、すなわち圧着に用いられる面とその反対側の面とは互いに平行になるように設けられるため、外部設備への取付時に、平行度の調整を容易に行なうことが可能となる。

また、上記局面において、上記導電性多結晶ダイヤモンド膜は、不純物の添加により形成された膜であり、この不純物にはホウ素が用いられている。また一方、上記導電性多結晶ダイヤモンド膜は、欠陥の導入により形成された膜であり、この欠陥は、ｓｐ２構造を有している。

このような導電性多結晶ダイヤモンド膜を用いることによって、上述した導電性多結晶ダイヤモンド膜を実現させることが可能となる。

また、上記局面において好ましくは、上記導電性ダイヤモンド膜の面粗さが０．１μｍ以上１０μｍ以下となるように設けられている。このように、面粗さを０．１μｍ以上１０μｍ以下とすることで、本発明のツールチップにおいては、ツールチップの裏面の導体膜電極と外部に設けられる給電ホルダの金属電極とを真空吸着により接触させ、通電させている。このため、ツールチップと金属電極との接触面積を増加し接触状態を向上させることで、微小なスパークの発生も抑制することができる。また、ツールチップから給電部材への熱伝達が改善され冷却が速くなる。

また、上記局面において、好ましくは、押圧面の最表層に、比抵抗が$10^{5}\Omega$ｃｍ以上、膜厚が１μｍ以上１０００μｍ以下である多結晶ダイヤモンド膜をさらに有している。これにより、実装する半導体チップへの導電、半導体チップの絶縁破壊を未然に防止することが可能となる。

また、上記局面において、好ましくは、上記基体の圧着のために用いられる上記面と、この面の反対の面とは、互いに平行であり、かつ、その平行度が、上記圧着のために用いられる上記面を基準として、０．１ｎｍ以内となるように設けられている。これにより、容易、かつ、高精度に半導体チップの実装を行なうことが可能となる。

また、上記局面において好ましくは、上記導電性多結晶ダイヤモンド膜に、１００ｐｐｍ以上５００００ｐｐｍ以下のホウ素が添加されている。ここで、ホウ素添加量が５００００ｐｐｍ以上になると、ダイヤモンドの特性である熱電導率が劣化する。さらに、添加量を均一に制御し合成することが困難となる。発熱量はホウ素の添加量に依存するためホウ素添加量が不均一であるとツールチップ面内の温度分布が悪くなる。また、ホウ素添加量が１００ｐｐｍ以下では、必要な比抵抗値が得られない。

以上の理由から、１００ｐｐｍ以上５００００ｐｐｍ以下のホウ素を添加することにより、上述した最も好ましい状態における導電性多結晶ダイヤモンド膜を得ることが可能となる。

また、上記局面において、好ましくは、上記導電性多結晶ダイヤモンド膜がｓｐ２構造を有する欠陥を導入して形成されており、ラマンスペクトルのｓｐ２およびｓｐ３ピークの最大値の比（ｓｐ２／ｓｐ３）が０．５以上１０以下となるように設けられている。

ここで、導電性多結晶ダイヤモンド膜へのｓｐ２構造の欠陥の導入量が増加すれば、比抵抗値が小さくなる。導電性多結晶ダイヤモンド膜に導入されたｓｐ２構造の欠陥密度を定量的に知ることは困難であるが、ラマンスペクトルにより、ダイヤモンドのｓｐ３構造に起因する１３３３ｃｍ$^{-1}$のスペクトルのピーク強度と、ｓｐ２構造に起因する１５４０ｃｍ$^{-1}$付近のブロードなスペクトルのピーク強度の比から定性的にｓｐ２構造の欠陥密度を知ることが可能である。したがって、このピーク強度比が０．５未満であると欠陥密度が小さいためダイヤモンドの膜質が良好であるが好ましい比抵抗が得られず、１０を超えるとダイヤモンドの膜質が劣化し求める性能が得られない。

以上の理由により、ラマンスペクトルのｓｐ２およびｓｐ３ピークの最大値の比（ｓｐ２／ｓｐ３）が０．５以上１０以下とすることにより、より好ましい状態における導電性多結晶ダイヤモンド膜が得られる。

また、上記局面において好ましくは、上記導電性多結晶ダイヤモンド膜は２層以上の膜を含み、上記最表面層は、Ａｕ、Ｐｔ、Ａｇ、Ｎｉ、ＴａおよびＣｒからなるグループから選択された少なくとも１つの金属材料、または、ＡｇＰｄ合

金、Ｐｔ－Ｉｒ合金、または、ＡｇとＧｄ、Ｉｎ、Ｓｎ、ＺｎおよびＣｕからなるグループから選択された少なくとも１種類以上の元素とを含む酸化物、または、ＡｇおよびＷを含む金属炭化物のいずれかである。

このように、上述した金属膜を最表面層に用いることで、高温での耐酸化性が強く、耐溶着性、耐摩耗性および絶縁回復性に優れた導電性多結晶ダイヤモンド膜を得ることができる。

また上記局面において、好ましくは、上記導電性多結晶ダイヤモンド膜上の圧着のために用いられる面の有効エリア外周部に電力を供給するため、電力の供給をツールチップの外周部に４箇所以上の独立した金属層をさらに設けている。これにより、ツールチップの面内温度分布をより均一にすることが可能となる。

この発明に基づいたボンディングツールにおいては、圧着のための先端部に、気相合成された多結晶ダイヤモンドを用いてなるボンディングツールにおいて、ダイヤモンド多結晶体、Ｓｉ、ＳｉＣ、ＡｌＮ、$Si_3N_4$および単結晶ダイヤモンドからなるグループから選択された少なくとも１つの材料を主成分とする基体と、上記基体上の、圧着に用いられる面、この面と反対の面またはこれらの面と交わる２面以上の側面に被覆された気相合成導電性多結晶ダイヤモンド膜および上記気相合成導電性多結晶ダイヤモンド膜の上に、上記気相合成導電性多結晶ダイヤモンド膜に電力を供給するために被覆された金属膜を有するツールチップと、このツールチップに給電するための金属電極およびこの金属電極を支持するセラミックベースを有する給電ホルダとを備えている。

このように、ツールチップへ給電するための給電ホルダを備えることにより、ボンディングツールを装着するための外部装置に変更を加えることなく、本発明におけるボンディングツールを装着することが可能となる。

また、上記局面において好ましくは、上記給電ホルダは、上記ツールチップを吸着するための真空吸着溝と、この真空吸着溝に通ずる少なくとも１つの吸着用貫通孔と、前記ツールチップに電力を供給するための、少なくとも２箇所以上に設けられた導体膜とを有し、上記セラミックベースの上記ツールチップと接触する面の平坦度が３μｍ未満である絶縁性セラミックベースと、熱電導性が低く、かつ絶縁性を有するセラミックベースと、表面に酸化を防止するための金属膜を

被覆した金属ベースとを有している。この構成よりなる給電ホルダを用いることにより、確実に上記ツールチップを保持しつつ、上記ツールチップに対して安定した電力を供給することが可能となり、信頼性の高いボンディングツールを提供することが可能となる。

また、上記局面において好ましくは、上記セラミックベース上の導体膜が２層以上の膜を含み、最表面層が、Ａｕ、Ｐｔ、Ａｇ、Ｎｉ、ＴａおよびＣｒからなるグループから選択される少なくとも１つの金属、または、ＡｇＰｄ合金、Ｐｔ－Ｉｒ合金、または、ＡｇとＣｄ、Ｉｎ、Ｓｎ、Ｚｎ、およびＣｕのグループから選択された少なくとも１種類以上の元素とを含む酸化物、または、ＡｇおよびＷを含む金属炭化物のいずれかが用いられている。このように、導体膜に上述した金属を用いることにより、高融点で高温での耐酸化性が強く、耐溶着性、耐摩耗性および絶縁回復性に優れた給電ホルダを有するボンディングツールを提供することが可能となる。

この発明に基づいたボンディングツールの制御方法においては、先端面に気相合成導電性多結晶ダイヤモンド膜が形成されたツールチップを有するボンディングツールの制御方法であって、上記気相合成導電性多結晶ダイヤモンド膜の電気抵抗の変化を測定し、ボンディングツールの温度制御を行なっている。

このように、気相合成導電性多結晶ダイヤモンド膜の電気抵抗を測定することにより、気相合成多結晶ダイヤモンド膜に加わる電圧、電流値を測定し、抵抗値を求めることによって、たとえばボンディングツールに設けられる給電ホルダへの温度測定機構の組込みが不要となり、ボンディングツールの小型化およびボンディングツールの高い温度応答性による良好な昇温特性を得ることが可能となる。

図面の簡単な説明

図１Ａ～図１Ｃは、本願発明におけるツールチップの構造を示す図であり、図１Ａはその平面図、図１Ｂはその正面図、図１Ｃはその側面図である。

図２は、導電性多結晶ダイヤモンド膜の膜厚と面内温度分布との相関関係を示す図である。

図３は、導電性多結晶ダイヤモンド膜の膜厚と研磨時間との関係を示す図であ

る。

図４Ａ～図４Ｃは、本願発明におけるツールチップの他の構造を示す図であり、図４Ａはその平面図、図４Ｂはその正面図、図４Ｃはその底面図である。

図５Ａ～図５Ｃは、本願発明におけるツールチップのさらに他の構造を示す図であり、図５Ａはその平面図、図５Ｂはその正面図、図５Ｃはその底面図である。

図６Ａおよび図６Ｂは、本願発明における給電ホルダの構造を示す図であり、図６Ａはその断面図、図６Ｂはその底面図である。

図７Ａ～図７Ｃは、具体例１におけるツールチップの構造を示す図であり、図７Ａはその平面図、図７Ｂはその正面図、図７Ｃはその側面図である。

図８Ａおよび図８Ｂは、具体例１におけるツールチップに給電するための給電ホルダの構造を示す図であり、図８Ａはその断面図、図８Ｂはその底面図である。

図９Ａおよび図９Ｂは、具体例１におけるツールチップを給電ホルダに取付けた場合の構造を示す図であり、図９Ａはその断面図、図９Ｂはその底面図である。

図１０は、比較例としての従来技術におけるボンディングツールを示す斜視図である。

図１１は、具体例１におけるツールチップの特性評価を示す図である。

図１２は、具体例１において、導電性多結晶ダイヤモンド膜の比抵抗値、膜厚およびホウ素添加量を変化させた場合の特性を示す図である。

図１３Ａ～図１３Ｃは、具体例２におけるツールチップの構造を示す図であり、図１３Ａはその平面図、図１３Ｂはその正面図、図１３Ｃはその底面図である。

図１４Ａおよび図１４Ｂは、具体例２におけるツールチップに給電するための給電ホルダの構造を示す図であり、図１４Ａはその断面図、図１４Ｂはその底面図である。

図１５は、具体例２におけるツールチップの特性評価を示す図である。

図１６は、具体例２におけるツールチップの温度の抵抗曲線を示す図である。

図１７Ａ～図１７Ｃは、具体例３におけるツールチップの構造を示す図であり、図１７Ａはその平面図、図１７Ｂはその正面図、図１７Ｃはその底面図である。

図１８は、具体例３におけるツールチップの特性評価を示す図である。

図１９は、具体例３におけるツールチップの温度の抵抗曲線を示す図である。

図２０Ａおよび図２０Ｂは、具体例４におけるツールチップに給電するための給電ホルダの構造を示す図であり、図２０Ａはその断面図、図２０Ｂはその底面図である。

図２１は、具体例４におけるツールチップの特性評価を示す図である。

図２２Ａおよび図２２Ｂは、具体例５におけるツールチップの構造を示す図であり、図２２Ａはその平面図、図２２Ｂはその断面図である。

図２３Ａおよび図２３Ｂは、具体例５におけるツールチップに給電するための給電ホルダの構造を示す図であり、図２３Ａはその断面図、図２３Ｂはその底面図である。

図２４Ａおよび図２４Ｂは、具体例５におけるツールチップを給電ホルダに取付けた構造を示す図であり、図２４Ａはその断面図、図２４Ｂはその底面図である。

図２５は、具体例５におけるツールチップの特性評価を示す図である。

## 発明を実施するための最良の形態

以下、この発明に基づいたボンディングツールの実施例について図を参照しながら説明する。

まず、図１Ａ～図１Ｃを参照して、本発明に基づいたボンディングツールを構成するツールチップの構造について説明する。

このツールチップ１００は、基体２と、この基体２の上面側に、圧着のための先端面３が設けられている。基体２の圧着のための先端面３およびこの先端面３の面に交わる側面に、$1\times10^{-4}\Omega cm$以上$1\times10^{3}\Omega cm$未満の範囲の比抵抗を有する導電性を有した導電性多結晶ダイヤモンド膜１が、気相合成法によって成膜されている。この導電性多結晶ダイヤモンド膜１の膜厚は、０．１μｍ～５００μｍの範囲で被覆されている。

ここで、導電性多結晶ダイヤモンド膜１の膜厚および比抵抗について図２および図３を参照して説明する。導電性多結晶ダイヤモンド膜１の膜厚が、０．１μｍ以下では、膜厚を均一に連続膜として形成することが困難である。局所的な発熱量は導電性多結晶ダイヤモンド膜の膜厚に依存するため、図２に示すように、

面内温度分布は、膜厚が０．１μｍ未満になると、急激に悪くなる。

一方、膜厚が５００μｍ以上では、ツールチップ１００の熱容量が大きくなるため、昇温に要する電力量が大きくなり、昇温および冷却特性が劣ってしまう。また、導電性多結晶ダイヤモンド膜を形成するためのコストが高くなるとともに、導電性多結晶ダイヤモンド膜の応力のため、素材の反りが大きくなってしまう。

このため、図３に示すように、平坦性を出すための研磨時間が膜厚５００μｍ以上では急激に長くなり、加工コストが高くなってしまう。したがって、導電性多結晶ダイヤモンド膜の膜厚は、０．１μｍ以上５００μｍ以下が好ましいと言える。

次に、比抵抗の値については、導電性多結晶ダイヤモンド膜の比抵抗が大きいと、金属電極との接触抵抗が大きく、通電時にスパークを発生しやすい。これを回避するためには、$1\times10^{3}\Omega cm$以下の比抵抗が必要である。また、不純物添加量が$1\times10^{-4}\Omega cm$以下になると、導電性多結晶ダイヤモンド膜の膜質の劣化を招き、熱電導率、耐摩耗性などの特性を損なうことになる。

一方、速やかに所定の温度に導電性多結晶ダイヤモンド膜を昇温させるためには、１００Ｖ－２０Ａ容量の電源を用いて５００～１ＫＷ程度の電力をツールチップに印加することが必要である。したがって、ツール押圧面の面積は一般的に数百$mm^{2}$であること、および、上記導電性多結晶ダイヤモンド膜の膜厚に鑑みて、比抵抗が$1\times10^{-4}\Omega cm$以上$1\times10^{1}\Omega cm$以下の範囲にあることが好ましい。

また、導電性多結晶ダイヤモンド膜を、たとえばホウ素の添加量が異なる２種以上の膜から構成し、上記基体側にホウ素の添加量が高い導電性多結晶ダイヤモンド膜を形成し、この膜の上にホウ素の添加量が低い導電性多結晶ダイヤモンド膜を形成した場合、上層のホウ素の添加量が低い導電性多結晶ダイヤモンド膜は研磨による数μｍの膜厚変化で抵抗値の変化が０．０１Ω未満である必要がある。その結果、導電性多結晶ダイヤモンドの比抵抗は、$1\times10^{1}\Omega cm$以上$1\times10^{3}\Omega cm$以下であることが好ましい。したがって、導電性多結晶ダイヤモンド膜に要求される比抵抗は、$1\times10^{-4}\Omega cm$以上$1\times10^{3}\Omega cm$未満であることが好ましいと言える。

このように上記膜厚および比抵抗を有する導電性多結晶ダイヤモンド膜を用いることにより、この導電性多結晶ダイヤモンド膜自体が抵抗発熱することになる。また、この導電性多結晶ダイヤモンド膜は、熱電導率に優れ、圧着に用いられる面は均一な温度分布が得られる。さらに、半導体チップと接触する導電性多結晶ダイヤモンド膜の部分だけの発熱となるため、熱容量が小さくまた熱応答性が速くなる。

ここで、ホウ素を不純物として添加した導電性多結晶ダイヤモンド膜は、p型半導体であるため、高温では低抵抗化し、ホウ素の濃度によって比抵抗や、比抵抗の温度依存性が異なることが知られている（（H. Shiomi, J. J. J. B. 30. 1363(1991)））。

ホウ素の添加量は少ないほど、ダイヤモンド多結晶体の比抵抗は高く、温度に対する変化率も大きい。添加物の密度が$10^{18}$ atm・$m^{-3}$未満の場合、0℃～400℃への温度上昇に対して$10^{-3}$［Ω．cm］も比抵抗の値が低下する（Diamond and related materials 4, 948 (1995)）。

一方、添加されたホウ素の原子濃度が2000ppmを超えると不純物順位が縮退し、金属的なバンド構造となる（モット転移を生じる）ため、金属的な導電性を持つ。すなわち、温度の上昇に依存し高抵抗化するため、ヒータとしての温度制御は容易になる。

また、50000ppm以上のホウ素を添加すると、膜質の劣化が著しく、高硬度，高熱伝導率などのダイヤモンドの特性が失われてしまう。したがって、導電性多結晶ダイヤモンド膜のホウ素濃度は、100ppm以上50000ppm未満が望ましい。

また、導電性多結晶ダイヤモンド膜は、sp2構造の欠陥の導入量が増加すればこれに依存して比抵抗が小さくなる。導電性多結晶ダイヤモンド膜中に導入されたsp2構造の欠陥密度を定量的に知ることは困難である。しかし、ラマンスペクトルにより、導電性多結晶ダイヤモンド膜のsp3構造に起因する1333$cm^{-1}$のスペクトルのピーク強度と、sp2構造に起因する1540$cm^{-1}$付近のブロードなスペクトルのピーク強度の比から、sp2構造の欠陥密度を定性的に得ることができる。このピーク強度の比が0．5未満であると欠陥密度が小

さいため、導電性多結晶ダイヤモンド膜の膜質は良好であるが、好ましい比抵抗が得られない。また、ピーク強度の比が１０を超えると導電性多結晶ダイヤモンド膜の膜質が劣化し求める性能が得られない。

また、最表面の導体膜としては、高融点で高温の耐酸化性が強いＡｕ、Ｐｔ、Ａｇ、Ｎｉ、ＴＡおよびＣｒからなるグループから選択された少なくとも１つの金属材料、または、耐溶着性、耐消耗性、絶縁回復性に優れたＡｇＰｄ合金、Ｐｔ－Ｉｒ合金、または、ＡｇとＧｄ、Ｉｎ、Ｓｎ、ＺｎおよびＣｕからなるグループから選択された少なくとも１種類以上の元素とを含む酸化物、または、ＡｇおよびＷを含む金属炭化物のいずれかが好ましい。

再び図１Ａ～図１Ｃを参照して、このツールチップ１００においては、さらに、半導体チップを搬送するために用いられる吸着用貫通孔５が設けられている。また、基体２の側面に設けられた導電性多結晶ダイヤモンド膜１の上には、導電性多結晶ダイヤモンド膜１に給電するための電極金属４が設けられている。

このように形成されたツールチップ１００において、電極金属４を形成した面より給電することで、導電性多結晶ダイヤモンド膜１が抵抗発熱することになる。また、この電極金属４をツールチップ１００の圧着に用いる有効面積の外周部のみに設け、外周部に沿って発熱させることで、ツールチップ１００の外周部からの冷却を緩和させることができる。

この場合、図４Ａ～図４Ｃに示すツールチップ２００ように、４箇所以上の電極金属４を設け、隣接する電極間に電位差を与えることで、複雑な回路パターンを設けずに外周部にのみ電力を供給することが可能となる。

なお、電極金属４は、図１Ａ～図１Ｃおよび図２に示されている面に限らず、外部実装設備によっては、先端面３と反対側の面に部分的に形成されても構わない。したがって、導電性多結晶ダイヤモンド膜１に給電でき、圧着に用いられる面を発熱または加熱できる構造であればよい。

一方、基体２を構成する材料としては、導電性多結晶ダイヤモンド膜１と強固に接着する気相合成法で合成されたダイヤモンド多結晶体、Ｓｉ、ＳｉＣ、ＡｌＮ、$Si_3N_4$およびダイヤモンドから選ばれた少なくとも１つの材料を主成分とする基体が用いられ、基体２の寸法は、必要とするツールチップの大きさから

個々に決定される。

また、導電性多結晶ダイヤモンド膜１が半導体チップと直接的に接触する構造の場合には、発熱のための通電電流が半導体チップ側にリークし、回路を破壊することが起こり得る。この場合、図５Ａ～図５Ｃに示すツールチップ３００の構造のように、導電性多結晶ダイヤモンド膜１の外層部に、$10^5$Ωｃｍ以上の比抵抗を有する絶縁性の絶縁性ダイヤモンド膜６を被覆することで、漏れ電流を防止することができる。

次に、図６Ａおよび図６Ｂを参照して、ツールチップに電力を給電するための給電ホルダの構造について説明する。ベースをなす高強度を有する絶縁性セラミックス１０と、ツールチップに電力を供給するための導体膜１２と、ツールチップを吸着するためのツールチップ吸着用溝１４およびツールチップ吸着用真空管１５と、ツールチップが半導体チップを吸着するための半導体チップ吸着用真空管１６とが設けられ、さらにツールチップの温度を測定するための温度計測器１７が組込まれている。この温度計測器１７で測定されたツールチップの温度は、温度調節機構にフィードバックされる。

また、外部装置との断熱のため、外部装置との接触部には、熱伝導率の低い低熱伝導絶縁性セラミックス１８が用いられている。また、導体膜１２への給電のため、高温耐酸化性の強い金属膜をめっきした金属電極１９が取付けられている。

低熱伝導絶縁性セラミックス１８は、半導体チップの実装時に荷重を加える必要があるため、高強度を有し、かつ、ヒータ部の熱容量を小さくするため熱伝導率が小さく、５０Ｗ／ｍｋ以下のものが望ましい。

ここで、ツールチップの基体２に絶縁性のダイヤモンド多結晶体を用いた場合、導電性多結晶ダイヤモンド膜１を被覆した面の反対側の基体２の面を半導体チップ圧着のための面として利用することも可能となる。

また、従来構造の熱電対を取付けた場合のツールチップの温度計測では、熱電対が剥がれる等の問題があった。さらに、温度応答性の早いツールチップでは、熱電対自身の熱容量が付加されることで温度応答性が悪くなり、その性能を生かして実装時間を短くする温度制御を加えることができなかった。したがって、温度応答性が早く非接触測定できる温度計を用いる必要がある。そこで、容積の限

定された外部実装装置内に組込むため、光ファイバ式の放射温度計が望ましい。

さらに、上述したように、導電性多結晶ダイヤモンド膜の電気比抵抗は、温度に依存して変化し、サーミスタ特性を示す。したがって、このサーミスタ特性を利用して、導電性多結晶ダイヤモンド膜に加わる電圧、電流値に基づいて抵抗値を測定し、ツールチップの温度を求め、ツールチップの温度を制御することも可能となる。この場合、給電ホルダへの温度測定機構の組込みが不要となる。

次に、上述した実施例におけるツールチップおよび給電ホルダのより具体的な例について以下説明する。

[具体例１]

まず、図７Ａ～図７Ｃを参照して、この具体例１におけるツールチップ４００の構造について説明する。中央部に直径約１ｍｍの吸着貫通孔５を１個有する、２０ｍｍ×２０ｍｍ×５ｍｍのＳｉＣ基体２の２０ｍｍ×２０ｍｍの面に、気相合成法によりホウ素を不純物として添加した、膜厚約１０μｍ、比抵抗８×１０$^{-3}$Ωｃｍの導電性多結晶ダイヤモンド膜１を析出させる。その後、導電性多結晶ダイヤモンド膜１の上に、さらに絶縁性ダイヤモンド膜６を５０μｍ析出させる。

導電性多結晶ダイヤモンド膜１および絶縁性ダイヤモンド膜６はいずれも、マイクロ波プラズマＣＶＤ法により、メタン、水素をガスとして成膜する。

この成膜時のガス流量は、メタン５ｓｃｃｍ、水素５００ｓｃｃｍであり、導電性多結晶ダイヤモンド膜１の成膜時には、メタンに対してＢ／Ｃ＝２０００ｐｐｍのジボランを原料ガスに添加した。

なお、同じ条件により合成した導電性多結晶ダイヤモンド膜をＳＩＭＳにより分析したところ、ホウ素が２０００ｐｐｍ含まれていた。

その後、ＳｉＣ基体２の側面部に電極として、Ｔｉを１μｍコーティングし、その上にＰｔを１μｍコーティングし、さらに、このＰｔの上に、Ａｕを３μｍコーティングした。

次に、ツールチップの先端の押圧面となる導電性多結晶ダイヤモンド膜１をラッピングにより面粗さＲｍａｘ０．１μｍ、反対側の面との平行度０．０１ｍｍとなるように仕上げ、本具体例におけるツールチップ４００を作製した。

次に、図８Ａ、図８Ｂ、図９Ａおよび図９Ｂを参照して、図８Ａおよび図８Ｂに示す構造よりなる給電ホルダ４１０を外部実装用設備に取付け、この給電ホルダ４１０に、真空吸着によりツールチップ４００を装着させる。その後、このツールチップ４００に対して、２０℃から５００℃までの昇温時間、５００℃から８０℃までの空冷時の冷却時間、先端面の温度分布、先端面の平坦度、１０万回の繰返し加熱試験後のツールチップ４００の状態を観察した。

なお、比較例として、図１０に示すように、Ｍｏ製シャンク５０の発熱部に厚さ１．０ｍｍの気相合成ダイヤモンド膜５１をろう付けした、従来のツールチップを作製し、同様の評価を行なった。その結果を図１１に示す。

