

固液相変化法による貫通配線装置の開発

Development of the wiring Technique by Solid and Liquid Phase Variant Method

佐藤 博

Hiroshi SATO

固液相変化法による貫通配線装置の開発

Development of the wiring Technique by Solid and Liquid Phase Variant Method

佐藤 博

Hiroshi SATO

1. はじめに

モバイル情報端末をはじめとする電子機器の小型化、高性能化にともない、搭載されるデバイスのパッケージにも小型化、薄型化、高密度化が要求されている。これらを実現するひとつの方法として、貫通配線を用いたパッケージ技術が提案されており、三次元実装やSystem in Package (SiP) などの高密度実装の実現に向け、いくつか研究が行われている。光学デバイスや高周波デバイス、MEMSデバイスの小型化、またそれらのウエハレベルパッケージを実現するために、集積回路チップを接続し、チップ間を貫通電極で接続する技術の開発が必要となる。特に人工網膜チップのように、画像センサ・画像処理・メモリ・演算機能を有した各チップを積層した、将来の高速・高集積回路の配線を想定した場合、数万本に上る直径(数 μm) \times 深さ(数10 μm)のSi貫通孔に金属を充填しなければならない。しかし、このような高アスペクトに確実に充填する技術は今のところ存在しない(入り口が閉塞してしまう)。たとえば化学蒸着法でも形成自体は不可能ではないが、著しく成長速度を低く保ち長時