図１１に示すように、５００℃の温度分布および１０万回の繰返し加熱試験で、本具体例におけるツールチップおよび従来形態のツールチップともに同等の結果であった以外は、すべての表の点で、本具体例におけるツールチップが優れていることがわかる。

ここで、従来のツールチップは、設備への取付けに４５分要したが、今回の具体例におけるツールチップは、設備への取付面と、圧着に用いられる面との平行度が保たれているため、約１分で取付けることが可能となる。

さらに、図７Ａ～図７Ｃに示す同形状のツールチップを導電性多結晶ダイヤモンド膜の比抵抗値、膜厚、ホウ素添加量を変化させて、１１通り作製し評価を行なった。図１２にその結果を示す。ホウ素の添加量を同条件で作製したサンプルをＳＩＭＳにより分析し求めた。２０℃から５００℃への昇温、５００℃から８０℃への冷却、５００℃での面内温度分布、１０万回サイクル加熱後の耐久性試験後、×５０顕微鏡観察での表面状態観察の結果を示す。図１２からわかるように、Ｎｏ．５、６および７以外のツールチップは、すべての特性において、十分な性能を得られるものはなかった。したがって、このデータからも、ツールチップに用いられる導電性多結晶ダイヤモンド膜の比抵抗は$1\times10^{-4}\Omega cm$以上$1\times10^{3}\Omega cm$未満、膜厚が０．１μｍ以上５００μｍ以下であることが好ましいことがわかる。

［具体例２］

次に、具体例２について説明する。

図１３Ａ～図１３Ｃを参照して、この具体例２におけるツールチップ４２０は、１２ｍｍ×１２ｍｍ×０．３ｍｍの絶縁性の多結晶ダイヤモンドからなる基体２の上に、気相合成法によりホウ素を不純物として添加した膜厚８μｍ、比抵抗８×１０$^{-3}$Ωｃｍの導電性多結晶ダイヤモンド膜１を８μｍの厚さで析出させた。

ホウ素添加層の成長は、熱フィラメントＣＶＤ法により、メタン、水素およびメタンに対して５０００ｐｐｍのトリメチルボロンを原料ガスとして成膜した。

なお、同じ条件により合成した導電性多結晶ダイヤモンド膜をＳＩＭＳにより分析したところ、ホウ素が８００ｐｐｍ含まれていた。

導電性多結晶ダイヤモンド膜１の成膜後、基体２の中央部に、直径約１ｍｍの吸着用貫通孔５をエキシマレーザ加工により形成した。

吸着用貫通孔５を形成した後、導電性多結晶ダイヤモンド膜１の上に、電極としてＴｉを１μｍコーティングし、その上にＭｏを２μｍコーティングし、さらにその上にＡｕを３μｍコーティングし、最後にＮＩを１μｍコーティングした。基体２の導電性多結晶ダイヤモンド膜１によって被覆された面の反対面をラッピングによりＲｍａｘ０．１μｍに仕上げ、本具体例におけるツールチップ４２０を製作した。

図１４Ａおよび図１４Ｂに示すように、給電ホルダ４３０を外部実装用の設備に取付け、この給電ホルダ４３０に、ツールチップ４２０を真空吸着により装着させる。その後、２０℃から６００℃までの昇温時間、６００℃から８０℃までの空冷時の冷却時間、先端面の温度分布、先端面の平坦度、１０万回の繰返し加熱後のツールチップの状態を観察した。なお、比較例として、図１０に示す従来形態のツールチップを用いて評価を行なった。なお、従来のツールチップの温度制御は、金属シャンク部分に熱電対をスポット溶接で取付ける方法をとったのに対し、本具体例におけるツールチップでは、導電性のダイヤモンドの抵抗値の温度による変化を利用して行なった。その結果を、図１５に示す。また、図１６に本具体例におけるツールチップの温度の抵抗曲線を示す。

図１５および図１６からわかるように、６００℃の温度分布での本具体例のツールチップと従来形態のツールチップの結果以外は、すべての点において、本具体例のツールチップが優れていることがわかった。

［具体例３］

次に、具体例３について説明する。

図１７Ａ～図１７Ｃを参照して、この具体例におけるツールチップ４４０の構造について説明する。中央部に直径約１ｍｍの吸着貫通孔５を１個有する２０ｍｍ×２０ｍｍ×３ｍｍのＳｉＣ基体２の２０×２０ｍｍの面上に、高いメタン濃度で合成して得られた結晶欠陥を含む膜厚約１０μｍ、比抵抗１×１０$^{3}$Ωｃｍの導電性多結晶ダイヤモンド膜１を析出させる。

その後、導電性多結晶ダイヤモンド膜１と反対の面に、絶縁性ダイヤモンド膜６を約５０μｍ析出させる。導電性多結晶ダイヤモンド膜１および絶縁性ダイヤモンド膜６はいずれもマイクロ波プラズマＣＶＤ法によりメタンと水素とを原料ガスとして合成した。導電性多結晶ダイヤモンド膜１の成膜時のメタン流量は５０ｓｃｃｍ、水素は５００ｓｃｃｍであった。

この導電性多結晶ダイヤモンド膜１は、ラマン分光分析により、ｓｐ２構造を示す１５００ｃｍ$^{-1}$付近のピークが、ダイヤモンドのｓｐ３構造を示す１３３３ｃｍ$^{-1}$のピークと同程度に観察された。

また、導電性多結晶ダイヤモンド膜１の上に電極として、Ｔｉを１μｍ、Ｐｔを１μｍ、Ａｕを３μｍ重ねてコーティングし、さらにその上にＴａを０．５μｍコーティングした。ツールチップ先端の押圧面となる絶縁性ダイヤモンド膜６をラッピングにより、面粗さＲｍａｘ０．１μｍ、反対側の面との平行度０．０１ｍｍに仕上げ、本具体例に基づくツールチップ４４０を作製した。

この構造よりなるツールチップ４４０を、真空吸着により、図１４Ａおよび図１４Ｂに示す給電ホルダ４３０に取付け、この給電ホルダ４３０を外部実装用の設備に取付けて、具体例１と同じ評価を行なった。その結果を、図１８に示す。

ホウ素を不純物として添加した導電性多結晶ダイヤモンド膜を用いたものとほぼ同じ性能を示し、本具体例におけるツールチップにおいても、具体例１のツールチップと同等の効果を得ることがわかった。

［具体例４］

図１７Ａ～図１７Ｃに示す具体例３と同一形状のツールチップを作製した。ただし、導電性多結晶ダイヤモンド膜は熱フィラメントＣＶＤ法により、メタン、

水素およびメタンに対してB／C＝１００００ｐｐｍのトリメチルボロンを原料ガスとして成膜した。膜厚約１０μｍ、比抵抗３×１０$^{-3}$Ωｃｍである。

この導電性多結晶ダイヤモンド膜をＳＩＭＳにより分析したところ、ホウ素が１００００ｐｐｍ含まれており、具体例２で示したツールチップが高温になるほど低抵抗化するのに対して、図１９に示すように、高温になればなるほど、高抵抗化し、温度が６００ｋ以上では、抵抗値は一定となる。

また電極部分はＴｉを１μｍコーティングし、その上にＰｔを２μｍコーティングした。

この構造よりなるツールチップを真空吸着により、図２０Ａおよび図２０Ｂに示す給電ホルダ４５０に取付け、この給電ホルダ４５０を実装用の設備に取付けた。その後、具体例３と同じ評価を行なった。この結果を、図２１に示す。

図１４Ａおよび図１４Ｂに示す給電ホルダ４３０においては、ツールチップの対角上に位置する電極は同電位が加えられているのに対して、図２０Ａおよび図２０Ｂに示す給電ホルダにおいては、４電極それぞれに異なった電位を与えることができる。各電極間の抵抗値を合せて供給する電位に、電力を調整し温度制御を行なった。このため、昇温時のオーバーシュートを５℃以下に抑制して、ツールチップの面内温度分布をより均一にすることが可能となる。また、本給電ホルダ４５０においては、光ファイバ放射温度計２１によりツールチップ温度を測定し、ツールチップ温度を制御した。このため、ツールチップの高い温度応答性を生かして、非常に良好な昇温特性が得られた。また、図２１に示すように、具体例１のツールチップより温度分布が良好で、他の項目については同等の性能を有している。

［具体例５］

次に、具体例５について説明する。

図２２Ａおよび図２２Ｂを参照して、本具体例におけるツールチップ４６０は、１０ｍｍ×１０ｍｍ×３ｍｍのＳｉ基体２の上面に膜厚約５０μｍの絶縁性多結晶ダイヤモンド膜６を析出させ、その反対面にホウ素を不純物として添加した導電性多結晶ダイヤモンド膜１を２層析出させた。１層目は膜厚５μｍ、比抵抗４×１０$^{-3}$Ωｃｍ、２層目は膜厚１０μｍ、比抵抗１×１０$^{-3}$Ωｃｍとした。

導電性多結晶ダイヤモンド膜１および絶縁性多結晶ダイヤモンド膜６は、いずれもフィラメントＣＶＤ法により、メタン、水素を原料ガスとして合成した。さらに、導電性多結晶ダイヤモンド膜にはトリメチルボロンを原料ガスとして使用し、Ｂ／Ｃが１層目は２００００ｐｐｍ、２層目はその１／３以下となるようにした。

同条件で合成した導電性多結晶ダイヤモンド膜をＳＩＭＳにより分析したところ、１層目にはホウ素が８０００ｐｐｍ、２層目にはホウ素が１００ｐｐｍ含まれていた。

導電性多結晶ダイヤモンド膜１の成膜後、基体２の中央に直径約０．５ｍｍの吸着用貫通孔５をレーザ加工により形成した。吸着用貫通孔５を形成した後、基体２の４側面をテーパ状に加工し、絶縁性多結晶ダイヤモンド膜６をラッピングによりＲｍａｘ０．１μｍに、導電性多結晶ダイヤモンド膜１を５μｍ削除し、Ｒｍａｘ０．２μｍに仕上げた。

さらに、導電性多結晶ダイヤモンド膜１の上に、電極として、Ｔｉ０．２μｍ、Ｎｉ０．５μｍをスパッタリング法によりコーティングし、この上に３ｍｍ×３ｍｍ×０．１ｍｍのシート状に加工したＡｇＣｄＯをＣｕろう材を用いて真空炉で約６５０℃に加熱してろう付けし、導体膜４を設けた。

さらに、中央部に半導体チップ吸着用の貫通真空管を設けたセラミックベース７を窒化ケイ素により製作し、これと側面をテーパ形状に加工した止め板８とにより、基体２を挟み込み、４カ所を止めねじ９を用いて固定した。セラミックベース７の基体２に接触する位置に４カ所貫通孔を設け、内部にＡｇＣｄＯを圧入し給電電極１０を設けてツールチップを製作した。

また、このツールチップ４６０を、図２３Ａ、図２３Ｂ、図２４Ａおよび図２４Ｂに示す給電ホルダ４７０を用いて、具体例１と同様の評価を行なった。その結果を図２５に示す。その結果、押圧面の平坦度を改善することが可能となった。

なお、今回開示した実施例は、すべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本願発明の範囲は、上記した説明ではなく、特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

産業上の利用可能性

この発明は、半導体チップを基板に実装するために用いられるツールチップおよびそのツールチップを備えたボンディングツールならびにそのボンディングツールの制御方法に有利に適用され得る。

請求の範囲

1．圧着のための先端部に、気相合成された導電性多結晶ダイヤモンド膜を用いるボンディングツールにおいて、

ダイヤモンド多結晶体、Ｓｉ、ＳｉＣ、ＡｌＮ、$Si_3N_4$および単結晶ダイヤモンドからなるグループから選択された少なくとも１つの材料を主成分とする基体と、

前記基体上の、圧着に用いられる面、この面と反対の面またはこれらの面と交わる２面以上の側面に被覆され、比抵抗が$1\times10^{-4}\Omega cm$以上$1\times10^{3}\Omega cm$未満、膜厚が０．１μｍ以上５００μｍ以下の範囲である前記導電性多結晶ダイヤモンド膜と、

前記導電性多結晶ダイヤモンド膜の上に、前記導電性多結晶ダイヤモンド膜に電力を導入するために被覆された金属膜と、

を有するツールチップ。

2．前記圧着に用いられる前記面から前記面の反対面まで設けられた少なくとも１個以上の吸着用貫通孔をさらに有する、請求項１に記載のツールチップ。

3．前記導電性多結晶ダイヤモンド膜は、不純物の添加により形成された膜である、請求項１に記載のツールチップ。

4．前記不純物はホウ素である請求項３に記載のツールチップ。

5．前記導電性多結晶ダイヤモンド膜は、欠陥の導入により形成された膜である、請求項１に記載のツールチップ。

6．前記欠陥は、ｓｐ２構造を有する、請求項５に記載のツールチップ。

7．前記導電性ダイヤモンド膜の面粗さが０．１μｍ以上１０μｍ以下である請求項１に記載のツールチップ。

8．前記基体の圧着のために用いられる少なくとも前記面上に形成された前記導電性多結晶ダイヤモンド膜の上に、$10^{6}\Omega cm$以上の比抵抗を有し、その膜厚が１μｍ以上１０００μｍ未満である多結晶ダイヤモンド膜をさらに有する、請求項１に記載のツールチップ。

9．前記基体の圧着のために用いられる前記面と、この面の反対の面とは互いに平行であり、かつ、その平行度が、前記圧着のために用いられる前記面を基準と

して、０．１μｍ以内である、請求項１に記載のツールチップ。

１０．前記導電性多結晶ダイヤモンド膜に、１００ｐｐｍ以上５００００ｐｐｍ以下のホウ素が添加されている、請求項４に記載のツールチップ。

１１．前記導電性多結晶ダイヤモンド膜がｓｐ２構造を有する欠陥を導入して形成されており、ラマンスペクトルのｓｐ２およびｓｐ３ピークの最大値の比（ｓｐ２／ｓｐ３）が０．５以上１０以下である、請求項６に記載のツールチップ。

１２．前記金属膜が２層以上であり、最表面層がＡｕ、Ｐｔ、Ａｇ、Ｎｉ、Ｔａ、Ｃｒのいずれかの単体金属またはこれらのうち２種以上の組合せによる合金、または、ＡｇＰｄ、Ｐｔ－Ｉｒ合金、またはＡｇとＣｄ、Ｉｎ、Ｓｎ、Ｚｎ、Ｃｕの１種類以上の元素を含む酸化物またはＡｇおよびＷを含む金属炭化物のいずれかである、請求項１に記載のツールチップ。

１３．前記導電性多結晶ダイヤモンド膜の圧着のために用いられる有効エリア外周部に電力を供給するため、電力の供給をツールチップの外周部に４カ所以上の独立した金属層をさらに設けた、請求項１に記載のツールチップ。

１４．前記導電性多結晶ダイヤモンド膜は、ホウ素の添加量が異なる２種類以上の膜から形成され、前記基体に近い側に添加量の高い導電性多結晶ダイヤモンド膜を設け、この上に添加量が低い導電性多結晶ダイヤモンド層を設けた、請求項１０に記載のツールチップ。

１５．圧着のための先端部に、気相合成された導電性多結晶ダイヤモンド膜を用いるボンディングツールにおいて、

ダイヤモンド多結晶体、Ｓｉ、ＳｉＣ、ＡｌＮ、$Si_3N_4$および単結晶ダイヤモンドからなるグループから選択された少なくとも１つの材料を主成分とする基体、

前記基体上の、圧着に用いられる面、この面と反対の面またはこれらの面と交わる２面以上の側面に被覆された前記導電性多結晶ダイヤモンド膜および、

前記導電性多結晶ダイヤモンド膜の上に、前記導電性多結晶ダイヤモンド膜に電力を導入するために被覆された金属膜を有するツールチップと、

前記ツールチップへ給電するための金属電極およびこの金属電極を支持するためのセラミックベースを有する給電ホルダとを有するボンディングツール。

１６．前記給電ホルダは、前記ツールチップを吸着するための真空吸着溝と、この真空吸着溝に通ずる少なくとも１つの吸着用貫通孔と、前記ツールチップに電力を供給するための２カ所以上の導体膜と、前記ツールチップと接触する面の平坦度が３μｍ未満である第１絶縁性セラミックス部品と、熱伝導率性が低く、かつ、絶縁性を有する第２絶縁性セラミックス部品と、表面に酸化を防止するための金属膜を被覆した金属部品とを有する、請求項１５に記載のボンディングツール。

１７．前記導体膜は２層以上であり、最表面層がＡｕ、Ｐｔ、Ａｇ、Ｎｉ、Ｔａ、Ｃｒのいずれかの単体金属またはこれらのうち２種以上の組合せによる合金、または、ＡｇＰｄ、Ｐｔ－Ｉｒ合金、またはＡｇとＣｄ、Ｉｎ、Ｓｎ、Ｚｎ、Ｃｕの１種類以上の元素を含む酸化物またはＡｇおよびＷを含む金属炭化物のいずれかである、請求項１６に記載のボンディングツール。

１８．先端面に気相合成導電性多結晶ダイヤモンド膜が形成されたツールチップを有するボンディングツールの制御方法であって、前記導電性多結晶ダイヤモンド膜の電気抵抗の変化を測定して、ボンディングツールの温度調整を行なう、ボンディングツールの制御方法。

FIG. 1A

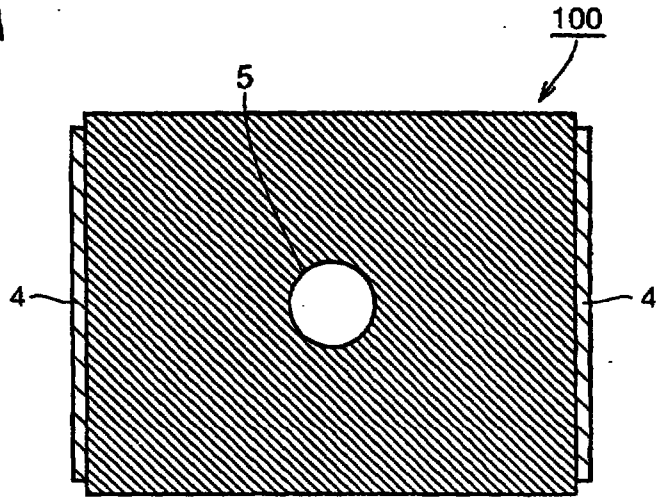



FIG. 1B

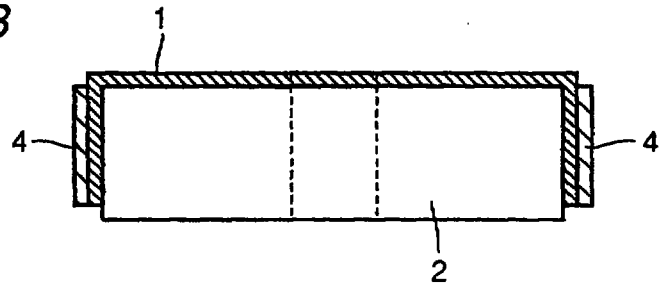



FIG. 1C

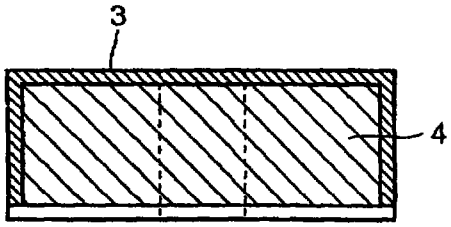


FIG.2

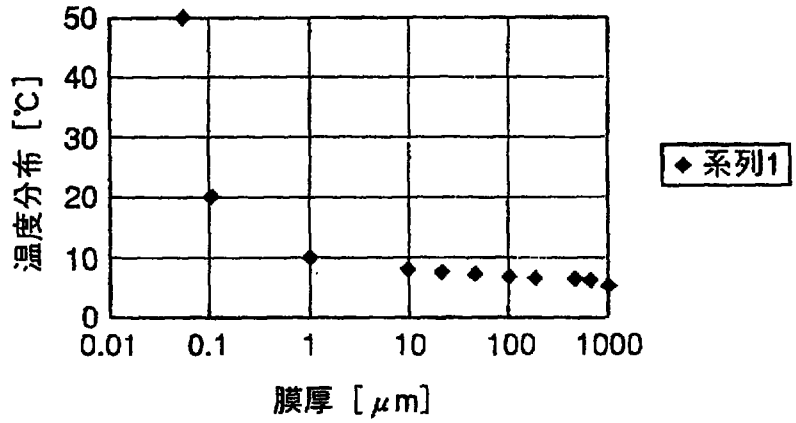

50
40
30
20
10
0
温度分布［℃］
0.01
0.1
1
10
100
1000
膜厚［μm］
◆ 系列1

FIG.3

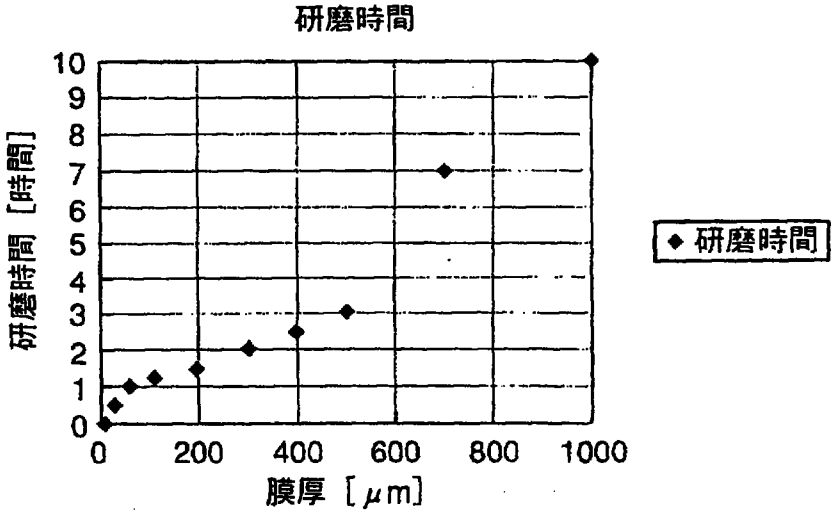

研磨時間
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
研磨時間［時間］
0
200
400
600
800
1000
膜厚［μm］
◆ 研磨時間

FIG.4A

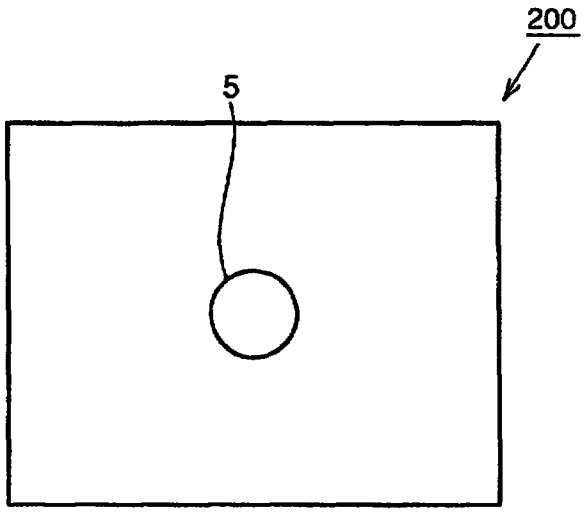



FIG.4B

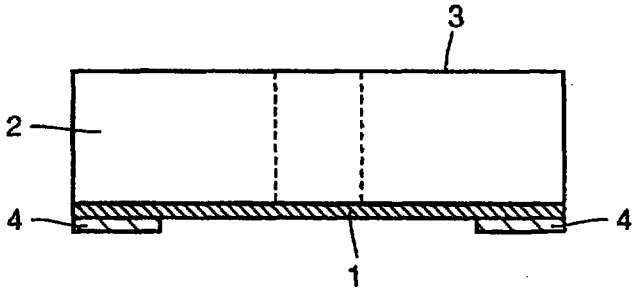



FIG.4C

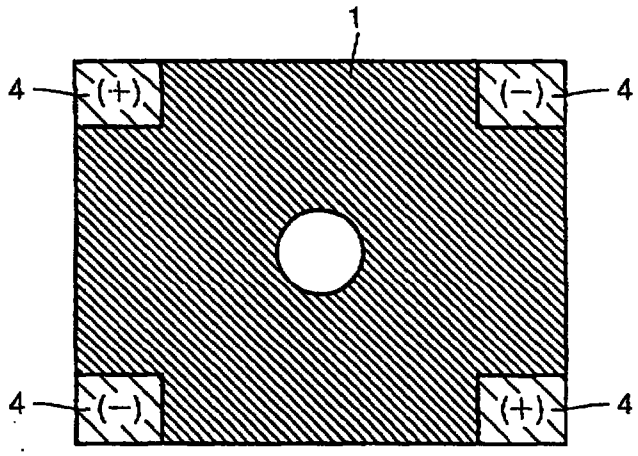


FIG.5A

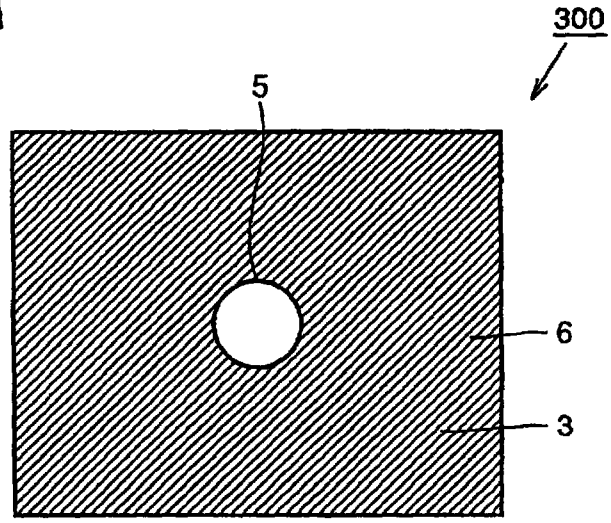



FIG.5B

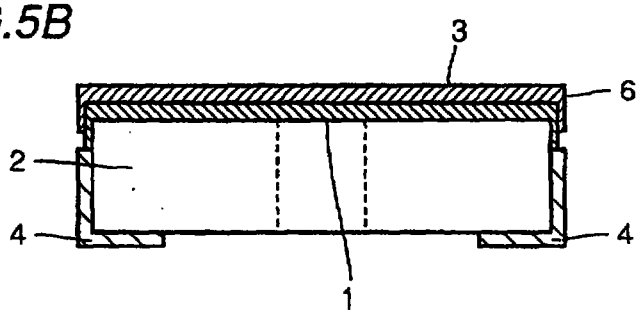



FIG.5C

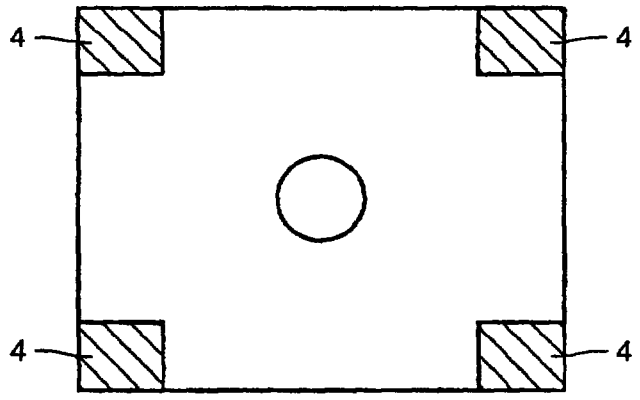


FIG.6A

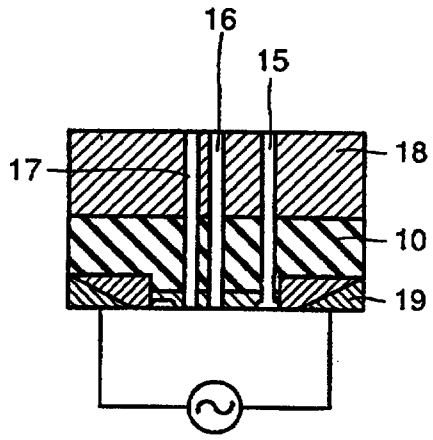



FIG.6B

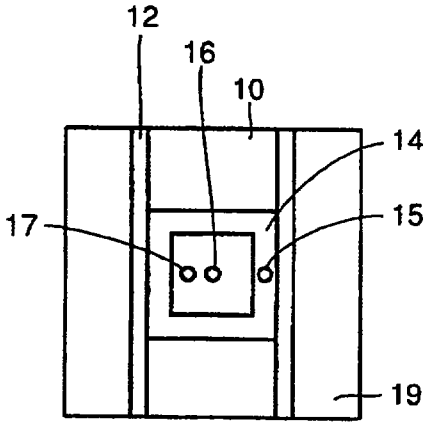


FIG.7A

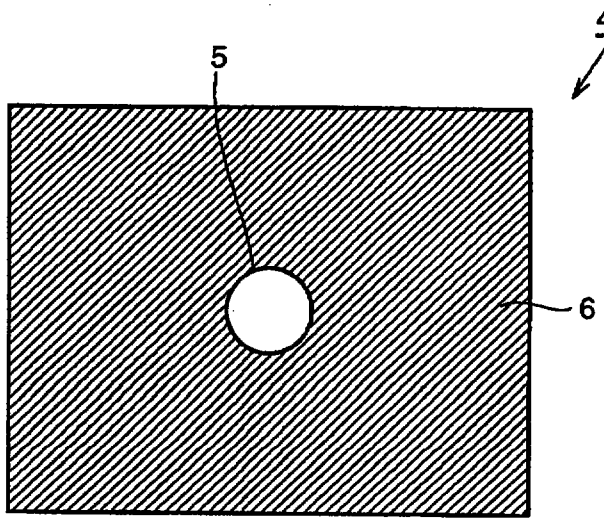



FIG.7B

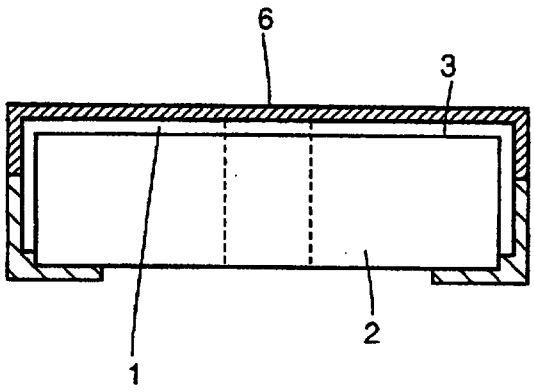



FIG.7C

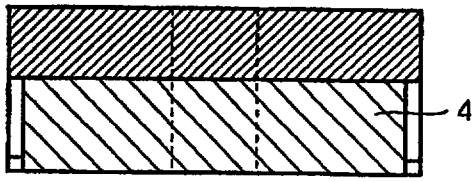


FIG.8A

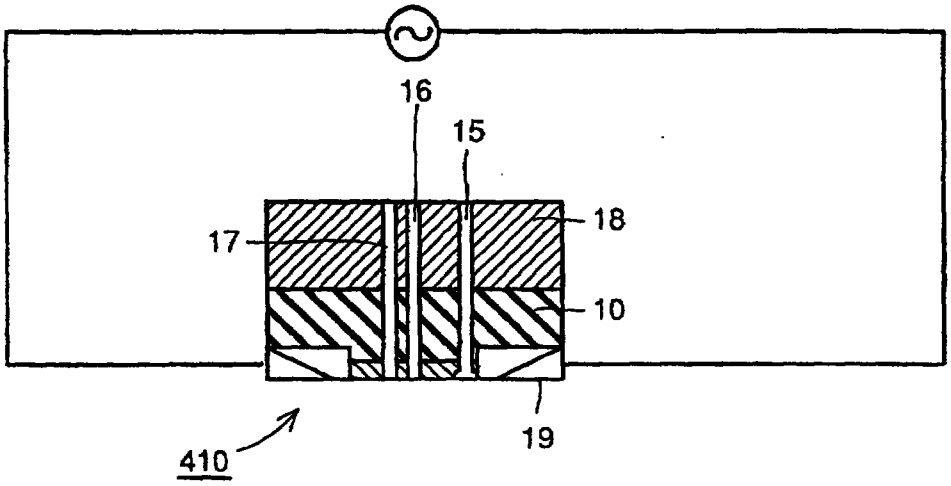



FIG.8B

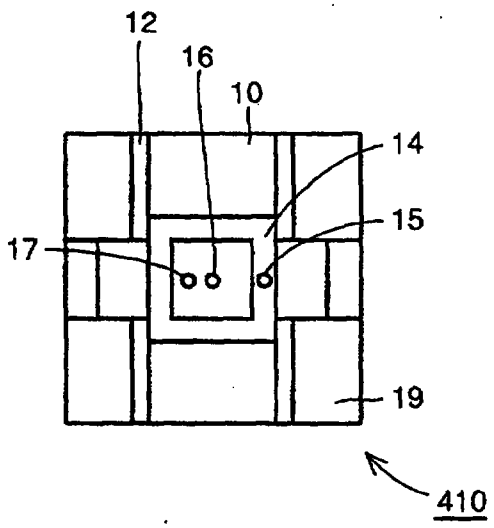


FIG.9A

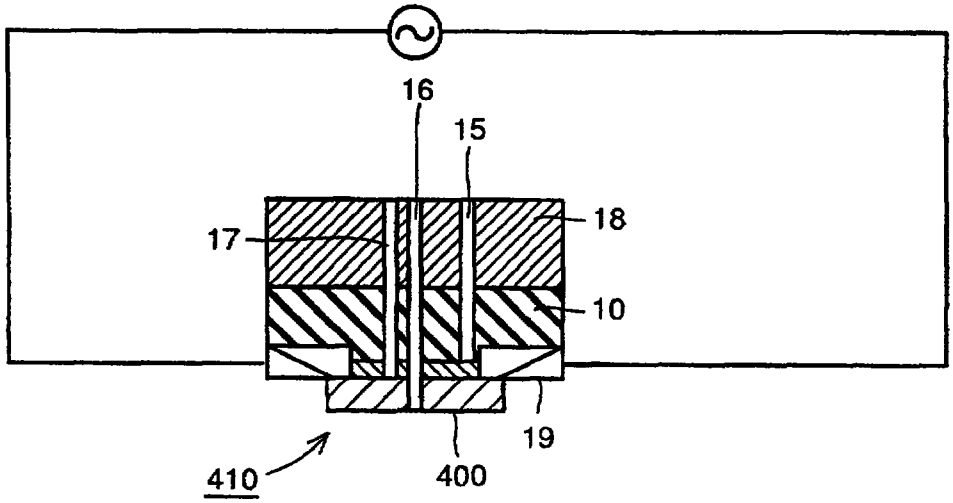



FIG.9B

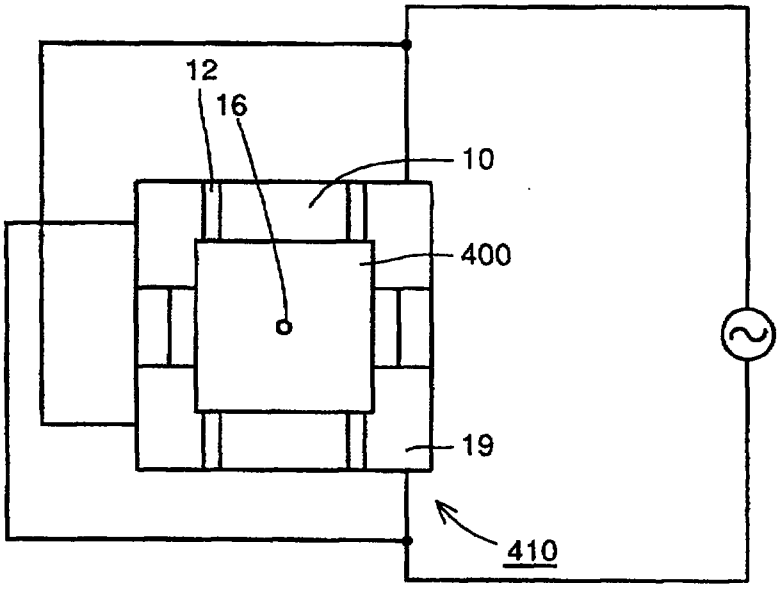


FIG.10

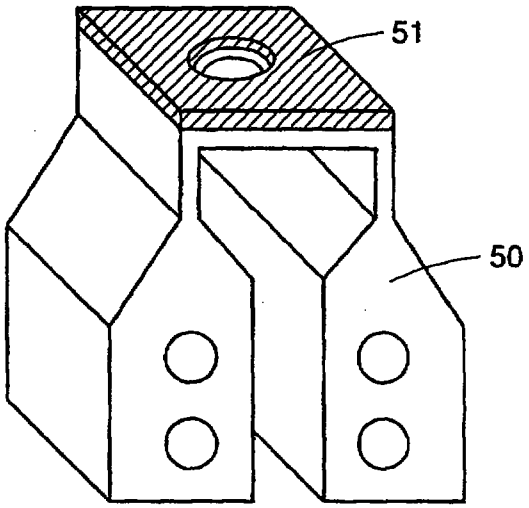



FIG.11

| 評価項目 | 本願発明のツールチップ | 従来形態のツールチップ |
|---|---|---|
| 20℃→500℃までの昇温時間 | 1.2秒 | 6.5秒 |
| 500℃→80℃までの冷却時間 | 9秒 | 35秒 |
| 温度分布（500℃） | 8℃ | 8℃ |
| 平坦度（500℃） | 0.5μm凹 | 2.5μm凹 |
| 10万回の繰り返し加熱試験後のツールチップの状態 | ×50顕微鏡観察で異常無し | ×50顕微鏡観察で異常無し |

FIG.12

| | 比抵抗 Ωcm | 硼素添加量 ppm | 膜厚 μm | 特性 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 昇温 sec | 冷却 sec | 温度分布℃ | 耐久性 |
| ① | $7\times10^{-5}$ | 55000 | 0.05 | 7 | 30 | 50 | 劣化 |
| ② | $1\times10^{-5}$ | 51000 | 2 | 15 | 60 | 40 | 劣化 |
| ③ | $8\times10^{-5}$ | 52000 | 600 | 500℃まで昇温できず | | | |
| ④ | $1\times10^{-3}$ | 5000 | 0.05 | 50 | 600 | 25 | 変化なし |
| ⑤ | $1\times10^{-4}$ | 30000 | 0.1 | 1.5 | 10 | 20 | 変化なし |
| ⑥ | $1\times10^{-2}$ | 200 | 10 | 1.2 | 9 | 8 | 変化なし |
| ⑦ | $1\times10^{1}$ | 500 | 500 | 5 | 15 | 6 | 変化なし |
| ⑧ | $1\times10^{-1}$ | 1000 | 600 | 10 | 40 | 10 | 変化なし |
| ⑨ | $1\times10^{4}$ | 80 | 0.05 | 500℃まで昇温できず | | | |
| ⑩ | $3\times10^{4}$ | 60 | 20 | 500℃まで昇温できず | | | |
| ⑪ | $5\times10^{4}$ | 50 | 1000 | 500℃まで昇温できず | | | |

FIG.13A

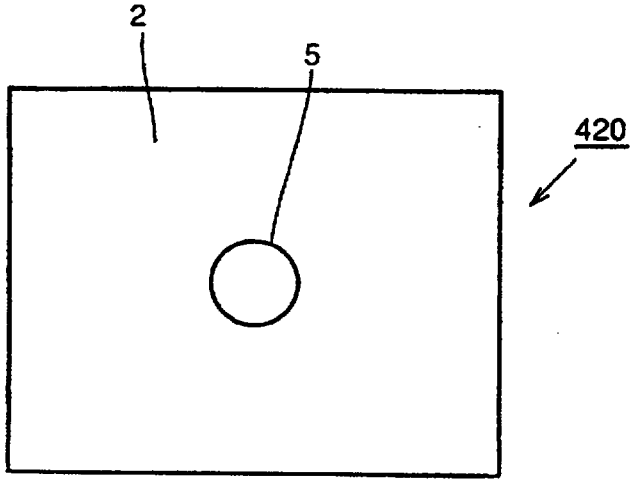



FIG.13B

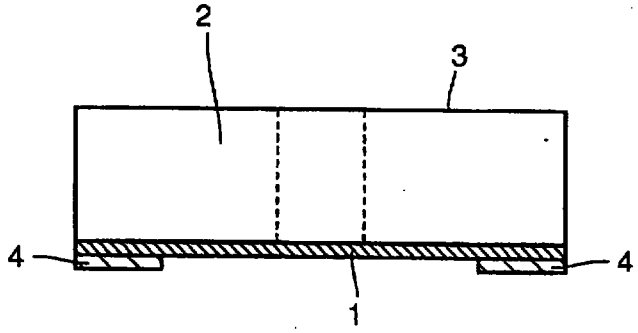



FIG.13C

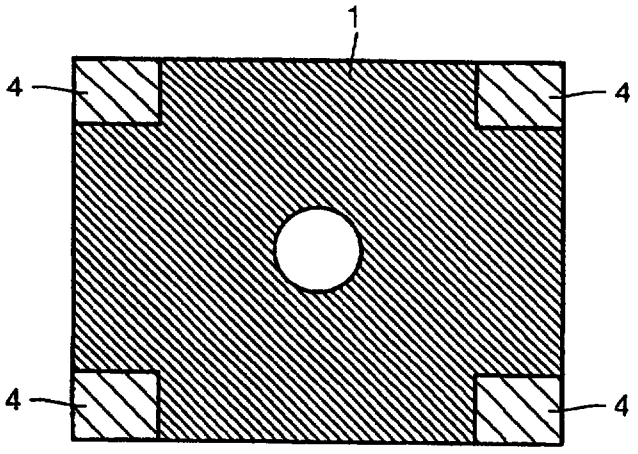


FIG.14A

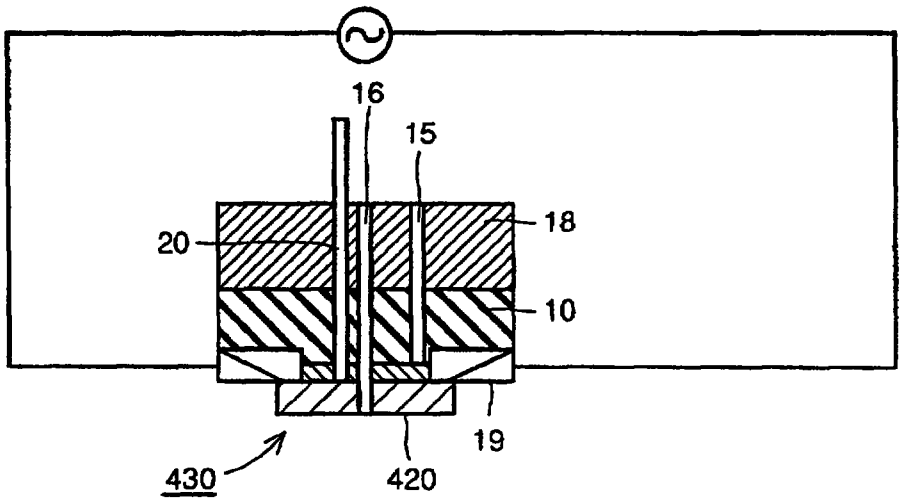



FIG.14B

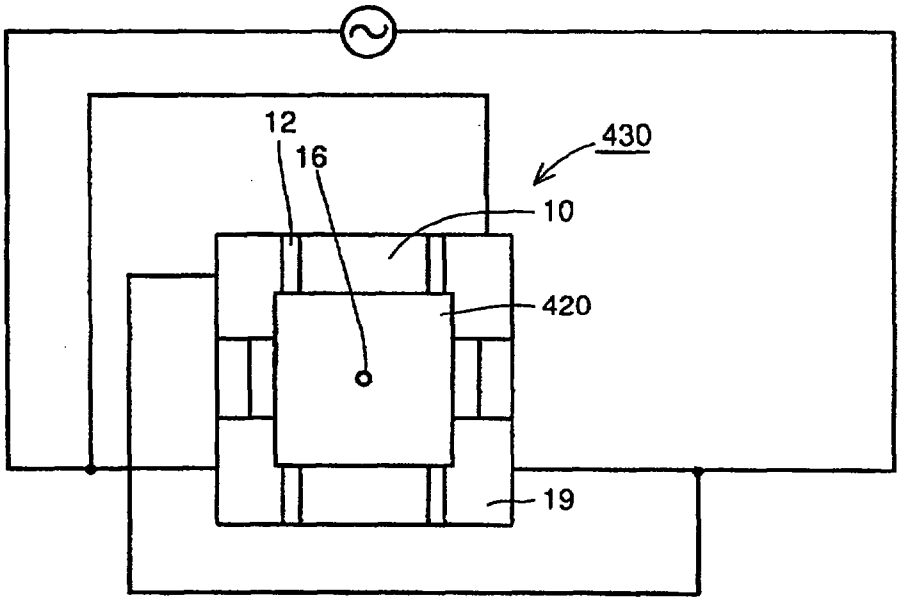


FIG.15

| 評価項目 | 本願発明のツールチップ | 従来形態のツールチップ |
|---|---|---|
| 20℃→600℃までの昇温時間 | 1.1秒 | 8.5秒 |
| 600℃→80℃までの冷却時間 | 5秒 | 50秒 |
| 温度分布（600℃） | 8℃ | 8℃ |
| 平坦度（600℃） | 0.2μm凹 | 3.5μm凹 |
| 20万回の繰り返し加熱試験後のツールチップの状態 | ×50顕微鏡観察で異常無し | ×50顕微鏡観察の結果、鏡層の酸化が認められた |

FIG.16

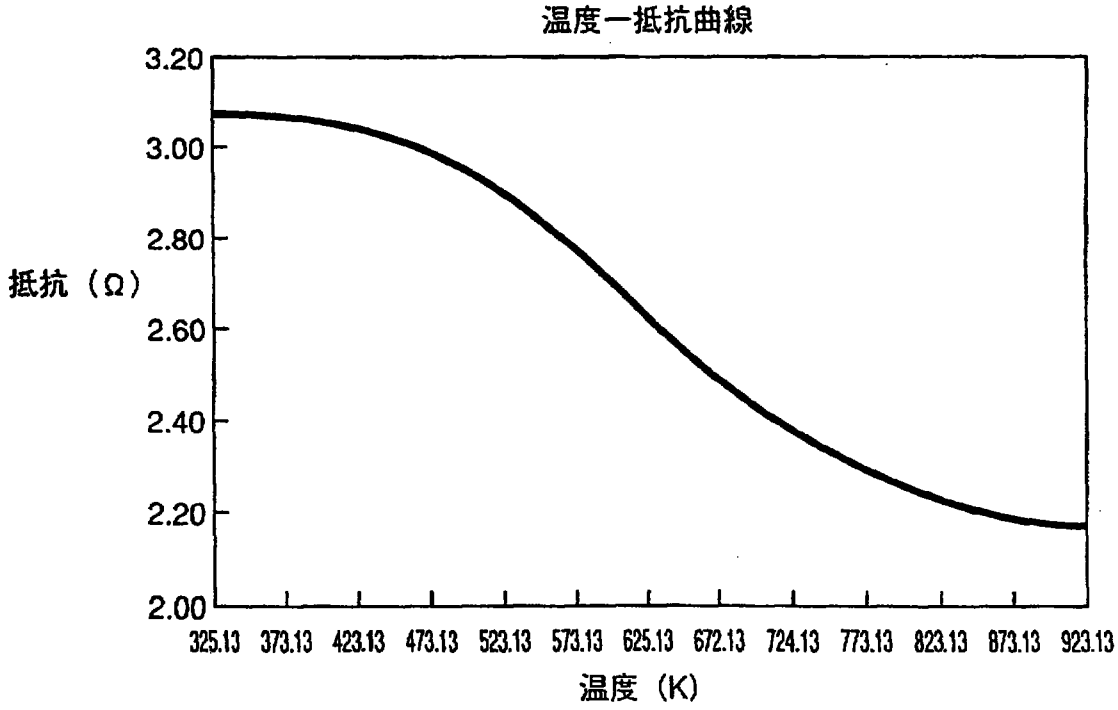


FIG.17A

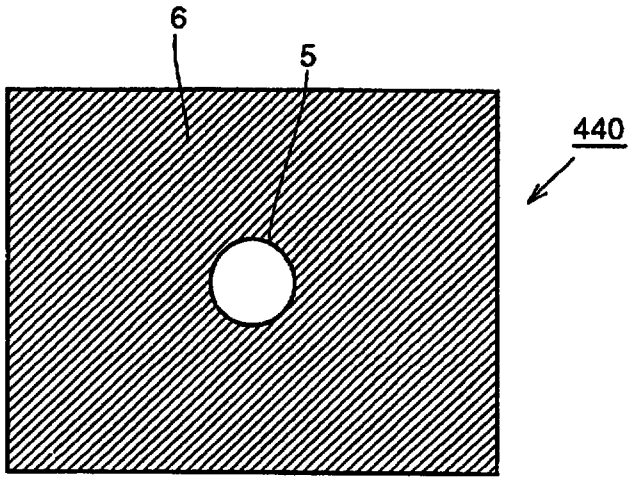



FIG.17B

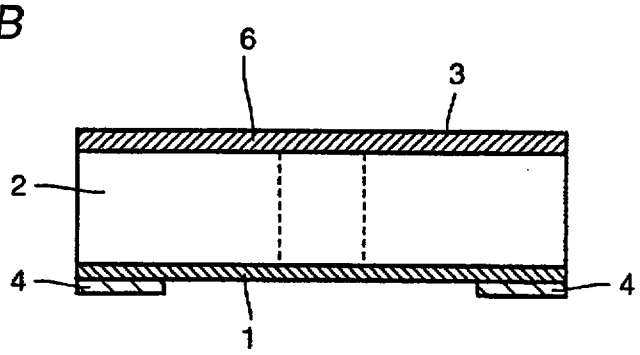



FIG.17C

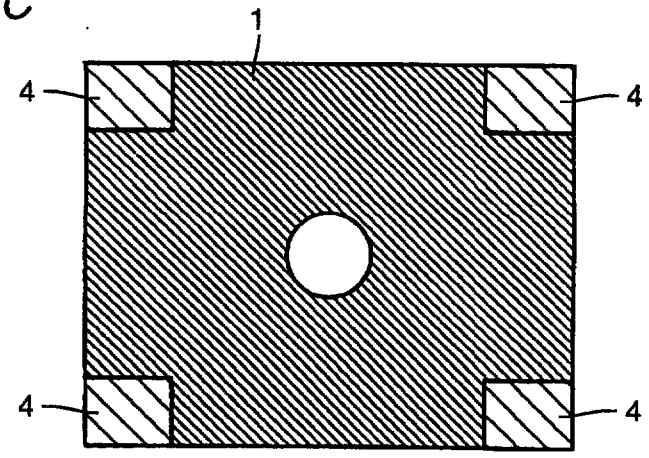


FIG.18

| 評価項目 | 本願発明のツールチップ |
|---|---|
| 20℃→500℃までの昇温時間 | 1.3秒 |
| 500℃→80℃までの冷却時間 | 9秒 |
| 温度分布（500℃） | 8℃ |
| 平坦度（500℃） | 0.7μm凹 |
| 10万回の繰り返し加熱試験後のツールチップの状態 | ×50顕微鏡観察で異常無し |

FIG.19

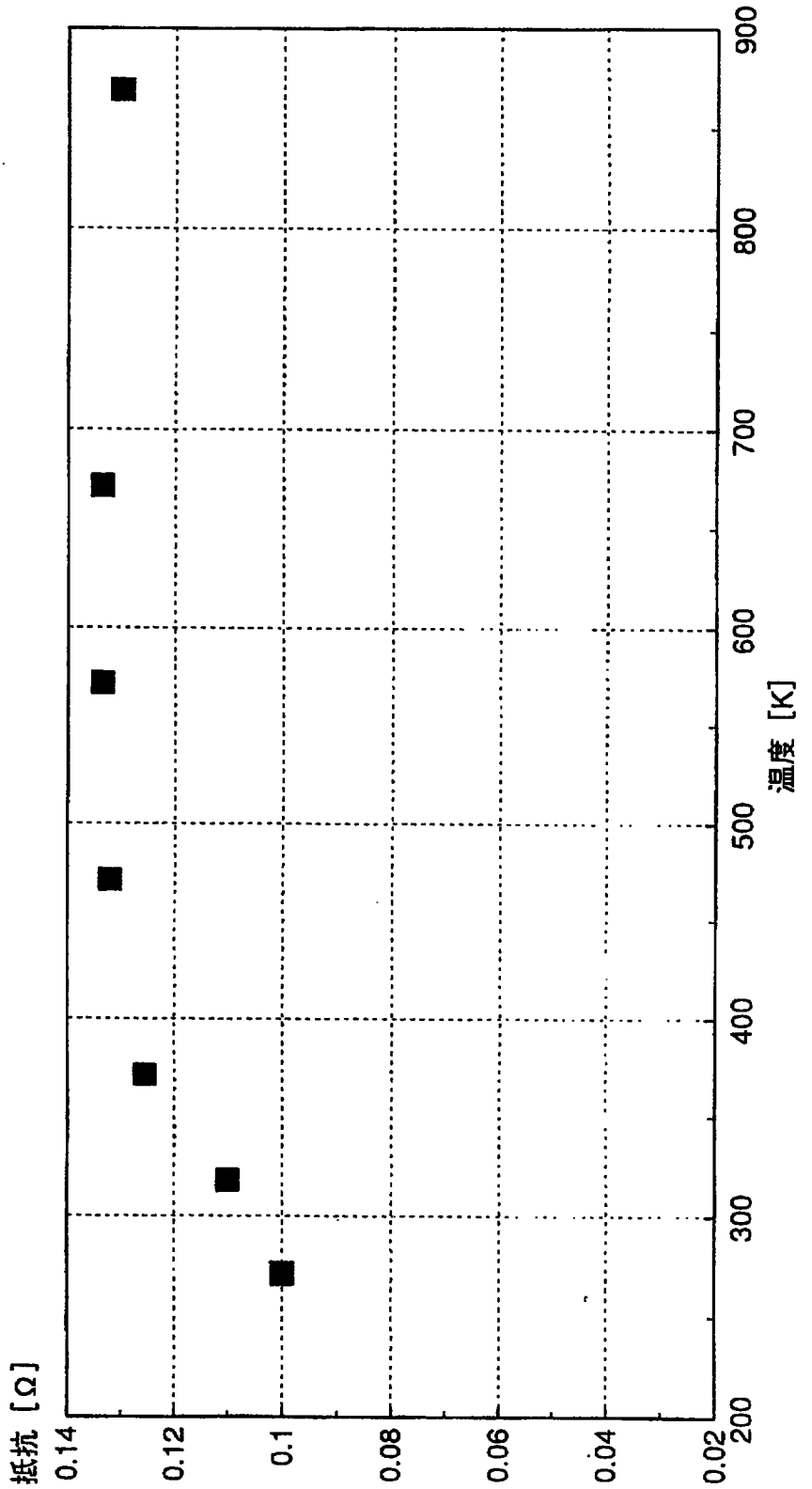

温度－抵抗曲線
抵抗 [Ω]
0.14
0.12
0.1
0.08
0.06
0.04
0.02
200
300
400
500
600
700
800
900
温度 [K]

FIG.20A

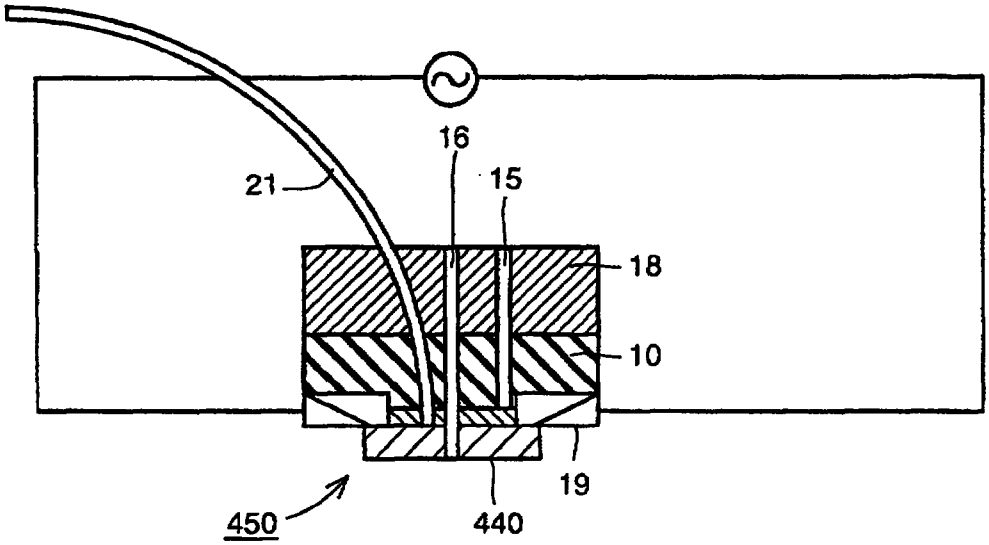



FIG.20B

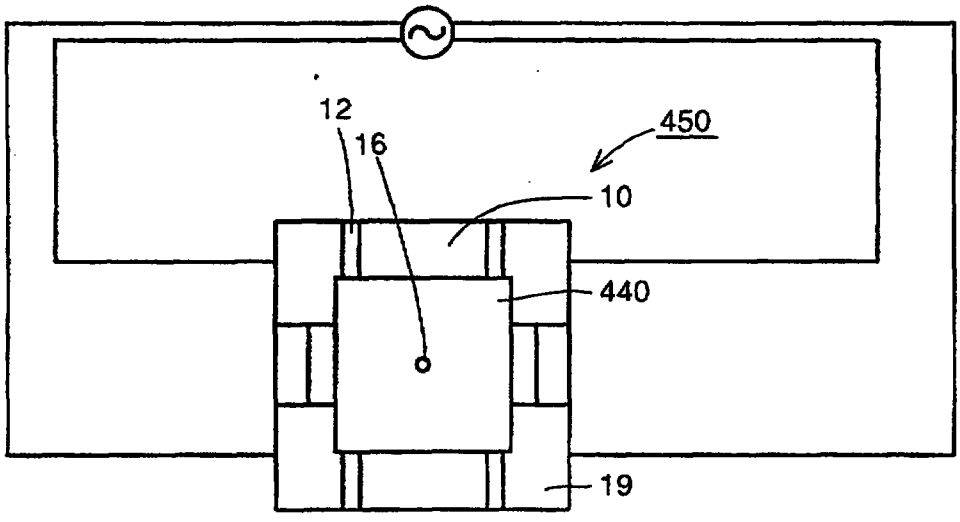


FIG.21

| 評価項目 | 本願発明の<br>ツールチップ |
|---|---|
| 20℃→500℃までの<br>昇温時間 | 0.8秒 |
| 500℃→80℃までの<br>冷却時間 | 9.5秒 |
| 温度分布（500℃） | 6℃ |
| 平坦度（500℃） | 0.5μm凹 |
| 10万回の繰り返し加熱<br>試験後のツールチップ<br>の状態 | ×50顕微鏡観察で<br>異常無し |

FIG.22A

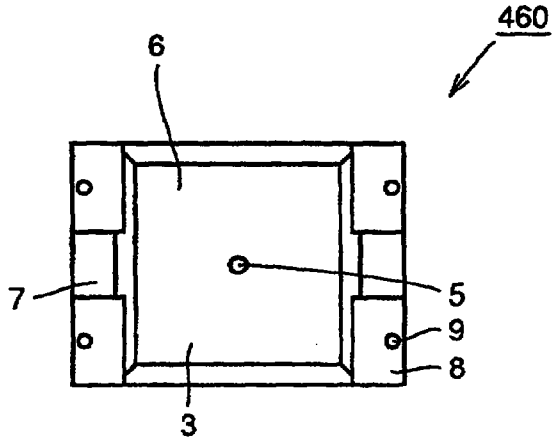



FIG.22B

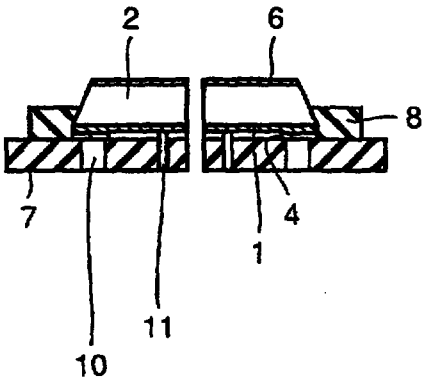


FIG.23A

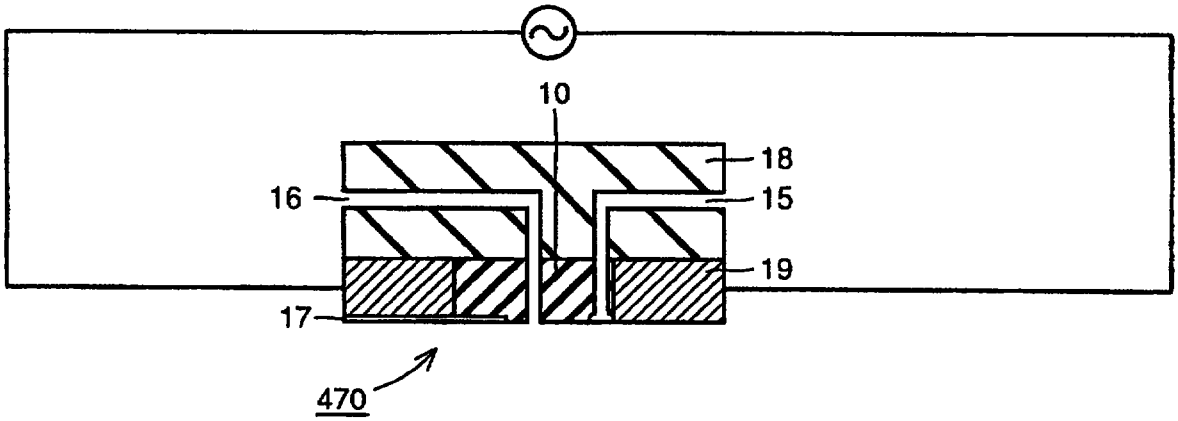



FIG.23B

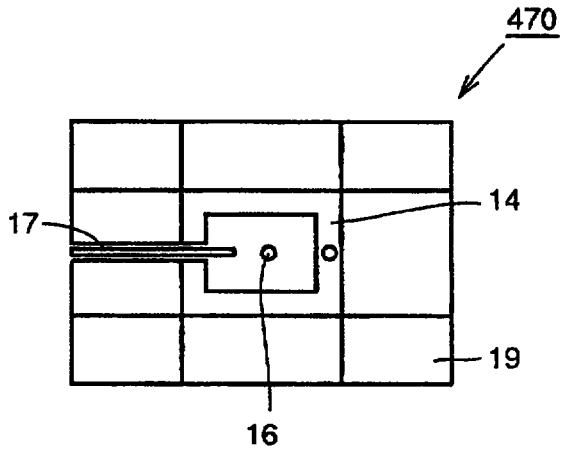


FIG.24A

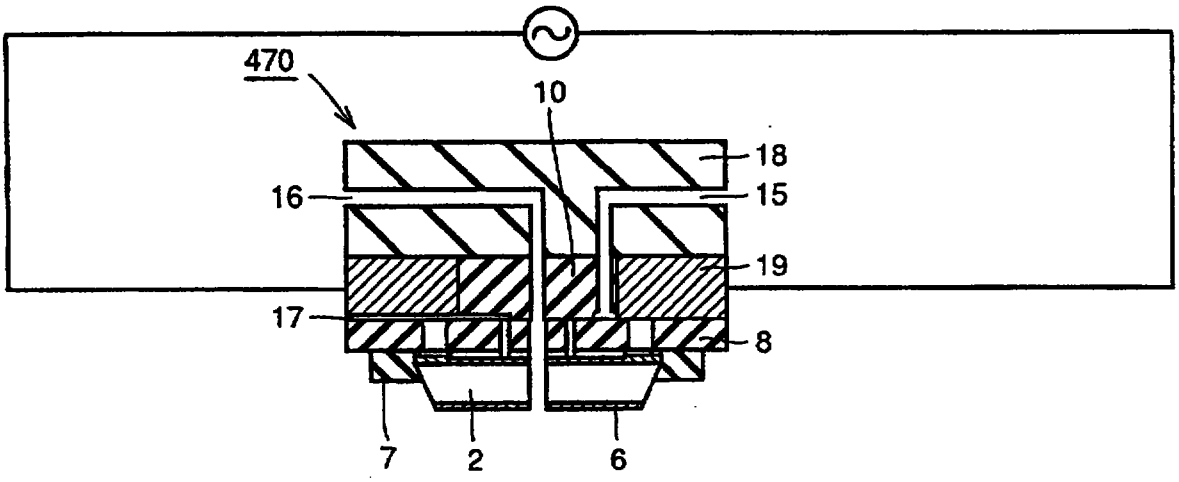



FIG.24B

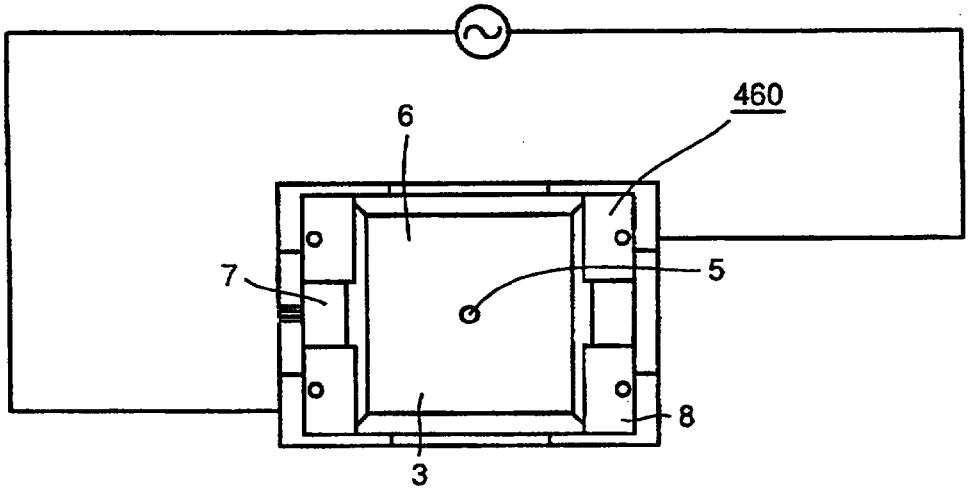


FIG.25

| 評価項目 | 本発明のツール |
|---|---|
| 20℃→500℃までの昇温時間 | 1.3秒 |
| 500℃→80℃までの冷却時間 | 10秒 |
| 温度分布（500℃） | 8℃ |
| 平坦度（500℃） | 0.1 μm |
| 10万回の繰り返し加熱試験後のツールの状態 | ×50顕微鏡観察で異常無し |

SPECIFICATION

# Tool Tip and Bonding Tool Comprising the Tool Tip and Control Method for the Bonding Tool

## Technical Field

The present invention relates to a tool tip and a bonding tool comprising the tool tip and a control method for the bonding tool, and more specifically, it relates to improvements of structures of a tool tip employed in a step of bonding electrodes of a semiconductor chip to lead wires or external terminals and a bonding tool comprising the tool tip and a control method for the bonding tool.

## Background Technique

Generally in packaging of a semiconductor chip, a step of connecting electrodes formed on the semiconductor chip and external terminals or lead wires with each other is necessary. In this step, the electrodes of the semiconductor chip and the external terminals or the like are connected with each other with interposition of a brazing filler metal of gold or tin, an anisotropic conductive film or resin such as a conductive adhesive.

At this time, a tool tip is employed for locating and pressing the semiconductor chip on and against prescribed positions of the external terminals or the like and directly heating the brazing filler metal of gold or tin or the anisotropic conductive film or indirectly heating the same through the semiconductor chip.

For the tool tip, there are two types of a constant heat system of regularly heating the same to a required temperature and a pulse heat system of instantaneously heating the same only at need in response to the bonding specification of the semiconductor chip.

In either heating system, high accuracy is required to a pressing surface on the forward end of the tool tip following high densification of packaging of the semiconductor chip. Since temperature distribution of the pressing surface in heating is homogeneous and flatness of the pressing surface is excellent from this requirement and the homogeneity of the

temperature distribution and the flatness can be maintained over a long time, a technique of sticking a diamond film to the pressing surface on the forward end of the tool tip is employed.

In case of the pulse heat system, however, there is such a problem that heat response is inferior as compared with a tool tip consisting of a pure metal such as nichrome, molybdenum, inconel or stainless steel to which no diamond film is stuck since temperature rise of the diamond film stuck to the pressing surface on the forward end results from heat transfer from a tool base material.

Namely, the tool tip employing a diamond film requires a long time as compared with the tool tip consisting of a pure metal for heating and cooling the pressing surface on the forward end of the tool tip to prescribed temperatures in response to current pulses. Therefore, it is difficult to reduce the time required for single bonding of the semiconductor chip.

In relation to this point, there is proposed a method of providing a diamond film synthesized by a vapor-phase synthetic method on a pressing surface on a forward end of a tool tip with conductivity for making the diamond film itself generate heat and the problem related to heat response is solved in Japanese Patent Laying-Open Gazette No. 5-304191 or Japanese Patent Laying-Open Gazette No. 5-226421.

Also in U.S. Patent No. 5,488,350, there is proposed employment of a conductive diamond film synthesized by a vapor-phase synthetic method as a heat generator.

According to the technique disclosed in the aforementioned Japanese Patent Laying-Open Gazette No. 5-304191, however, such a structure that the diamond film is brazed to a tool base material of a metal whose coefficient of thermal expansion is different is employed. Hence, there are such problems that distortion takes place in the diamond film due to difference of thermal expansion in temperature rise and flatness of the pressing surface on the forward end of the tool tip is hard to ensure.

According to the technique disclosed in the aforementioned Japanese Patent Laying-Open Gazette No. 5-226421, there are such problems that the cost for the tool tip increases and the tool tip is easy to break in

handling thereof since it comes to that the use material for the tool tip itself is diamond.

According to the technique disclosed in U.S. Patent No. 5,488,350, further, the conductive diamond film is patternedly formed similarly to a heater wire, i.e., the conductive diamond film is selectively grown in order to homogenize temperature distribution of the heat generator. Therefore, $SiO_2$ or the like is formed on a substrate or insulating diamond in a reverse pattern shape to the pattern of the conductive diamond film through sputtering or the like, for forming the conductive diamond film by employing this as a mask. However, it is necessary to make formation by controlling the film thickness of $SiO_2$ in high accuracy. Further, there are such problems that a step of dissolving/removing $SiO_2$ is required after forming the conductive diamond film and the tool tip manufacturing cost increases.

Disclosure of the Invention

An object of the present invention is to provide a tool tip maintaining flatness of a flat surface on a forward end of the tool tip in high accuracy, in which handling and attachment/detachment to/from equipment is easy and a manufacturing method of a heat generating part is simpler, and a bonding tool comprising the tool tip and a control method for the bonding tool, which have been proposed in order to solve such problems.

A tool tip in one aspect based on the present invention has, in a tool tip employing a vapor-phase synthesized conductive polycrystalline diamond film for a forward end portion for pressure bonding, a substrate mainly composed of at least one material selected from a group consisting of a diamond polycrystal, Si, SiC, AlN, $Si_3N_4$ and single-crystalline diamond, a conductive polycrystalline diamond film, applied to a surface employed for pressure bonding, a surface opposite to this surface or at least two side surfaces intersecting with these surfaces on the aforementioned substrate, which is in the ranges of at least $1 \times 10^{-4}$ Ωcm and less than $1 \times 10^{3}$ Ωcm in specific resistance and at least 0.1 μm and not more than 500 μm in film thickness and a metal film applied onto the aforementioned conductive

polycrystalline diamond film for introducing power into the aforementioned conductive polycrystalline diamond film.

In the conductive polycrystalline diamond film, it is difficult to form the same as a continuous film whose film thickness is homogeneous if the film thickness if not more than 0.1 μm. Further, in-plane temperature distribution abruptly deteriorates if the film thickness is not more than 0.1 μm, since a local heating value depends on the film thickness of conductive polycrystalline diamond.

If the film thickness is in excess of 500 μm, on the other hand, the electric energy required for temperature rise increases since the heat capacity of the tool tip increases. Consequently, the temperature rise characteristic and the cooling characteristic of the tool tip get inferior. Further, the cost for forming the conductive polycrystalline diamond film increases while warping of the material increases due to stress of the conductive polycrystalline film. In addition, a polishing time for attaining flatness of the surface of the conductive polycrystalline diamond film abruptly lengthens and the working cost for the surface of the conductive polycrystalline diamond film increases.

For the above reasons, it is possible to obtain a conductive polycrystalline diamond film which is excellent in flatness and temperature rise/cooling characteristics with a low film forming cost by rendering the film thickness of the conductive polycrystalline diamond at least 0.1 μm and not more than 500 μm.

As to the specific resistance of the conductive polycrystalline diamond film, contact resistance with the metal film increases to readily spark in energization if the specific resistance of the conductive polycrystalline diamond is high. In order to avoid this, therefore, specific resistance of not more than $1 \times 10^3$ Ωcm is necessary. When an impurity content becomes not more than $1 \times 10^{-4}$ Ωcm, on the other hand, it comes to incur deterioration of the conductive polycrystalline diamond film and to damage characteristics such as heat conductivity, abrasion resistance and the like.

In order to quickly increase the temperature to a prescribed level in

the tool tip, on the other hand, it is necessary to apply power of about 600 W to 1 KW to the tool tip with a power source of 100 V-20A capacity. In consideration of the film thickness of the aforementioned conductive polycrystalline diamond, therefore, it is preferable that the specific resistance is at least $1 \times 10^{-4}$ Ωcm and not more than $1 \times 10^{1}$ Ωcm.

In case of structuring the conductive polycrystalline diamond film from at least two types of films whose contents of boron differ from each other, for example, forming a conductive polycrystalline diamond film whose content of boron is high on the aforementioned substrate side and forming a conductive polycrystalline diamond whose content of boron is low on this film, change of the specific resistance value must be less than 0.1 Ω with film thickness change of several μm resulting from polishing in the upper layer conductive polycrystalline diamond film whose content of boron is low. Consequently, it is preferable that the specific resistance of the conductive polycrystalline diamond is at least $1 \times 10^{1}$ Ωcm and less than $1 \times 10^{3}$ Ωcm.

For the above reasons, it is most preferable to have specific resistance of at least $1 \times 10^{-4}$ Ωcm and less than $1 \times 10^{3}$ Ωcm in the conductive polycrystalline diamond film.

By thus employing the conductive polycrystalline diamond film having the aforementioned film thickness and specific resistance, it comes to that this conductive polycrystalline diamond film itself resistively generates heat. Further, this conductive polycrystalline diamond film is excellent in heat conductivity, and the surface employed for pressure bonding can obtain homogeneous temperature distribution. In addition, it comes to heat generation of only a part of the conductive polycrystalline diamond film coming into contact with a semiconductor chip, whereby the heat capacity reduces and heat response quickens up.

Further, only a necessary part may be heated, to hardly exert influence on the periphery by heat. In addition, no warping of the conductive polycrystalline diamond film takes place in temperature rise since the same is not in a brazed structure to the substrate dissimilarly to the conventional tool tip.

In the aforementioned aspect, preferably at least one or more suction through holes are provided from the aforementioned surface employed for the aforementioned pressure bonding to the surface opposite to the aforementioned surface.

Thus, by providing the suction through hole(s) on the surface employed for pressure bonding, carriage of the semiconductor chip becomes easy. Further, the pressing surface on the forward end of the tool tip, i.e., the surface employed for pressure bonding and the surface opposite thereto are provided to be parallel to each other, whereby it becomes possible to readily perform adjustment of the parallelism in mounting to external equipment.

In the aforementioned aspect, the aforementioned conductive polycrystalline diamond film is a film formed by addition of an impurity, and boron is employed for this impurity. On the other hand, the aforementioned conductive polycrystalline diamond film is a film formed by introduction of a fault, and this fault has an sp2 structure.

By employing such a conductive polycrystalline diamond film, it becomes possible to make the aforementioned conductive polycrystalline diamond film implemented.

Preferably in the aforementioned aspect, the aforementioned conductive polycrystalline diamond film is so provided that its surface roughness is at least 0.1 μm and not more than 10 μm. Thus, by rendering the surface roughness at least 0.1 μm and not more than 10 μm, a conductor film electrode on a rear surface of the tool tip and a metal electrode of a feed holder provided in the exterior are brought into contact by vacuum suction and energized. Therefore, occurrence of a small spark can also be suppressed by increasing contact areas of the tool tip and the metal electrode and improving the contact state. Further, heat transfer from the tool tip to a feed member is improved and cooling quickens up.

In the aforementioned aspect, further, preferably it further has a polycrystalline diamond film which is at least $10^5$ Ωcm in specific resistance and at least 1 μm and not more than 1000 μm in film thickness on the outermost layer of the pressing surface. Thus, it becomes possible to

prevent conduction to the packaged semiconductor chip and dielectric breakdown of the semiconductor chip beforehand.

In the aforementioned aspect, preferably the aforementioned surface of the aforementioned substrate employed for pressure bonding and the surface opposite to this surface are parallel to each other, and are so provided that the parallelism thereof is within 0.1 nm with reference to the aforementioned surface employed for the aforementioned pressure bonding. Thus, it becomes possible to perform packaging of the semiconductor chip readily and in high accuracy.

Preferably in the aforementioned aspect, boron of at least 100 ppm and not more than 50000 ppm is added to the aforementioned conductive polycrystalline diamond film. If the boron content is in excess of 50000 ppm here, heat conductivity which is a characteristic of diamond deteriorates. Further, it becomes difficult to make synthesis while homogeneously controlling the content. Since the heating value depends on the content of boron, temperature distribution in the tool tip surface deteriorates if the boron content is heterogeneous. If the boron content is not more than 100 ppm, a necessary specific resistance value cannot be obtained.

For the above reasons, it becomes possible to obtain a conductive polycrystalline diamond film in the aforementioned most preferable state by adding boron of at least 100 ppm and not more than 50000 ppm.

In the aforementioned aspect, preferably the aforementioned conductive polycrystalline diamond film is formed by introducing a fault having an sp2 structure, and so provided that the ratio (sp2/sp3) of the maximum values of sp2 and sp3 peaks of a Raman spectrum is at least 0.5 and not more than 10.

When the introduction quantity of the fault of the sp2 structure into the conductive polycrystalline diamond film increases here, the specific resistance value reduces. While it is difficult to quantitatively know the fault density of the sp2 structure introduced into the conductive polycrystalline diamond film, it is possible to qualitatively know the fault density of the sp2 structure from the ratio of peak intensity of a spectrum of

1333 $cm^{-1}$ resulting from an sp3 structure of diamond and peak intensity of a broad spectrum in the vicinity of 1540 $cm^{-1}$ resulting from the sp2 structure. Therefore, no preferable specific resistance is obtained although the film quality is excellent if this peak intensity ratio is less than 0.5 since the fault density is small, while the film quality of diamond deteriorates and no desired performance is obtained if it exceeds 10.

For the above reasons, a conductive polycrystalline diamond film in a more preferable state is obtained by rendering the ratio (sp2/sp3) of the maximum values of the sp2 and sp3 peaks of the Raman spectrum at least 0.5 and not more than 10.

Preferably in the aforementioned structure, the aforementioned conductive polycrystalline diamond film includes at least two layers of films, and the aforementioned outermost surface layer is any of at least one metal material selected from a group consisting of Au, Pt, Ag, Ni, Ta and Cr, or an AgPd alloy, a Pt-Ir alloy, or an oxide containing Ag and at least one or more elements selected from a group consisting of Gd, In, Sn, Zn and Cu, or a metal carbide containing Ag and W.

Thus, it is possible to obtain a conductive polycrystalline diamond film which is strong in oxidation resistance under a high temperature and excellent in deposition resistance, abrasion resistance and insulation recoverability.

In the aforementioned aspect, preferably at least four portions of independent metal layers are further provided on an outer peripheral portion of the tool tip, in order to supply power to an effective area outer peripheral portion of the surface employed for pressure bonding on the aforementioned conductive polycrystalline diamond film. Thus, it becomes possible to further homogenize in-plane temperature distribution of the tool tip.

The bonding tool based on the present invention comprises, in a bonding tool employing vapor-phase synthesized polycrystalline diamond on a forward end portion for pressure bonding, a tool tip having a substrate mainly composed of at least one material selected from a group consisting of a diamond polycrystal, Si, SiC, AlN, $Si_3N_4$ and single-crystalline diamond, a

vapor-phase synthesized conductive polycrystalline diamond film applied to a surface employed for pressure bonding, a surface opposite to this surface or at least two side surfaces intersecting with these surfaces on the aforementioned substrate, and a metal film applied onto the aforementioned vapor-phase synthesized conductive polycrystalline diamond film for supplying power to the aforementioned vapor-phase synthesized conductive polycrystalline diamond film, and a feed holder having a metal electrode for feeding electricity to this tool tip and a ceramic base supporting this metal electrode.

Thus, by comprising the feed holder for feeding electricity to the tool tip, it becomes possible to mount the bonding tool in the present invention without making alterations in an external device for mounting the bonding tool.

Preferably in the aforementioned aspect, the aforementioned feed holder has a vacuum suction groove for sucking the aforementioned tool tip, at least one suction through hole communicating with this vacuum suction groove, and conductor films provided on at least two portions for supplying power to the said tool tip, and has an insulating ceramic base in which flatness of a surface of the aforementioned ceramic base coming into contact with the aforementioned tool tip is less than 3 μm, a ceramic base which is low in heat conductivity and has an insulation property, and a metal base covered with a metal film for preventing oxidation on its surface. By employing the feed holder consisting of this structure, it becomes possible to supply stable power to the aforementioned tool tip while reliably holding the aforementioned tool tip, and it becomes possible to provide a bonding tool whose reliability is high.

Preferably in the aforementioned aspect, the conductor films on the aforementioned ceramic base include at least two layers of films, and any of at least one metal selected from a group consisting of Au, Pt, Ag, Ni, Ta and Cr, or an AgPd alloy, a Pt-Ir alloy, or an oxide containing Ag and at least one or more elements selected from a group of Gd, In, Sn, Zn and Cu, or a metal carbide containing Ag and W is employed for the outermost surface layer. Thus, by employing the aforementioned metal for the conductor

films, it becomes possible to provide a bonding tool having a feed holder having a high melting point which is strong in oxidation resistance under a high temperature and excellent in deposition resistance, abrasion resistance and insulation recoverability.

The control method for the bonding tool based on the present invention is a control method for a bonding tool having a tool tip formed with a vapor-phase synthesized conductive polycrystalline diamond film on its forward end surface, which measures change of electric resistance of the aforementioned vapor-phase synthesized conductive polycrystalline diamond film and performs temperature control of the bonding tool.

Thus, a voltage applied to the vapor-phase synthesized polycrystalline diamond film and a current value are measured and a resistance value is obtained by measuring the electric resistance of the vapor-phase synthesized conductive polycrystalline diamond film, whereby incorporation of a temperature measuring mechanism into the feed holder provided on the bonding tool becomes unnecessary, for example, and it becomes possible to obtain miniaturization of the bonding tool and an excellent temperature rise characteristic by high temperature response of the bonding tool.

Brief Description of the Drawings

Fig. 1A to Fig. 1C are diagrams showing the structure of a tool tip in the present invention, Fig. 1A is a plan view thereof, Fig. 1B is a front elevational view thereof, and Fig. 1C is a side elevational view thereof.

Fig. 2 is a diagram showing the correlation between the film thickness of a conductive polycrystalline diamond film and in-plane temperature distribution.

Fig. 3 is a diagram showing the relation between the film thickness of the conductive polycrystalline film and a polishing time.

Fig. 4A to Fig. 4C are diagrams showing another structure of the tool tip in the present invention, Fig. 4A is a plan view thereof, Fig. 4B is a front elevational view thereof, and Fig. 4C is a bottom plan view thereof.

Fig. 5A to Fig. 5C are diagrams showing still another structure of the

tool tip in the present invention, Fig. 5A is a plan view thereof, Fig. 5B is a front elevational view thereof, and Fig. 5C is a bottom plan view thereof.

Fig. 6A and Fig. 6B are diagrams showing the structure of a feed holder in the present invention, Fig. 6A is a sectional view thereof, and Fig. 6B is a bottom plan view thereof.

Fig. 7A to Fig. 7C are diagrams showing the structure of a tool tip in Concrete Example 1, Fig. 7A is a plan view thereof, Fig. 7B is a front elevational view thereof, and Fig. 7C is a side elevational view thereof.

Fig. 8A and Fig. 8B are diagrams showing the structure of a feed holder for feeding electricity to the tool tip in Concrete Example 1, Fig. 8A is a sectional view thereof, and Fig. 8B is a bottom plan view thereof.

Fig. 9A and Fig. 9B are diagrams showing a structure in case of mounting the tool tip in Concrete Example 1 on the feed holder, Fig. 9A is a sectional view thereof, and Fig. 9B is a bottom plan view thereof.

Fig. 10 is a perspective view showing a bonding tool in prior art as comparative example.

Fig. 11 is a diagram showing characteristic evaluation of the tool tip in Concrete Example 1.

Fig. 12 is a diagram showing characteristics in case of changing the specific resistance value, the film thickness and the boron content of a conductive polycrystalline diamond film in Concrete Example 1.

Fig. 13A to Fig. 13C are diagrams showing the structure of a tool tip in Concrete Example 2, Fig. 13A is a plan view thereof, Fig. 13B is a front elevational view thereof, and Fig. 13C is a bottom plan view thereof.

Fig. 14A and Fig. 14B are diagrams showing the structure of a feed holder for feeding electricity to the tool tip in Concrete Example 2, Fig. 14A is a sectional view thereof, and Fig. 14B is a bottom plan view thereof.

Fig. 15 is a diagram showing characteristic evaluation of the tool tip in Concrete Example 2.

Fig. 16 is a diagram showing a resistance curve of the temperature of the tool tip in Concrete Example 2.

Fig. 17A to Fig. 17C are diagrams showing the structure of a tool tip in Concrete Example 3, Fig. 17A is a plan view thereof, Fig. 17B is a front

elevational view thereof, and Fig. 17C is a bottom plan view thereof.

Fig. 18 is a diagram showing characteristic evaluation of the tool tip in Concrete Example 3.

Fig. 19 is a diagram showing a resistance curve of the temperature of the tool tip in Concrete Example 3.

Fig. 20A and Fig. 20B are diagrams showing the structure of a feed holder for feeding electricity to a tool tip in Concrete Example 4, Fig. 20A is a sectional view thereof, and Fig. 20B is a bottom plan view thereof.

Fig. 21 is a diagram showing characteristic evaluation of the tool tip in Concrete Example 4.

Fig. 22A and Fig. 22B are diagrams showing the structure of a tool tip in Concrete Example 5, Fig. 22A is a plan view thereof, and Fig. 22B is a sectional view thereof.

Fig. 23A and Fig. 23B are diagrams showing the structure of a feed holder for feeding electricity to the tool tip in Concrete Example 5, Fig. 23A is a sectional view thereof, and Fig. 23B is a bottom plan view thereof.

Fig. 24A and Fig. 24B are diagrams showing a structure mounting the tool tip in Concrete Example 5 on the feed holder, Fig. 24A is a sectional view thereof, and Fig. 24B is a bottom plan view thereof.

Fig. 25 is a diagram showing characteristic evaluation of the tool tip in Concrete Example 5.

Best Modes for Carrying Out the Invention

Embodiments of the bonding tool based on the present invention are now described with reference to the drawings.

First, the structure of a tool tip forming the bonding tool based on the present invention is described with reference to Fig. 1A to Fig. 1C.

This tool tip 100 is provided with a substrate 2 and a forward end surface 3 for pressure bonding on an upper surface side of this substrate 2. A conductive polycrystalline diamond film 1 having conductivity having specific resistance in the range of at least $1 \times 10^{-4}$ Ωcm and less than $1 \times 10^{3}$ Ωcm is formed by a vapor-phase synthetic method on the forward end surface 3 of the substrate 2 for pressure bonding and side surfaces

intersecting with the plane of this forward end surface 3. This conductive polycrystalline diamond film 1 is applied with its film thickness in the range of 0.1 μm to 500 μm.

The film thickness and the specific resistance of the conductive polycrystalline diamond film 1 are now described with reference to Fig. 2 and Fig. 3. If the film thickness of the conductive polycrystalline diamond film 1 is not more than 0.1 μm, it is difficult to form the same as a continuous film with its film thickness homogeneous. Since a local heating value depends on the film thickness of the conductive polycrystalline diamond film, in-plane temperature distribution abruptly deteriorates if the film thickness becomes less than 0.1 μm, as shown in Fig. 2.

If the film thickness is in excess of 500 μm, on the other hand, the heat capacity of the tool tip 100 increases and hence the quantity of power required for temperature rise increases and temperature rise and cooling characteristics get inferior. Further, the cost for forming the conductive polycrystalline diamond film increases while warping of the material increases due to stress of the conductive polycrystalline diamond film.

Therefore, a polishing time for attaining flatness abruptly lengthens if the film thickness is in excess of 500 μm as shown in Fig. 3, and the working cost increases. Therefore, it can be said that the film thickness of the conductive polycrystalline diamond film is preferably at least 0.1 μm and not more than 500 μm.

As to the value of the specific resistance, contact resistance with a metal electrode is high to readily spark in energization if the specific resistance of the conductive polycrystalline diamond film is high. In order to avoid this, specific resistance of not more than $1 \times 10^3$ Ωcm is necessary. If an impurity content becomes not more than $1 \times 10^{-4}$ Ωcm, it comes to incur deterioration of the film quality of the conductive polycrystalline diamond film and to damage characteristics such as heat conductivity, abrasion resistance and the like.

In order to quickly increase the temperature of the conductive polycrystalline diamond film to a prescribed level, on the other hand, it is

necessary to apply power of about 500 W to 1 KW to the tool tip with a power source of 100 V-20 A capacity. Therefore, it is preferable that the area of the tool pressing surface is generally several 100 $mm^2$, and that the specific resistance is in the range of at least $1 \times 10^{-4}$ Ωcm and not more than $1 \times 10^{3}$ Ωcm, in consideration of the film thickness of the aforementioned conductive polycrystalline diamond film.

In case of structuring the conductive polycrystalline diamond film from at least two types of films whose contents of boron differ from each other, for example, forming a conductive polycrystalline diamond film whose content of boron is high on the aforementioned substrate side and forming a conductive polycrystalline diamond film whose content of boron is low on this film, it is necessary for the upper layer conductive polycrystalline diamond film whose content of boron is low that change of a resistance value is less than 0.01 Ω with film thickness change of several μm resulting from polishing. Consequently, it is preferable that the specific resistance of the conductive polycrystalline diamond is at least $1 \times 10^{1}$ Ωcm and not more than $1 \times 10^{3}$ Ωcm. Therefore, it can be said preferable that the specific resistance required to the conductive polycrystalline diamond film is at least $1 \times 10^{-4}$ Ωcm and less than $1 \times 10^{3}$ Ωcm.

By thus employing the conductive polycrystalline diamond film having the aforementioned film thickness and specific resistance, it comes to that this conductive polycrystalline diamond film itself resistively generates heat. Further, this conductive polycrystalline diamond film is excellent in heat conductivity, and homogeneous temperature distribution is obtained on the surface employed for pressure bonding. Further, it comes to heat generation of only a part of the conductive polycrystalline diamond film coming into contact with a semiconductor chip, whereby the heat capacity reduces and heat response quickens up.

Here, it is known that a conductive polycrystalline diamond film to which boron is added as an impurity changes to a low resistance state under a high temperature since the same is a p-type semiconductor, and the specific resistance and temperature dependency of the specific

resistance vary with the temperature of boron ((H. Shiomi, J.J.J.B. 30. 1363 (1991)).

The smaller the content of boron is, the higher the specific resistance of a diamond polycrystal is and the larger a change rate with respect to the temperature is. If the density of an additive is less than $10^{18}$ atm·$m^{-3}$, the value of the specific resistance reduces by $10^{-3}$ [Ω.cm] (Diamond and related materials 4,948 (1995)).

On the other hand, the impurity level degenerates and becomes a metallic band structure (causes Mott dislocation) if the atom concentration of the added boron exceeds 2000 ppm, whereby it has metallic conductivity. Namely, it changes to a high resistance state depending on increase of the temperature, whereby temperature control as a heater becomes easy.

If boron of at least 50000 ppm is added, deterioration of the film quality is remarkable and the characteristics of diamond such as high hardness and high heat conductivity are lost. Therefore, the boron concentration of the conductive polycrystalline diamond film is desirably at least 100 ppm and less than 50000 ppm.

If the introduction quantity of the fault of the sp2 structure increases, the specific resistance reduces depending on this in the conductive polycrystalline diamond film. It is difficult to quantitatively know the fault density of the sp2 structure introduced into the conductive polycrystalline diamond film. However, it is possible to qualitatively obtain the fault density of the sp2 structure from the ratio of peak intensity of a spectrum of 1333 $cm^{-1}$ resulting from an sp3 structure of diamond and peak intensity of a broad spectrum in the vicinity of 1540 $cm^{-1}$ resulting from the sp2 structure. Since the fault concentration is small if this ratio of peak intensity is less than 0.5, no preferable specific resistance is obtained although the film quality of the conductive polycrystalline diamond film is excellent. On the other hand, the film quality of the conductive polycrystalline diamond film deteriorates and no desired performance is obtained if the ratio of the peak intensity exceeds 10.

As a conductor film of the outermost surface, any of at least one metal material, which has a high melting point and strong in oxidation

resistance under a high temperature, selected from a group consisting of Au, Pt, Ag, Ni, Ta and Cr, or an AgPd alloy or a Pt-Ir alloy which is excellent in deposition resistance, damage characteristics and insulation recoverability, or an oxide containing Ag and at least one or more elements selected from a group consisting of Gd, In, Sn, Zn and Cu, or a metal carbide containing Ag and W is preferable.

Referring again to Fig. 1A to Fig. 1C, a suction through hole 5 employed for carrying a semiconductor chip is further provided in this tool tip 100. Further, electrode metals 4 for feeding electricity to the conductive polycrystalline diamond film 1 are provided on the conductive polycrystalline diamond film 1 provided on the side surfaces of the substrate 2.

In the tool tip 100 thus formed, it comes to that the conductive polycrystalline diamond film 1 resistively generates heat by feeding electricity from the surfaces formed with the electrode metals 4. Further, it is possible to make cooling from an outer peripheral portion of the tool tip 100 relaxed by providing these electrode metals 4 only on outer peripheral portions of an effective area of the tool tip 100 employed for pressure bonding and making heat generation along the outer peripheral portions.

In this case, it becomes possible to supply power only to outer peripheral portions without providing a complicated circuit pattern by providing electrode metals 4 of at least four portions and supplying potential difference between adjacent electrodes as in a tool tip 200 shown in Fig. 4A to Fig. 4C.

The electrode metals 4 are not restricted to the surfaces shown in Fig. 1A to Fig. 1C and Fig. 2 but may be partially formed on a surface opposite to the forward end surface 3 depending on external packaging equipment. Therefore, it may simply be a structure capable of feeding electricity to the conductive polycrystalline diamond film 1 and heat-generating or heating the surface employed for pressure bonding.

On the other hand, the substrate 2 mainly composed of at least one material selected from a diamond polycrystal synthesized by a vapor-phase synthetic method, which strongly adheres to the conductive polycrystalline

diamond film 1, Si, SiC, AlN, $Si_3N_4$ and diamond is employed as the material forming the substrate 2, and the dimensions of the substrate 2 are individually decided from the size of the required tool tip.

In case of such a structure that the conductive polycrystalline diamond film 1 directly comes into contact with the semiconductor chip, it may happen that an energization current for heat generation leaks to the semiconductor chip side to break the circuit. In this case, it is possible to prevent a leakage current by covering an outer layer part of a conductive polycrystalline diamond film 1 with an insulating diamond film 6 having specific resistance of at least $10^5$ Ωcm as in the structure of a tool tip 300 shown in Fig. 5A to Fig. 5C.

The structure of a feed holder for feeding power to the tool tip is now described with reference to Fig. 6A and Fig. 6B. Insulating ceramics 10 having high strength forming a base, conductor films 12 for supplying power to the tool tip, a tool tip suction groove 14 and a tool tip suction vacuum tube 15 for sucking the tool tip, and a semiconductor chip suction vacuum tube 16 for the tool tip for sucking a semiconductor chip are provided, and a temperature measurer 17 for measuring the temperature of the tool tip is further incorporated. The temperature of the tool tip measured by this temperature measurer 17 is fed back to a temperature control mechanism.

Further, low heat conduction insulating ceramics 18 whose heat conductivity is low is employed in a contact part with an external device, for heat insulation from the external device. In addition, metal electrodes 19 on which metal films whose high temperature oxidation resistance is strong are mounted for feeding to the conductor films 12.

As to the low heat conduction insulating ceramics 18, that having high strength whose heat conductivity is small and not more than 50 W/mk for reducing heat capacity of a heater part is desirable since it is necessary to apply a load in packaging of the semiconductor chip.

In case of employing an insulating diamond polycrystal for the substrate 2 of the tool tip here, it also becomes possible to utilize the surface of the substrate 2 opposite to the surface covered with the

conductive polycrystalline diamond film 1 as the surface for pressure-bonding the semiconductor chip.

In temperature measurement of a tool tip of a conventional structure in case of mounting a thermocouple, there has been such a problem that the thermocouple peels off. In a tool tip whose temperature response is quickly, further, the temperature response deteriorates due to addition of the heat capacity of the thermocouple itself, and it has been impossible to apply temperature control shortening a packaging time by making the best use of its performance. Therefore, it is necessary to employ a thermometer which is quickly in temperature response and capable of making non-contact measurement. Therefore, a radiation thermometer of an optical fiber system is desirable to be incorporated into an external packaging device which is limited in volume.

Further, electric specific resistance of a conductive polycrystalline diamond film changes depending on the temperature and exhibits a thermistor characteristic, as described above. Therefore, it also becomes possible to measure the resistance value on the basis of a voltage applied to the conductive polycrystalline diamond film and a current value, to obtain the temperature of the tool tip and to control the temperature of the tool tip through this thermistor characteristic. In this case, incorporation of a temperature measuring mechanism into the feed holder becomes unnecessary.

More Concrete Examples of the tool tip and the feed holder in the aforementioned embodiments are now described below.

[Concrete Example 1]

First, the structure of a tool tip 400 in this Concrete Example 1 is described with reference to Fig. 7A to Fig. 7C. A conductive polycrystalline diamond film 1 of about 10 μm in film thickness and $8 \times 10^{-3}$ Ωcm in specific resistance to which boron is added as an impurity is deposited by a vapor-phase synthetic method on a surface of 20 mm × 20 mm of an SiC substrate 2 of 20 mm × 20 mm × 5 mm having one suction through hole 5 of about 1 mm in diameter on its central portion. Thereafter an insulating diamond film 6 is further deposited by 50 μm on

the conductive polycrystalline diamond film 1.

Both of the conductive polycrystalline diamond film 1 and the insulating diamond film 6 are formed by microwave plasma CVD with methane and hydrogen as gas.

The gas flow rates in this film formation are 5 sccm for methane and 500 sccm for hydrogen, and diborane of B/C = 20000 ppm with respect to methane was added to the material gas in film formation of the conductive polycrystalline diamond film 1.

When a conductive polycrystalline diamond film synthesized by the same conditions was analyzed by SIMS, boron was contained by 2000 ppm.

Thereafter as electrodes on side surface parts of the SiC substrate 2, Ti was coated by 1 μm, Pt was coated thereon by 1 μm, and Au was further coated on this Pt by 3 μm.

Then, the conductive polycrystalline diamond film 1 becoming a pressing surface on the forward end of the tool tip was finished by lapping to be 0.1 μm in surface roughness Rmax and 0.01 mm in parallelism with an opposite surface, for preparing the tool tip 400 in this Concrete Example.

Then, with reference to Fig. 8A, Fig. 8B, Fig. 9A and Fig. 9B, a feed holder 410 consisting of the structure shown in Fig. 8A and Fig. 8B is mounted on external packaging equipment, for making this feed holder 410 mount the tool tip 400 by vacuum suction. Thereafter a temperature rise time from 20°C to 500°C, a cooling time in air cooling from 500°C to 80°C, temperature distribution of the forward end surface, flatness of the forward end surface, and a state of the tool tip 400 after a repetitive heating test of 100,000 times were observed with respect to this tool tip 400.

As comparative example, a conventional tool tip in which a vapor-phase synthesized diamond film 51 of 1.0 mm in film thickness was brazed to a heat generating part of an Mo shank 50 was prepared as shown in Fig. 10, and similar evaluation was made. Fig. 11 shows the results.

As shown in Fig. 11, it is understood that the tool tip in this Concrete Example is superior in all valuation points except that both of the tool tip in this Concrete Example and the tool tip of the conventional form had equivalent results in the temperature distribution of 500°C and the

repetitive heating test of 100,000 times.

While the conventional tool tip required 45 minutes for mounting on equipment here, it becomes possible to mount the tool tip in Concrete Example of this time in about one minute since the parallelism of a mounting surface to the equipment and the surface employed for pressure bonding is kept.

Further, tool tips of the same shape shown in Fig. 7A to Fig. 7C were prepared in 11 types while changing the specific resistance values, film thicknesses and boron contents of conductive polycrystalline diamond films for making evaluation. Fig. 12 shows the results. Boron contents were obtained by analyzing samples prepared under the same conditions by SIMS. Results of temperature rise from 20°C to 500°C, cooling from 500°C to 80°C, in-plane temperature distribution at 500°C, and surface state observation by ×50 microscope observation after an endurance test after 1,000,000 cycle heating are shown. As understood from Fig. 12, there was no one capable of attaining sufficient performance in all characteristics in the tool tips other than Nos. 5, 6 and 7. Also from these data, therefore, it is understood preferable that the specific resistance of the conductive polycrystalline diamond film employed for the tool tip is at least $1 \times 10^{-4}$ Ωcm and less than $1 \times 10^{3}$ Ωcm and the film thickness is at least 0.1 μm and not more than 500 μm.

[Concrete Example 2]

Concrete Example 2 is now described.

Referring to Fig. 13A to Fig. 13C, a conductive polycrystalline diamond film 1 of 8 μm in film thickness and $8 \times 10^{-3}$ Ωcm in specific resistance to which boron was added as an impurity was deposited by a vapor-phase synthetic method on a substrate 2 consisting of insulating polycrystalline diamond of 12 mm × 12 mm × 0.3 mm in a tool tip 420 in this Concrete Example 2.

As to growth of a boron-added layer, film formation was performed by thermal filament CVD with methane, hydrogen and trimethyl boron of 5000 ppm with respect to methane as material gas.

When a conductive polycrystalline diamond film synthesized by the

same conditions was analyzed by SIMS, boron was contained by 800 ppm.

After formation of the conductive polycrystalline diamond film 1, a suction through hole 5 of about 1 mm in diameter was formed on a central portion of the substrate 2 by excimer laser beam machining.

After forming the suction through hole 5, Ti was coated by 1 μm on the conductive polycrystalline diamond film 1 as an electrode, Mo was coated thereon by 2 μm, Au was coated further thereon by 3 μm, and finally NI was coated by 1 μm. An opposite surface of the surface of the substrate 2 covered with the conductive polycrystalline diamond film 1 was finished into 0.1 μm in Rmax, for preparing the tool tip 420 in this Concrete Example.

As shown in Fig. 14A and Fig. 14B, a feed holder 430 is mounted on equipment for external packaging, for making this feed holder 430 mount the tool tip 420 by vacuum suction. Thereafter a temperature rise time from 20°C to 600°C, a cooling time in air cooling from 600°C to 80°C, temperature distribution of the forward end surface, flatness of the forward end surface and a state of the tool tip after repetitive heating of 100,000 times were observed. As comparative example, evaluation was made by employing the tool tip of the conventional form shown in Fig. 10. While a method of mounting a thermocouple to a metal shank part by spot welding was employed for temperature control of the conventional tool tip, it was made through change of the resistance value of conductive diamond resulting from the temperature in the tool tip in this Concrete Example. Fig. 15 shows the results. Fig. 16 shows a resistance curve of the temperature of the tool tip in this Concrete Example.

As understood from Fig. 15 and Fig. 16, it was recognized that the tool tip of this Concrete Example was superior in all points except the results of the tool tip of this Concrete Example and the tool tip of the conventional form in the temperature distribution of 600°C.

[Concrete Example 3]

Concrete Example 3 is now described.

With reference to Fig. 17A to Fig. 17C, the structure of a tool tip 440 in this Concrete Example is described. A conductive polycrystalline

diamond film 1 of about 10 μm in film thickness and $1 \times 10^3$ Ωcm in specific resistance containing a crystal fault synthesized and obtained with high methane concentration is deposited on a surface of 20 × 20 mm of an SiC substrate 2 of 20 mm × 20 mm × 3 mm having one suction through hole 5 of about 1 mm in diameter on its central portion.

Thereafter an insulating diamond film 6 is deposited on a surface opposite to the conductive polycrystalline diamond film 1 by about 50 μm. Both of the conductive polycrystalline diamond film 1 and the insulating diamond film 6 were synthesized by microwave plasma CVD with methane and hydrogen as material gas. The methane flow rate in film formation of the conductive polycrystalline diamond film 1 was 50 sccm, and that of hydrogen was 500 sccm.

In this conductive polycrystalline diamond film 1, a peak in the vicinity of 1500 $cm^{-1}$ exhibiting an sp2 structure was observed to about the same extent as a peak of 1333 $cm^{-1}$ exhibiting an sp3 structure of diamond by Raman spectroscopic analysis.

As electrodes on the conductive polycrystalline diamond film 1, Ti of 1 μm, Pt of 1 μm and Au of 3 μm were coated in superposition, and Ta was coated further thereon by 0.5 μm. The insulating diamond film 6 becoming a pressing surface on the forward end of the tool tip was finished into 0.1 μm in surface roughness Rmax and 0.01 mm in parallelism with the opposite surface by lapping, for preparing the tool tip 440 based on this Concrete Example.

The tool tip 440 consisting of this structure was mounted on the feed holder 430 shown in Fig. 14A and Fig. 14B by vacuum suction, and this feed holder 430 was mounted on equipment for external packaging, for making the same evaluation as Concrete Example 1. Fig. 18 shows the results.

It exhibited performance substantially identical to that employing a conductive polycrystalline diamond film to which boron was added as an impurity, and it was recognized that the tool tip in this Concrete Example also attains an effect equivalent to that of the tool tip of Concrete Example 1.

[Concrete Example 4]

A tool tip of the same shape as Concrete Example 3 shown in Fig. 17A to Fig. 17C was prepared. However, a conductive polycrystalline diamond film was formed by thermal filament CVD with methane, hydrogen and trimethyl boron of B/C = 10000 ppm with respect to methane as material gas. It is about 10 μm in film thickness, and $3 \times 10^3$ Ωcm in specific resistance.

Boron was contained by 10000 ppm when this conductive polycrystalline diamond film was analyzed by SIMS, the higher the temperature rises, the higher resistance it attains, and the resistance value becomes constant when the temperature is in excess of 600 K, as shown in Fig. 19.

Ti was coated by 1 μm in electrode parts, and Pt was coated thereon by 2 μm.

The tool tip consisting of this structure was mounted on a feed holder 450 shown in Fig. 20A and Fig. 20B by vacuum suction, and this feed holder 450 was mounted on equipment for packaging. Thereafter the same evaluation as Concrete Example 3 was made. Fig. 21 shows the results.

While the same potential is applied to the electrodes positioned on the opposite angles of the tool tip in the feed holder 430 shown in Fig. 14A and Fig. 14B, different potentials can be supplied to the respective ones of four electrodes in the feed holder shown in Fig. 20A and Fig. 20B. Power was adjusted and temperature control was performed to potentials supplying resistance values between the respective electrodes in total. Therefore, it becomes possible to further homogenize in-plane temperature distribution of the tool tip by suppressing overshoot in temperature rise to not more than 5°C. In this feed holder 450, the tool tip temperature was measured with an optical fiber radiation thermometer 21, for controlling the tool tip temperature. Therefore, an extremely excellent temperature rise characteristic was obtained by making the best use of the high temperature response of the tool tip. As shown in Fig. 21, the temperature distribution is superior to that of the tool tip of Concrete Example 1, and it

has equivalent performance as to the remaining items.

[Concrete Example 5]

Concrete Example 5 is now described.

Referring to Fig. 22A and 22B, an insulating polycrystalline diamond film 6 of about 50 μm in film thickness was deposited on an upper surface of an Si substrate 2 of 10 mm × 10 mm × 3 mm and two layers of conductive polycrystalline diamond films 1 to which boron was added as an impurity were deposited on its opposite surface in a tool tip 460 in this Concrete Example. The first layer was rendered 5 μm in film thickness and $4 \times 10^{-3}$ Ωcm in specific resistance, and the second layer was rendered 10 μm in film thickness and $1 \times 10^{-3}$ Ωcm in specific resistance.

Both of the conductive polycrystalline diamond films 1 and the insulating polycrystalline diamond film 6 were synthesized by filament CVD with methane and hydrogen as material gas. Further, trimethyl boron was employed as material gas for the conductive polycrystalline diamond films, so that B/C was 20000 ppm in the first layer and not more than 1/3 thereof in the second layer.

When conductive polycrystalline diamond films synthesized under the same conditions were analyzed by SIMS, boron was contained in the first layer by 8000 ppm, and boron was contained in the second layer by 100 ppm.

After formation of the conductive polycrystalline diamond films 1, a suction through hole 5 of about 0.5 mm in diameter was formed at the center of the substrate 2 by laser beam machining. After forming the suction through hole 5, four side surfaces of the substrate 2 were worked in taper shapes, the insulating polycrystalline diamond film 1 was rendered 0.1 μm in Rmax by lapping, and the conductive polycrystalline diamond films 1 were removed by 5 μm and finished into 0.2 μm in Rmax.

Further, Ti of 0.2 μm and Ni of 0.5 μm were coated on the conductive polycrystalline diamond films 1 as electrodes, and AgCdO worked into sheet shapes of 3 mm × 3 mm × 0.1 mm was heated to about 650°C in a heating furnace and brazed thereon, for providing conductor films 4.

Further, a ceramic base 7 provided with a through vacuum tube for

sucking a semiconductor chip on a central portion was prepared by silicon nitride, the substrate 2 was held by this and set plates 8 whose side surfaces were worked into taper shapes, and four portions were fixed with set screws 9. Through holes were provided in four portions on positions of the ceramic base 7 coming into contact with the substrate 2 and AgCdO was press-fitted into the interior for providing feed electrodes 10 and preparing the tool tip.

On this tool tip 460, evaluation similar to that in Concrete Example 1 was made with a feed holder 470 shown in Fig. 23A, Fig. 23B, Fig. 24A and Fig. 24B. Fig. 25 shows the results. Consequently, it became possible to improve flatness of a pressing surface.

The embodiments disclosed this time must be considered illustrative in all points and not restrictive. The scope of the present invention is shown not by the above description but the scope of claim for patent, and it is intended that all modifications within the meaning and the range equivalent to the scope of claim for patent are included.

Industrial Availability

The present invention is advantageously applicable to a tool tip employed for packaging a semiconductor chip on a substrate and a bonding tool comprising the tool tip and a control method for the bonding tool.



## CLAIMS

1. In a bonding tool employing a vapor-phase synthesized conductive polycrystalline diamond film on a forward end portion for pressure bonding, a tool tip having:

a substrate mainly composed of at least one material selected from a group consisting of a diamond polycrystal, Si, SiC, AlN, $Si_3N_4$ and single-crystalline diamond;

said conductive polycrystalline diamond film applied to a surface employed for pressure bonding, a surface opposite to this surface or at least two side surfaces intersecting with these surfaces on said substrate, being in the ranges of at least $1 \times 10^{-4}$ Ωcm and less than $1 \times 10^{3}$ Ωcm in specific resistance and at least 0.1 μm and not more than 500 μm in film thickness; and

a metal film applied onto said conductive polycrystalline diamond film for introducing power into said conductive polycrystalline diamond film.

2. The tool tip in accordance with claim 1, further having at least one or more suction through holes provided from said surface employed for said pressure bonding up to the opposite surface of said surface.

3. The tool tip in accordance with claim 1, wherein said conductive polycrystalline diamond film is a film formed by addition of an impurity.

4. The tool tip in accordance with claim 3, wherein said impurity is boron.

5. The tool tip in accordance with claim 1, wherein said conductive polycrystalline diamond film is a film formed by introduction of a fault.

6. The tool tip in accordance with claim 5, wherein said fault has an sp2 structure.

* C L M S *

7. The tool tip in accordance with claim 1, wherein surface roughness of said conductive polycrystalline diamond film is at least 0.1 μm and not more than 10 μm.

8. The tool tip in accordance with claim 1, further having a polycrystalline diamond film having specific resistance of at least $10^5$ Ωcm, whose film thickness is at least 1 μm and less than 1000 μm, on said conductive polycrystalline diamond film formed at least on said surface of said substrate employed for pressure bonding.

9. The tool tip in accordance with claim 1, wherein said surface of said substrate employed for pressure bonding and the surface opposite to this surface are parallel to each other, and the parallelism is within 0.1 μm with reference to said surface employed for said pressure bonding.

10. The tool tip in accordance with claim 4, wherein at least 100 ppm and not more than 50000 ppm of boron is added to said conductive polycrystalline diamond film.

11. The tool tip in accordance with claim 6, wherein said conductive polycrystalline diamond film is formed by introducing a fault having an sp2 structure, and the ratio (sp2/sp3) of maximum values of sp2 and sp3 peaks of a Raman spectrum is at least 0.5 and not more than 10.

12. The tool tip in accordance with claim 1, wherein said metal film is of at least two layers, and the outermost surface layer is any of a pure metal of any of Au, Pt, Ag, Ni, Ta and Cr or an alloy by a combination of at least two among these, or AgPd, a Pt-Ir alloy, or an oxide containing Ag and at least one element of Cd, In, Sn, Zn and Cu or a metal carbide containing Ag and W.

13. The tool tip in accordance with claim 1, further providing supply of power/at least four portions of independent metal layers on an outer

peripheral portion of the tool tip, in order to supply power to an effective area outer peripheral portion of said conductive polycrystalline diamond film employed for pressure bonding.

14. The tool tip in accordance with claim 10, wherein said conductive polycrystalline diamond film is formed from at least two types of films whose contents of boron differ from each other, for providing a conductive polycrystalline diamond film whose content is high on a side close to said substrate and providing a conductive polycrystalline diamond layer whose content is low thereon.

15. A bonding tool employing a vapor-phase synthesized conductive polycrystalline diamond film on a forward end portion for pressure bonding, having:

a tool tip having a substrate mainly composed of at least one material selected from a group consisting of a diamond polycrystal, Si, SiC, AlN, $Si_3N_4$ and single-crystalline diamond,

said conductive polycrystalline diamond film applied to a surface employed for pressure bonding, a surface opposite to this surface or at least two side surfaces intersecting with these surfaces on said substrate, and

a metal film applied onto said conductive polycrystalline diamond film for introducing power into said conductive polycrystalline diamond film; and

a feed holder having a metal electrode for feeding electricity to said tool tip and a ceramic base for supporting this metal electrode.

16. The bonding tool in accordance with claim 15, wherein said feed holder has a vacuum suction groove for sucking said tool tip, at least one suction through hole communicating with this vacuum suction groove, conductor films of at least two portions for supplying power to said tool tip, a first insulating ceramics part of less than 3 μm in flatness of a surface coming into contact with said tool tip, a second insulating ceramics part being low in heat conductivity and having an insulation property, and a




metal part covered with a metal film for preventing oxidation on its surface.

17. The bonding tool in accordance with claim 16, wherein said metal film is of at least two layers, and the outermost surface layer is any of a pure metal of any of Au, Pt, Ag, Ni, Ta and Cr or an alloy by a combination of at least two among these, or AgPd, a Pt-Ir alloy, or an oxide containing Ag and at least one or more elements of Cd, In, Sn, Zn and Cu or a metal carbide containing Ag and W.

18. A control method for a bonding tool having a tool tip formed with a vapor-phase synthesized conductive polycrystalline diamond film on its forward end surface, measuring change of electric resistance of said conductive polycrystalline diamond film and performing temperature adjustment of the bonding tool.

## ABSTRACT

A conductive polycrystalline diamond film having specific resistance of at least $1 \times 10^{-4}$ Ωm and less than $1 \times 10^{3}$ Ωm, whose film thickness is in the range of at least 0.1 μm and not more than 500 μm, is film-formed by vapor-phase synthesis on a surface employed for pressure bonding, a surface opposite to this surface or at least two side surfaces intersecting with these surfaces on a substrate.

FIG.1A

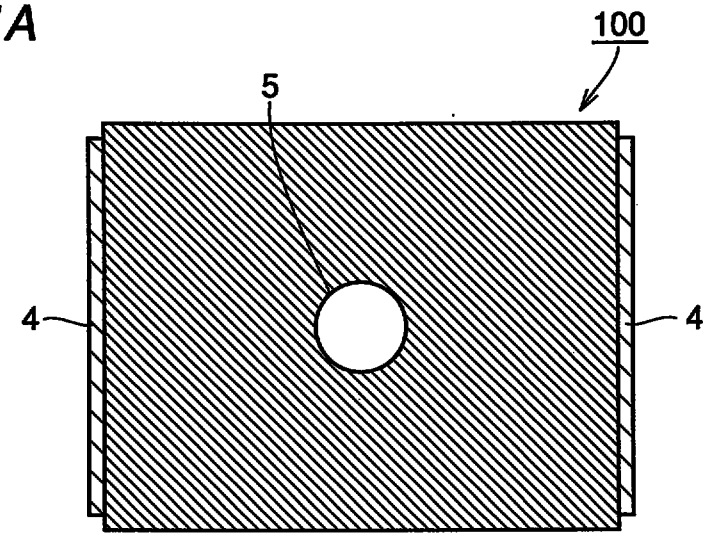



FIG.1B

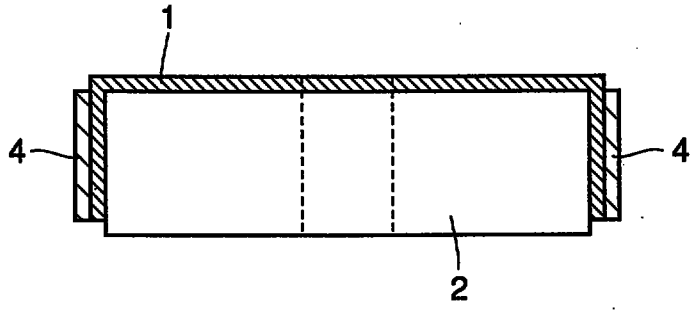



FIG.1C

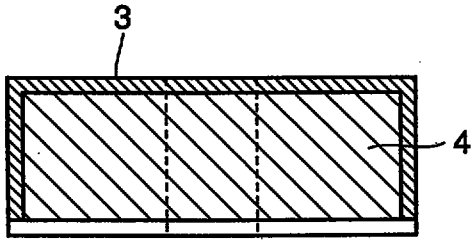


FIG.2

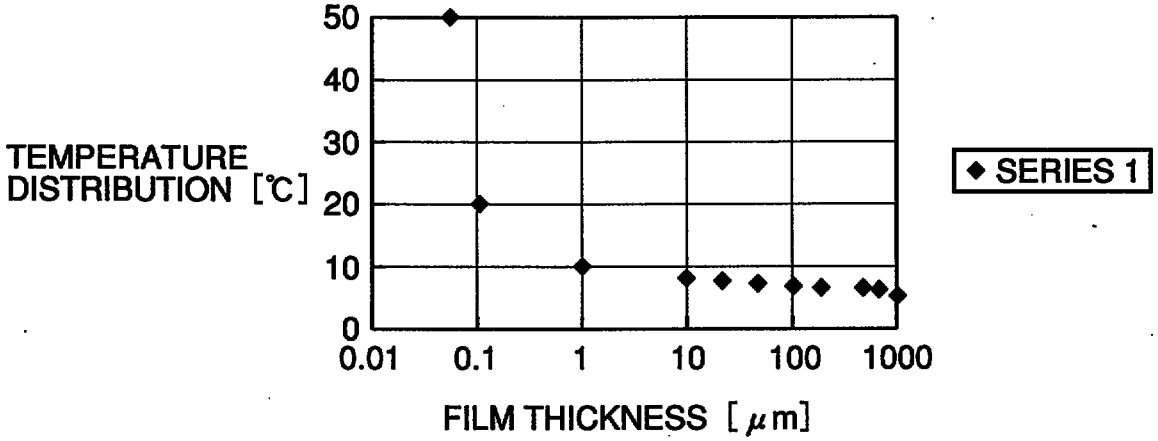

TEMPERATURE DISTRIBUTION [℃]
50
40
30
20
10
0
0.01
0.1
1
10
100
1000
FILM THICKNESS [μm]
◆ SERIES 1

FIG.3

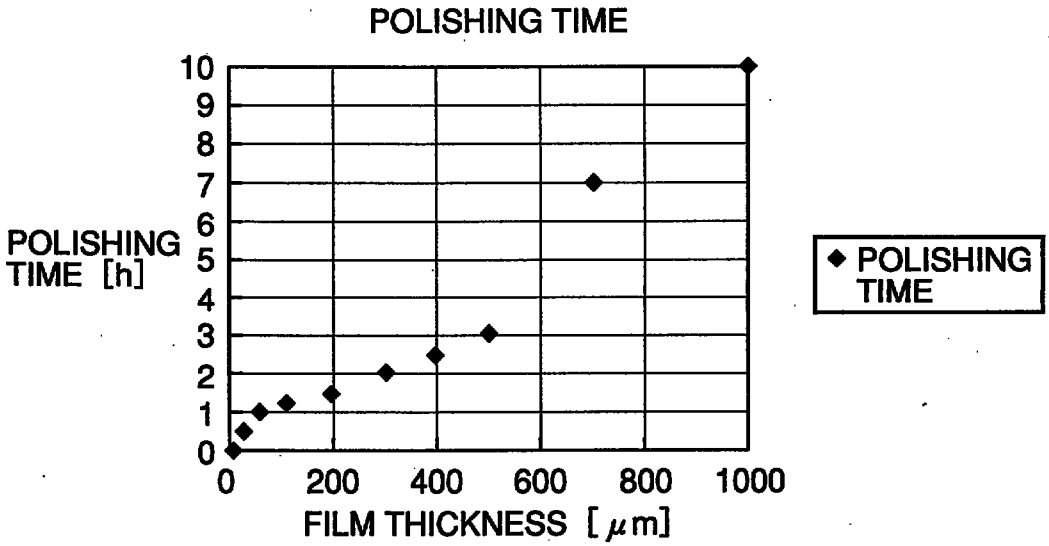

POLISHING TIME
POLISHING TIME [h]
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
0
200
400
600
800
1000
FILM THICKNESS [μm]
◆ POLISHING TIME

FIG.4A

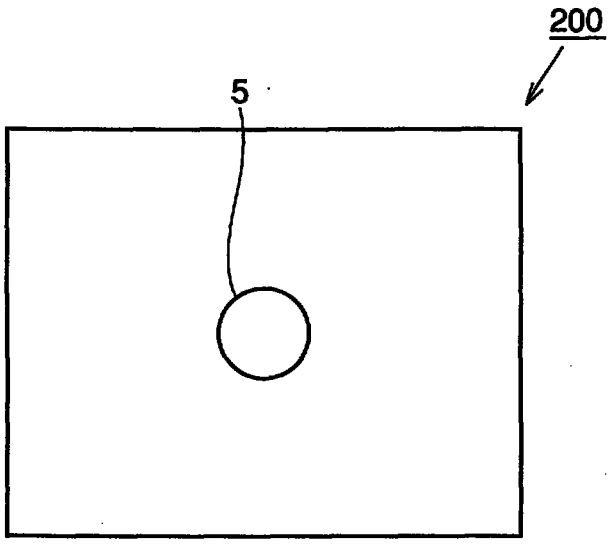



FIG.4B

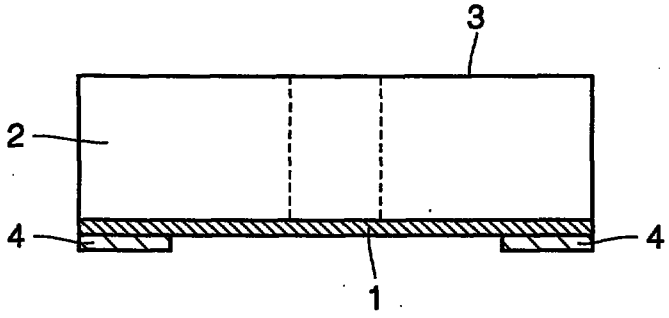



FIG.4C

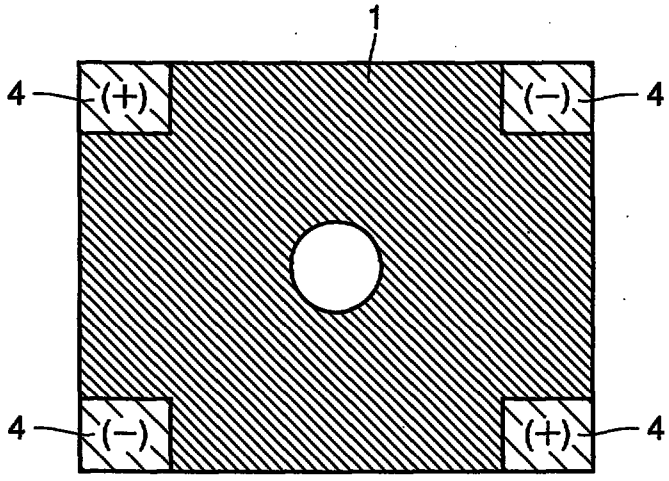


FIG.5A

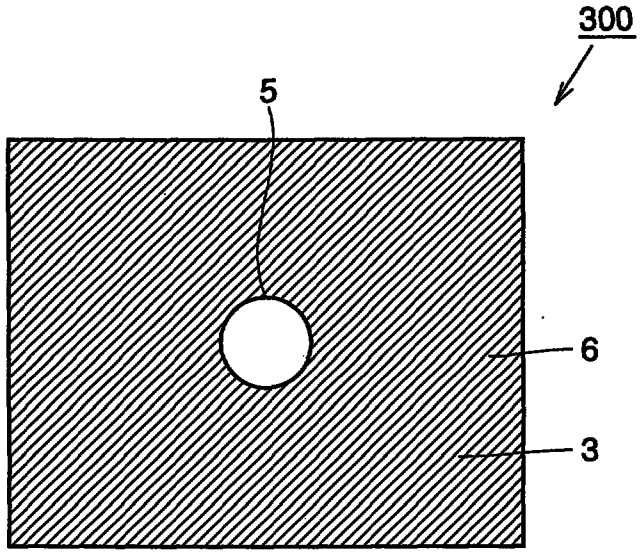



FIG.5B

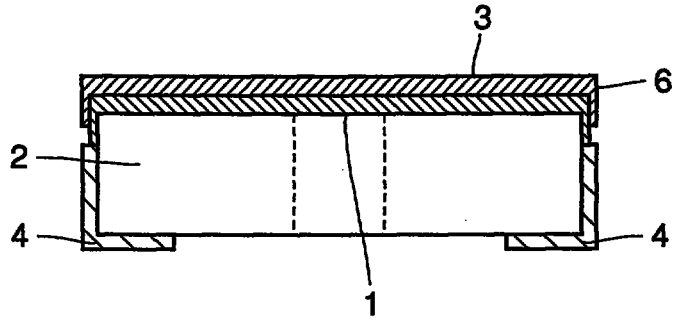



FIG.5C

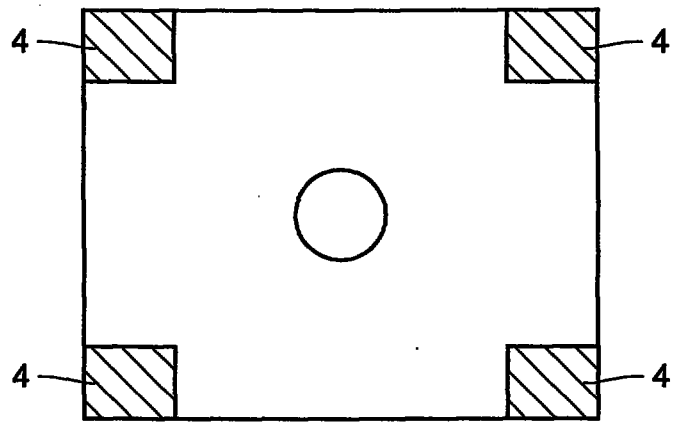


FIG.6A

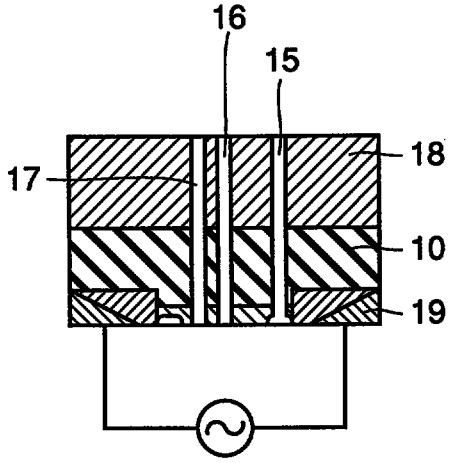



FIG.6B

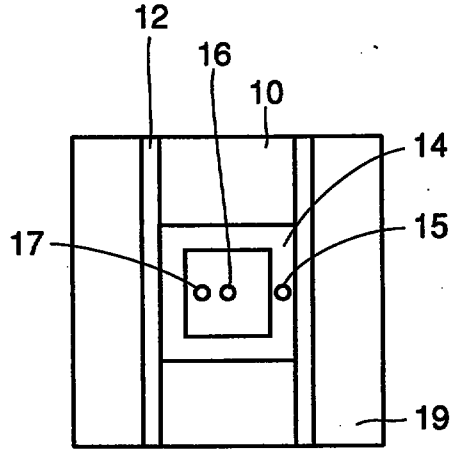


FIG.7A

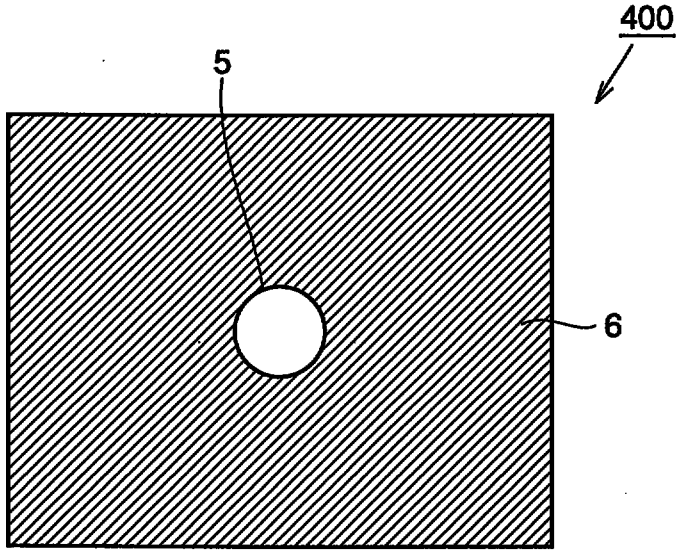



FIG.7B

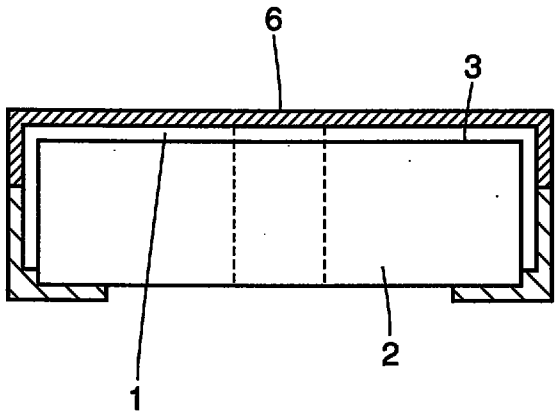



FIG.7C

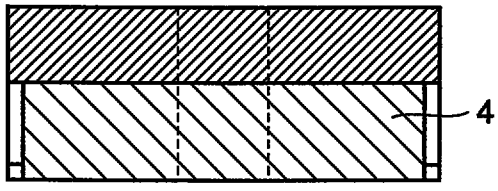


FIG.8A

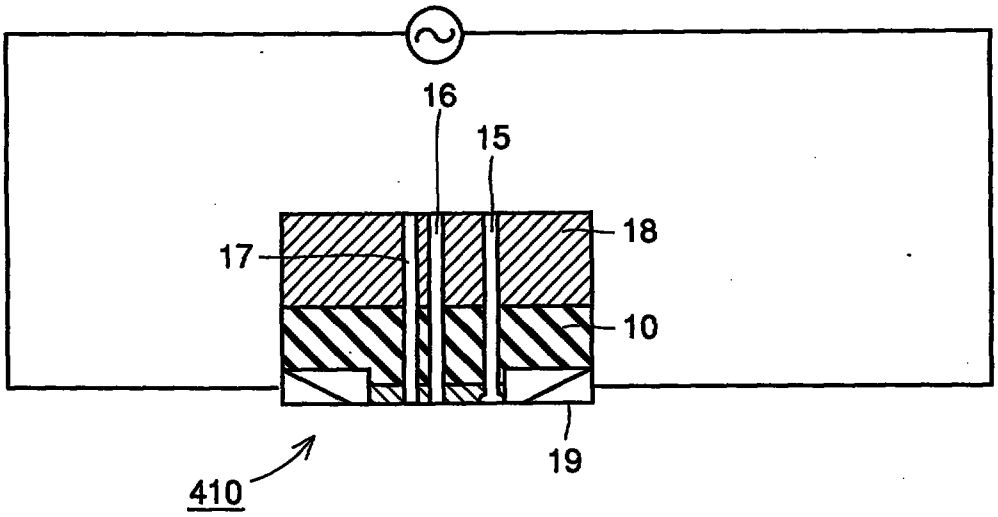



FIG.8B

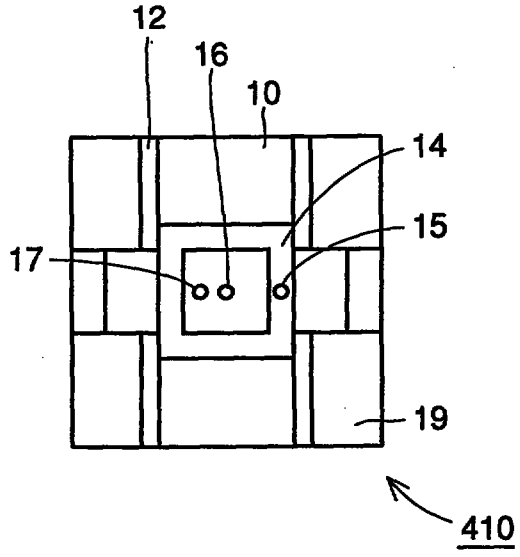


FIG.9A

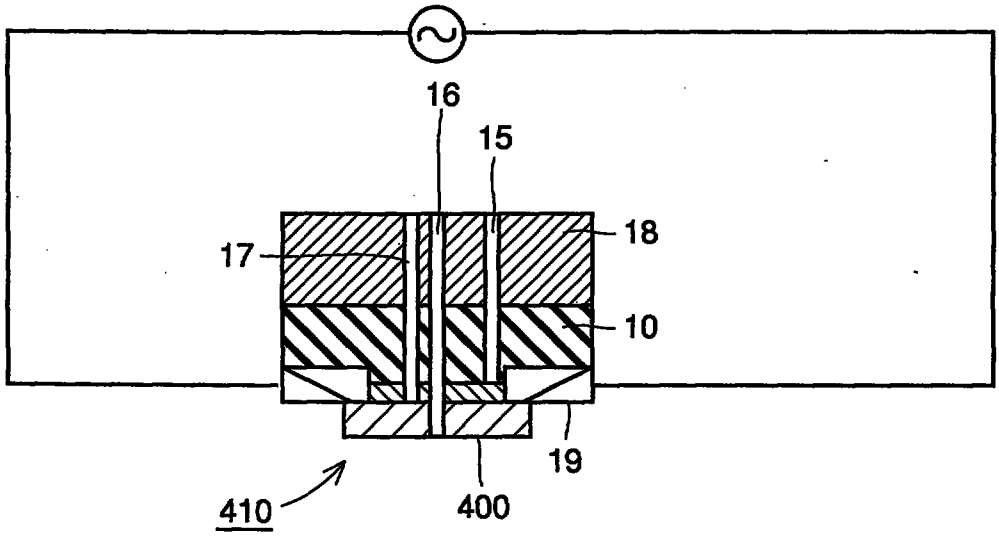



FIG.9B

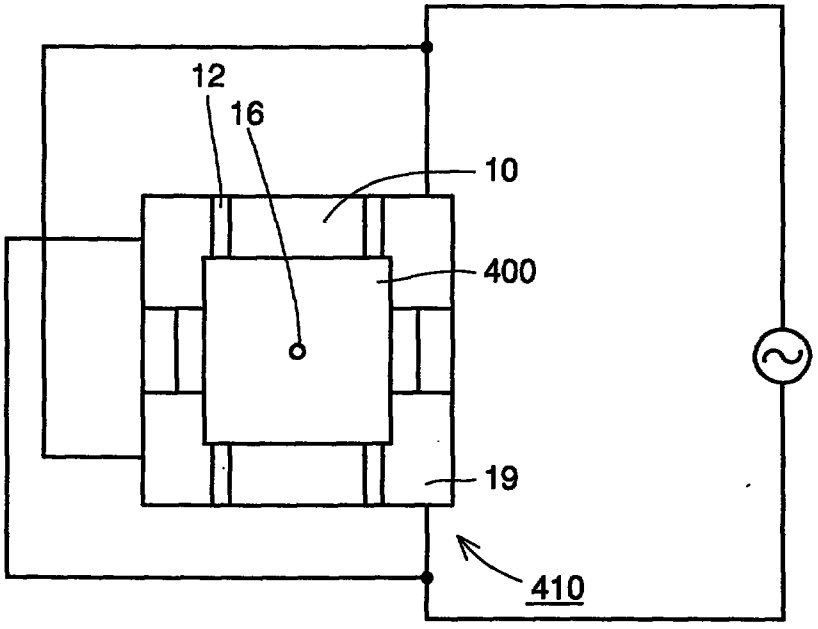


FIG.10

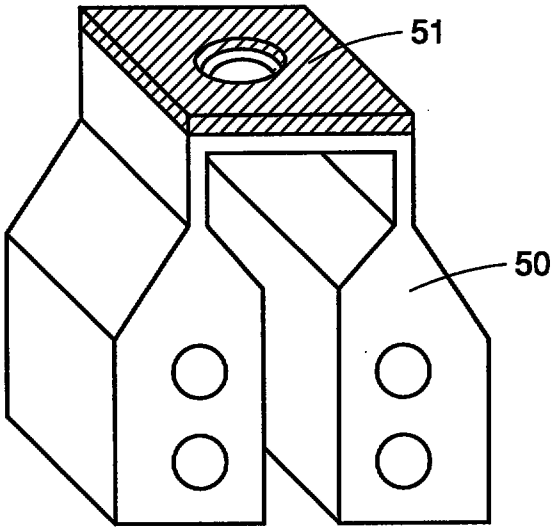



FIG.11

| EVALUATED ITEM | TOOL TIP OF PRESENT INVENTION | TOOL TIP OF CONVENTIONAL FORM |
|---|---|---|
| TEMPERATURE RISE TIME FROM 20℃ TO 500℃ | 1.2 SECONDS | 6.5 SECONDS |
| COOLING TIME FROM 500℃ TO 80℃ | 9 SECONDS | 35 SECONDS |
| TEMPERATURE DISTRIBUTION (500℃) | 8℃ | 8℃ |
| FLATNESS (500℃) | 0.5 $\mu$m CONCAVE | 2.5 $\mu$m CONCAVE |
| STATE OF TOOL TIP AFTER REPETITIVE HEATING TEST OF 100,000 TIMES | NORMAL IN OBSERVATION WITH ×50 MICROSCOPE | NORMAL IN OBSERVATION WITH ×50 MICROSCOPE |

*FIG. 12*

| | SPECIFIC RESISTANCE Ωcm | BORON CONTENT ppm | FILM THICKNESS μm | CHARACTERISTICS | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | TEMPERATURE RISE sec | COOLING sec | TEMPERATURE DISTRIBUTION ℃ | DURABILITY |
| ① | $7\times10^{-5}$ | 55000 | 0.05 | 7 | 30 | 50 | DETERIORATED |
| ② | $1\times10^{-5}$ | 51000 | 2 | 15 | 60 | 40 | DETERIORATED |
| ③ | $8\times10^{-5}$ | 52000 | 600 | TEMPERATURE UNINCREASABLE TO 500℃ | | | |
| ④ | $1\times10^{-3}$ | 5000 | 0.05 | 50 | 600 | 25 | UNCHANGED |
| ⑤ | $1\times10^{-4}$ | 30000 | 0.1 | 1.5 | 10 | 20 | UNCHANGED |
| ⑥ | $1\times10^{-2}$ | 200 | 10 | 1.2 | 9 | 8 | UNCHANGED |
| ⑦ | $1\times10^{1}$ | 500 | 500 | 5 | 15 | 6 | UNCHANGED |
| ⑧ | $1\times10^{-1}$ | 1000 | 600 | 10 | 40 | 10 | UNCHANGED |
| ⑨ | $1\times10^{4}$ | 80 | 0.05 | TEMPERATURE UNINCREASABLE TO 500℃ | | | |
| ⑩ | $3\times10^{4}$ | 60 | 20 | TEMPERATURE UNINCREASABLE TO 500℃ | | | |
| ⑪ | $5\times10^{4}$ | 50 | 1000 | TEMPERATURE UNINCREASABLE TO 500℃ | | | |

FIG.13A

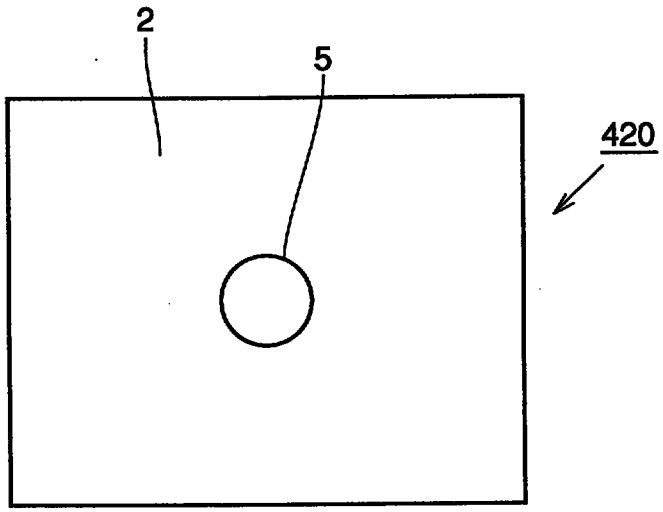



FIG.13B

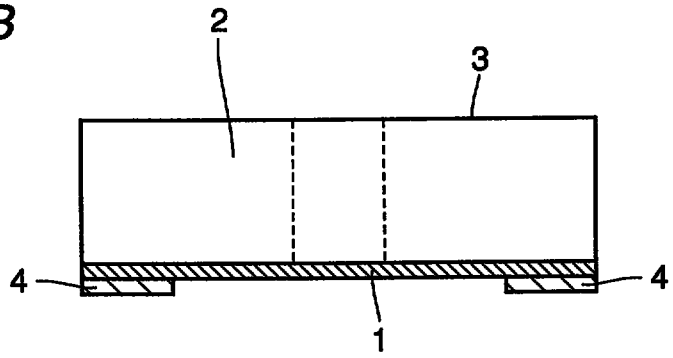



FIG.13C

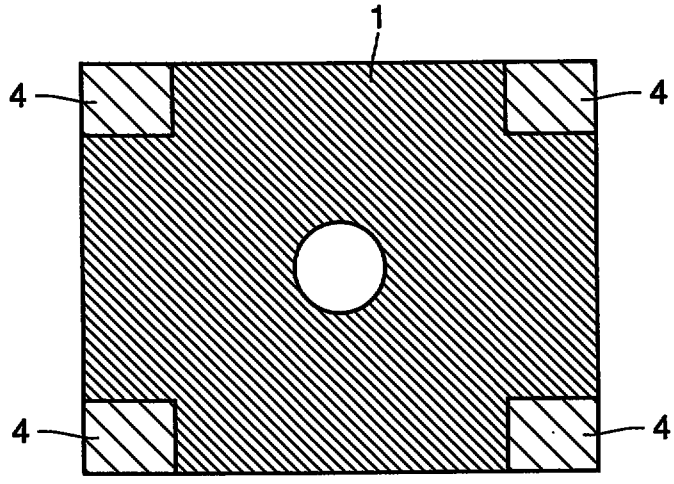


FIG. 14A

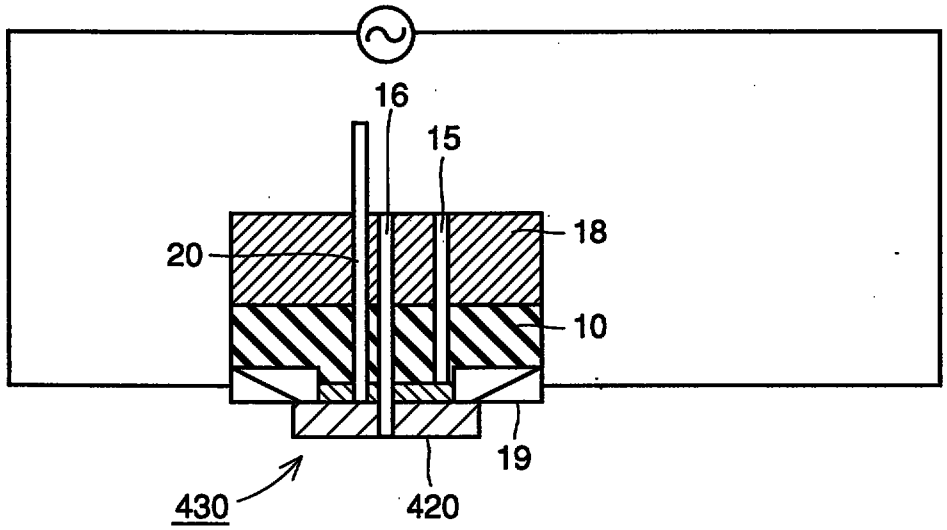



FIG. 14B

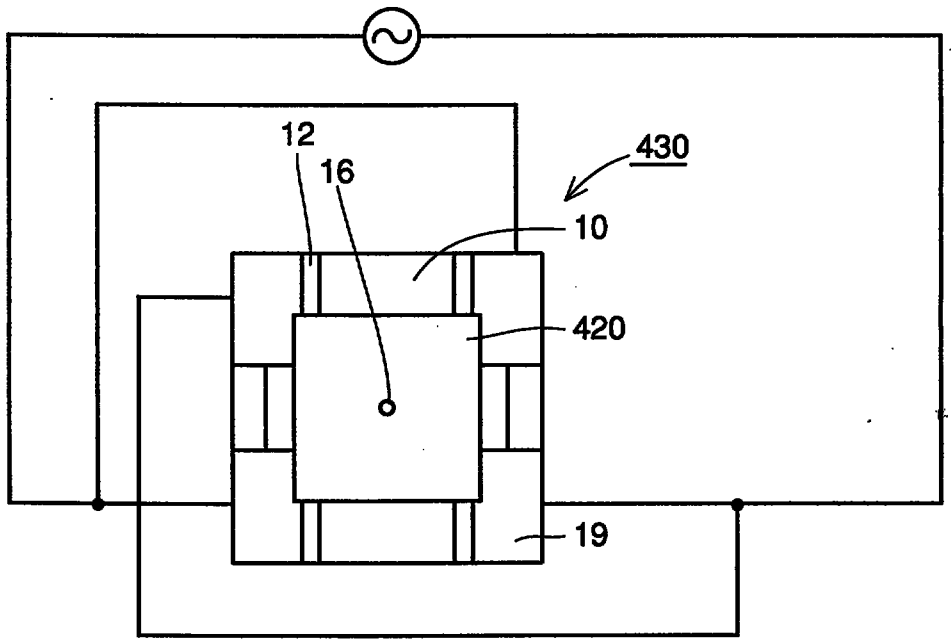


FIG.15

| EVALUATED ITEM | TOOL TIP OF PRESENT INVENTION | TOOL TIP OF CONVENTIONAL FORM |
|---|---|---|
| TEMPERATURE RISE TIME FROM 20℃ TO 600℃ | 1.1 SECONDS | 8.5 SECONDS |
| COOLING TIME FROM 600℃ TO 80℃ | 5 SECONDS | 50 SECONDS |
| TEMPERATURE DISTRIBUTION (600℃) | 8℃ | 8℃ |
| FLATNESS (600℃) | 0.2 μm CONCAVE | 3.5 μm CONCAVE |
| STATE OF TOOL TIP AFTER REPETITIVE HEATING TEST OF 200,000 TIMES | NORMAL IN OBSERVATION WITH ×50 MICROSCOPE | OXDATION OF SOLDER LAYER WAS RECOGNIZED AS A RESULT OF OBSERVATION WITH ×50 MICROSCOPE |

FIG.16

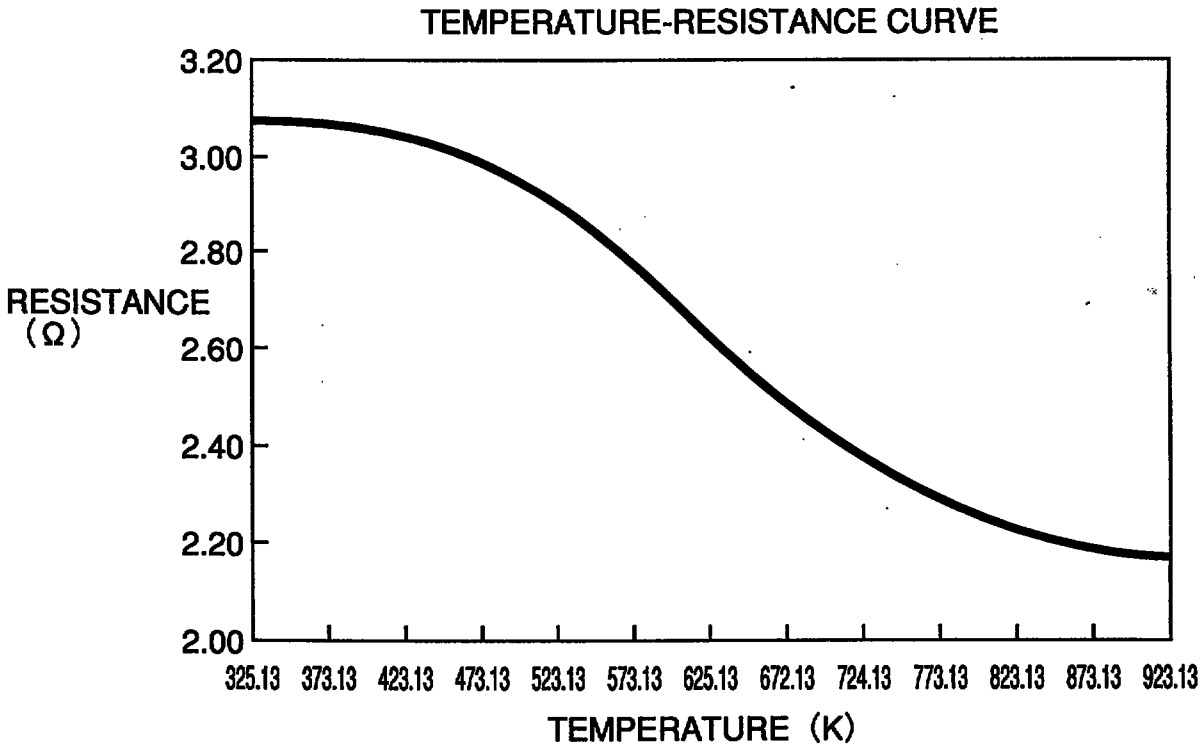


FIG.17A

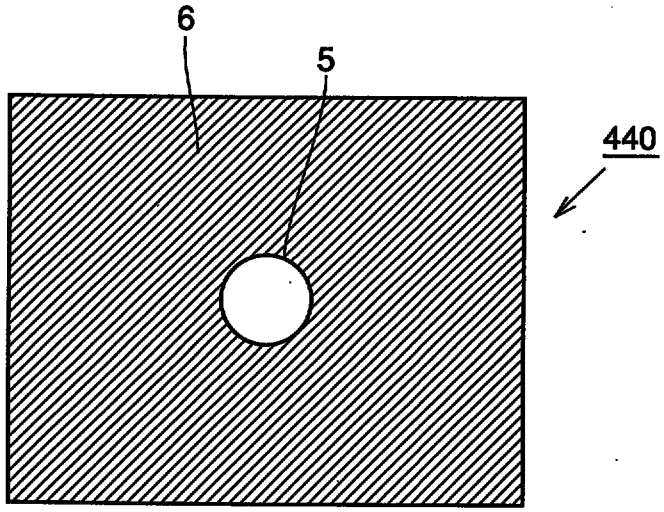



FIG.17B

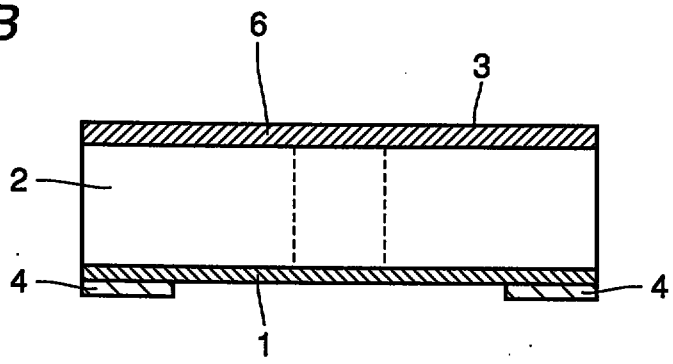



FIG.17C

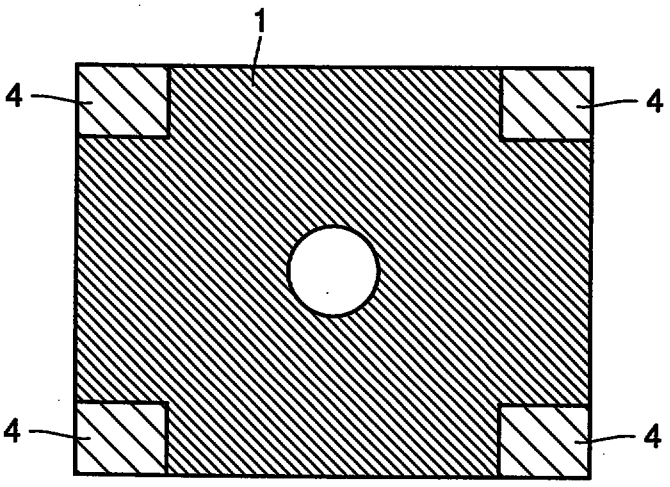


FIG.18

| EVALUATED ITEM | TOOL TIP OF PRESENT INVENTION |
|---|---|
| TEMPERATURE RISE TIME FROM 20℃ TO 500℃ | 1.3 SECONDS |
| COOLING TIME FROM 500℃ TO 80℃ | 9 SECONDS |
| TEMPERATURE DISTRIBUTION (500℃) | 8℃ |
| FLATNESS (500℃) | 0.7 μm CONCAVE |
| STATE OF TOOL TIP AFTER REPETITIVE HEATING TEST OF 100,000 TIMES | NORMAL IN OBSERVATION WITH ×50 MICROSCOPE |

FIG.19

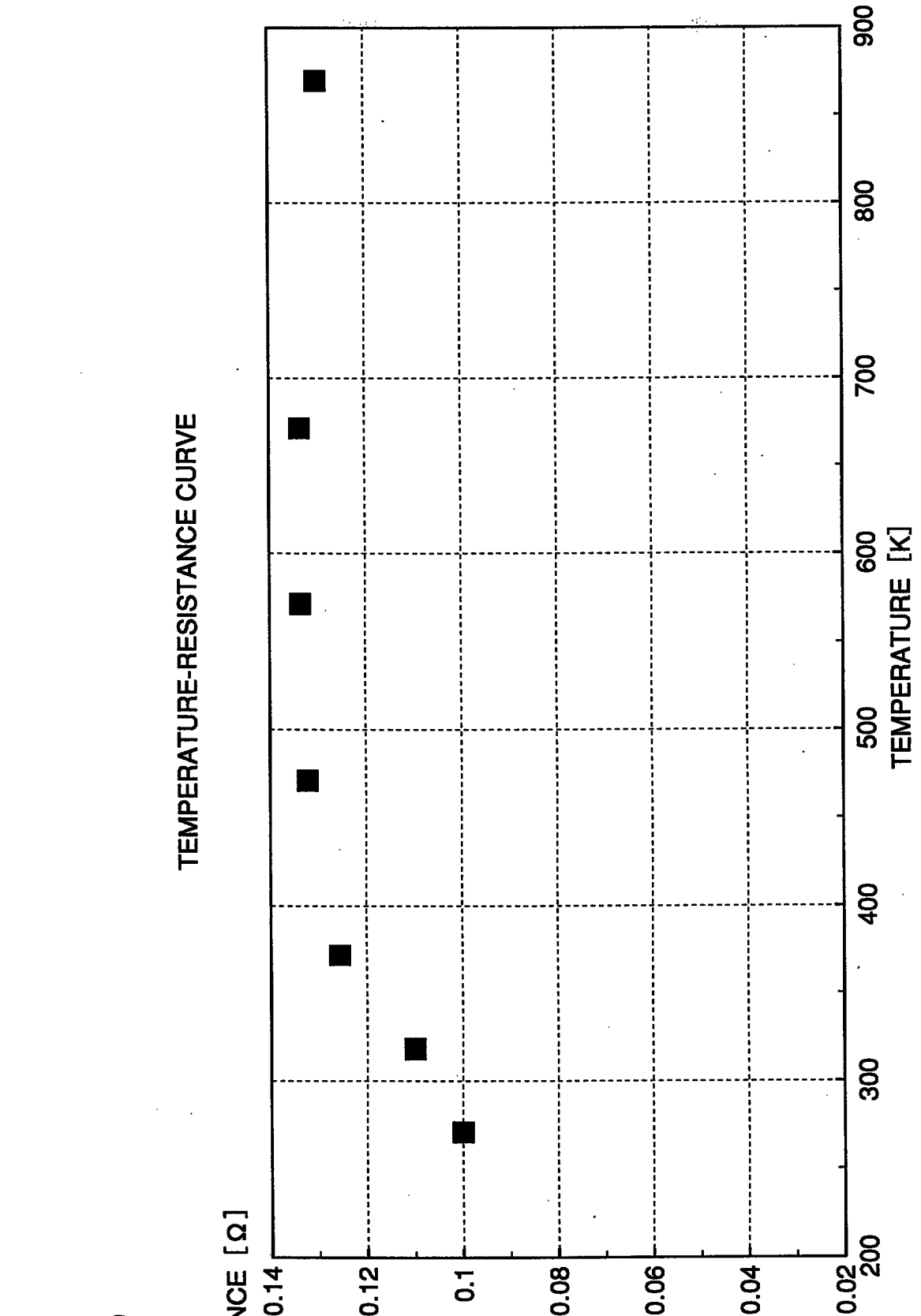

TEMPERATURE-RESISTANCE CURVE
RESISTANCE [Ω]
0.14
0.12
0.1
0.08
0.06
0.04
0.02
200
300
400
500
600
700
800
900
TEMPERATURE [K]

FIG.20A

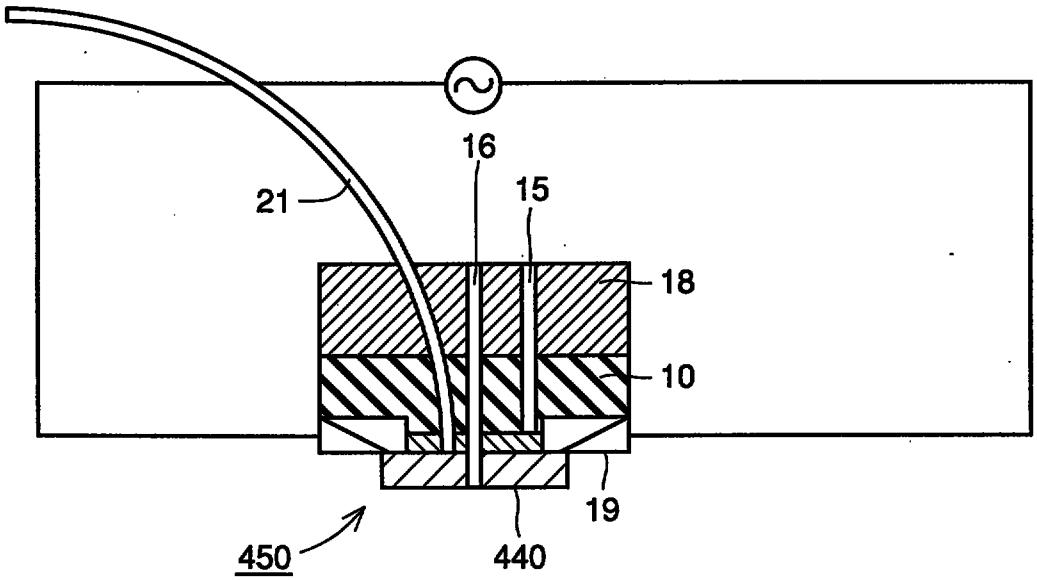



FIG.20B

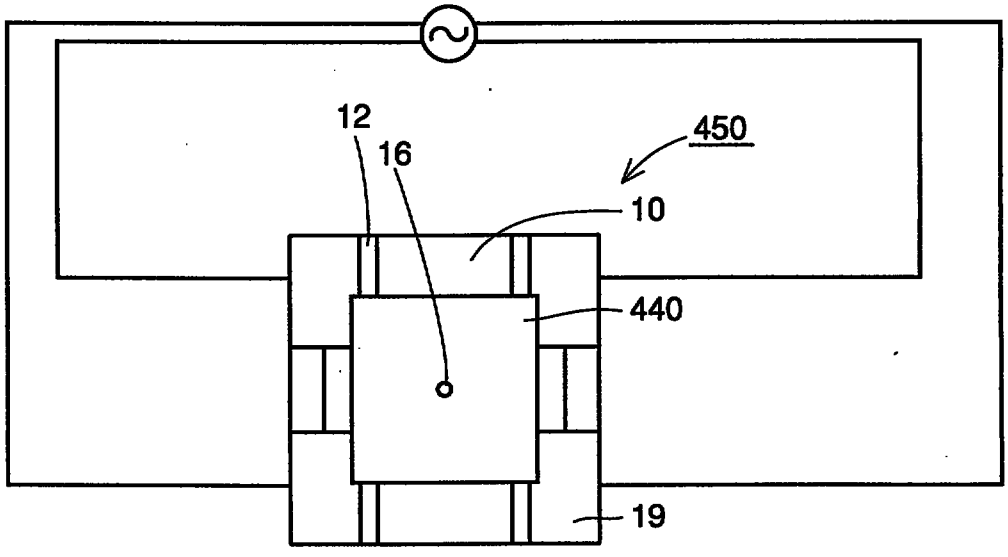


FIG.21

| EVALUATED ITEM | TOOL TIP OF PRESENT INVENTION |
|---|---|
| TEMPERATURE RISE TIME FROM 20℃ TO 500℃ | 0.8 SECONDS |
| COOLING TIME FROM 500℃ TO 80℃ | 9.5 SECONDS |
| TEMPERATURE DISTRIBUTION (500℃) | 6℃ |
| FLATNESS (500℃) | 0.5 $\mu$m CONCAVE |
| STATE OF TOOL TIP AFTER REPETITIVE HEATING TEST OF 100,000 TIMES | NORMAL IN OBSERVATION WITH ×50 MICROSCOPE |

FIG.22A

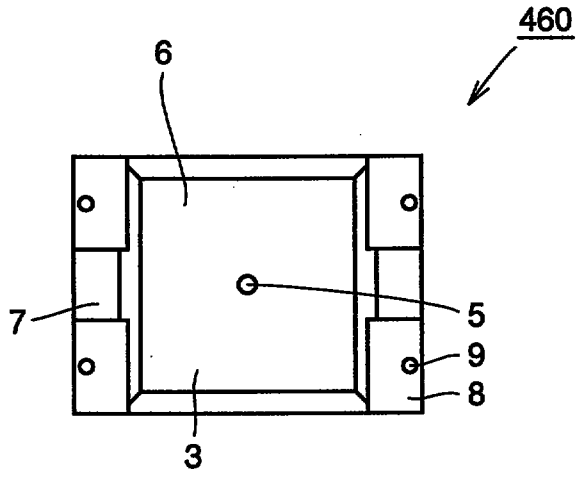



FIG.22B

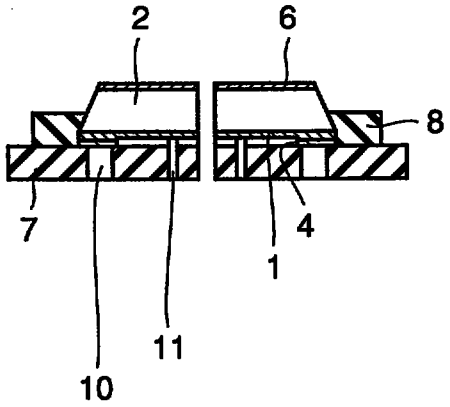


FIG.23A

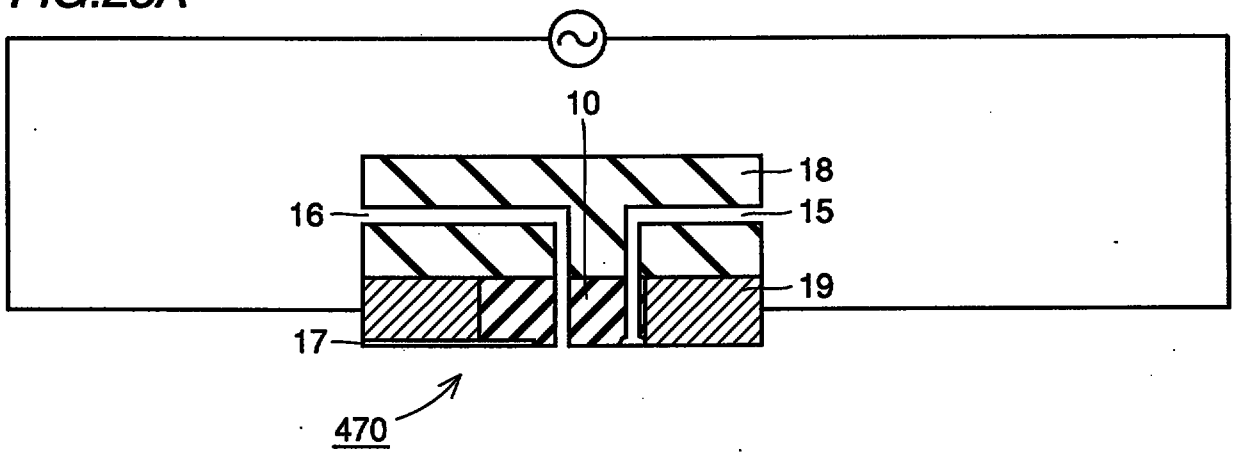



FIG.23B

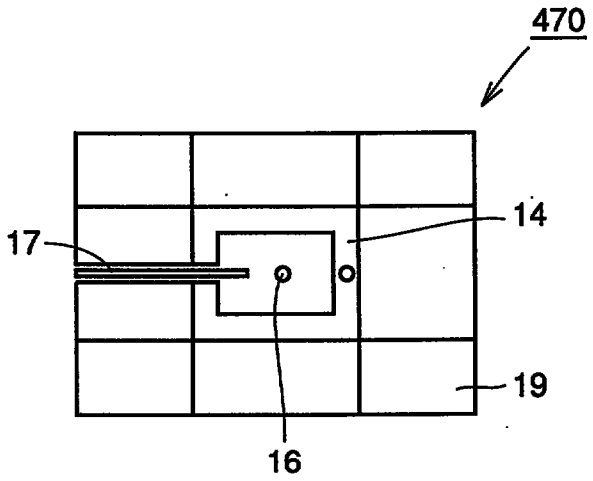


FIG.24A

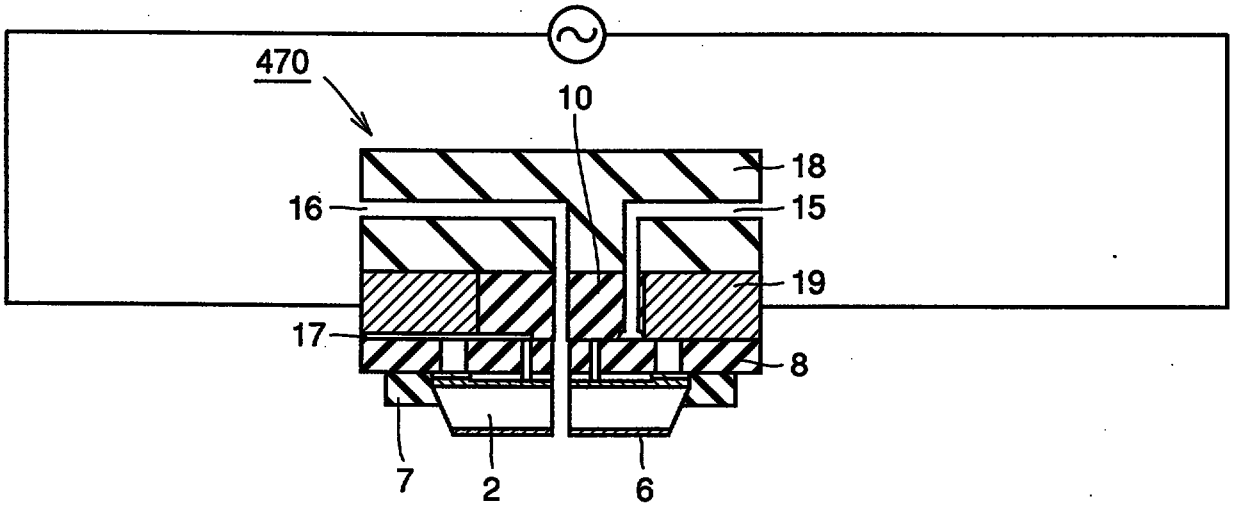



FIG.24B

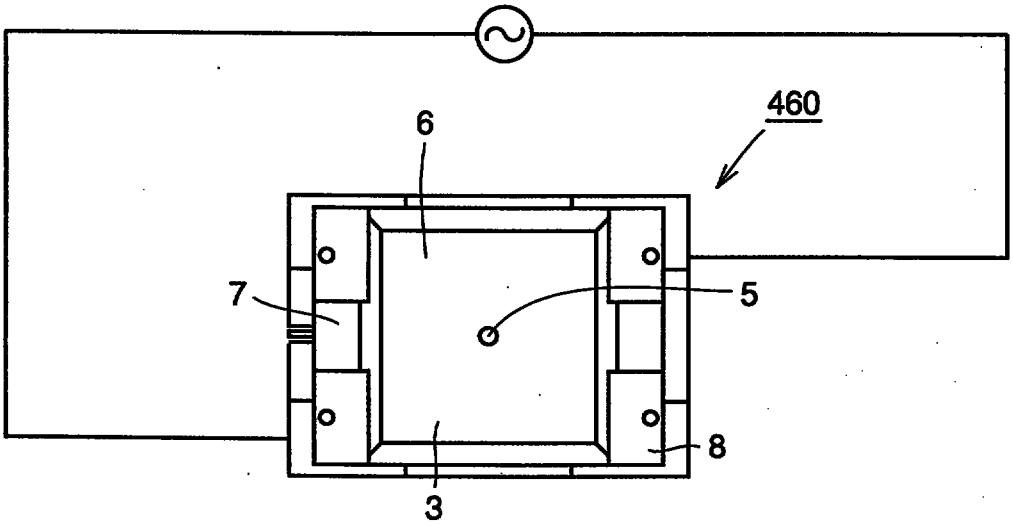


FIG.25

| EVALUATED ITEM | TOOL OF PRESENT INVENTION |
|---|---|
| TEMPERATURE RISE TIME FROM 20℃ TO 500℃ | 1.3 SECONDS |
| COOLING TIME FROM 500℃ TO 80℃ | 10 SECONDS |
| TEMPERATURE DISTRIBUTION (500℃) | 8℃ |
| FLATNESS (500℃) | 0.1 $\mu$m |
| STATE OF TOOL AFTER REPETITIVE HEATING TEST OF 100,000 TIMES | NORMAL IN OBSERVATION WITH X50 MICROSCOPE |

IPDS's copy!
9805615-3

世界知的所有権機関
国際事務局

PCT

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

| | | | |
|---|---|---|---|
| (51) 国際特許分類6<br>H01L 21/60 | A1 | (11) 国際公開番号 | WO97/45867 |
| | | (43) 国際公開日 | 1997年12月4日(04.12.97) |

(21) 国際出願番号 PCT/JP97/01780

(22) 国際出願日 1997年5月26日(26.05.97)

(30) 優先権データ
特願平8/132102 1996年5月27日(27.05.96) JP
特願平9/24943 1997年2月7日(07.02.97) JP

(71) 出願人（米国を除くすべての指定国について）
住友電気工業株式会社
(SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.)[JP/JP]
〒541 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 Osaka, (JP)
(72) 発明者；および
(75) 発明者／出願人（米国についてのみ）
山本佳津子(YAMAMOTO, Katsuko)[JP/JP]
井口剛寿(IGUCHI, Takahisa)[JP/JP]
熊澤佳明(KUMAZAWA, Yoshiaki)[JP/JP]
田中克享(TANAKA, Katsuyuki)[JP/JP]
塩見 弘(SHIOMI, Hiromu)[JP/JP]
築野 孝(TSUNO, Takashi)[JP/JP]
藤森直治(FUJIMORI, Naoji)[JP/JP]
〒664 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号
住友電気工業株式会社 伊丹製作所内 Hyogo, (JP)

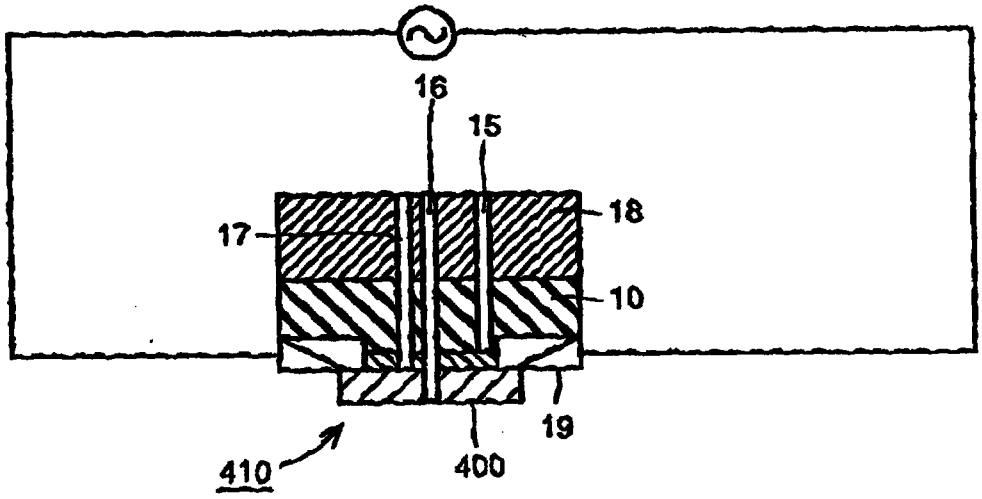
(74) 代理人
弁理士 深見久郎, 外(FUKAMI, Hisao et al.)
〒530 大阪府大阪市北区南森町2丁目1番29号
住友銀行南森町ビル Osaka, (JP)

(81) 指定国 JP, KR, SG, US, 欧州特許 (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

添付公開書類
国際調査報告書

(54)Title: TOOL CHIP, BONDING TOOL WITH THE TOOL CHIP, AND METHOD FOR CONTROLLING THE BONDING TOOL

(54)発明の名称 ツールチップおよびそのツールチップを備えたボンディングツールならびにそのボンディングツールの制御方法




(57) Abstract

A conductive polycrystalline diamond film having a specific resistance of $1\times10^{-4}$ to $1\times10^{3}$ Ωcm and a thickness 1-500 μm is formed on the surface of a substrate used for contact bonding, the opposite surface of the substrate, or two or more side faces of the substrate intersecting the surfaces by using a vapor phase synthesis method.

（５７）要約

基体上の圧着に用いられる面、この面と反対の面またはこれらの面と交わる２面以上の側面に、１×１０$^{-4}$Ωｃｍ以上１×１０$^{3}$Ωｃｍ未満の比抵抗を有し、その膜厚が０．１μｍ以上５００μｍ以下の範囲である導電性多結晶ダイヤモンド膜が気相合成により成膜されている。

参考情報

ＰＣＴに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に記載されたＰＣＴ加盟国を同定するために使用されるコード

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AL | アルバニア | ES | スペイン | LR | リベリア | SG | シンガポール |
| AM | アルメニア | FI | フィンランド | LS | レソト | SI | スロヴェニア |
| AT | オーストリア | FR | フランス | LT | リトアニア | SK | スロヴァキア共和国 |
| AU | オーストラリア | GA | ガボン | LU | ルクセンブルグ | SL | シエラレオネ |
| AZ | アゼルバイジャン | GB | 英国 | LV | ラトヴィア | SN | セネガル |
| BA | ボズニア・エルツェゴビナ | GD | グルジア | MC | モナコ | SZ | スワジランド |
| BB | バルバドス | GH | ガーナ | MD | モルドヴァ共和国 | TD | チャード |
| BE | ベルギー | GM | ガンビア | MG | マダガスカル | TG | トーゴ |
| BF | ブルギナ・ファソ | GN | ギニア | MK | マケドニア旧ユーゴスラヴィア共和国 | TJ | タジキスタン |
| BG | ブルガリア | GR | ギリシャ | ML | マリ | TM | トルクメニスタン |
| BJ | ベナン | HU | ハンガリー | MN | モンゴル | TR | トルコ |
| BR | ブラジル | ID | インドネシア | MR | モーリタニア | TT | トリニダード・トバゴ |
| BY | ベラルーシ | IE | アイルランド | MW | マラウイ | UA | ウクライナ |
| CA | カナダ | IL | イスラエル | MX | メキシコ | UG | ウガンダ |
| CF | 中央アフリカ共和国 | IS | アイスランド | NE | ニジェール | US | 米国 |
| CG | コンゴー | IT | イタリア | NL | オランダ | UZ | ウズベキスタン |
| CH | スイス | JP | 日本 | NO | ノルウェー | VN | ヴィェトナム |
| CI | コート・ジボアール | KE | ケニア | NZ | ニュー・ジーランド | YU | ユーゴスラビア |
| CM | カメルーン | KG | キルギスタン | PL | ポーランド | ZW | ジンバブエ |
| CN | 中国 | KP | 朝鮮民主主義人民共和国 | PT | ポルトガル | | |
| CU | キューバ | KR | 大韓民国 | RO | ルーマニア | | |
| CZ | チェッコ共和国 | KZ | カザフスタン | RU | ロシア連邦 | | |
| DE | ドイツ | LC | セントルシア | SD | スーダン | | |
| DK | デンマーク | LI | リヒテンシュタイン | SE | スウェーデン | | |
| EE | エストニア | LK | スリランカ | | | | |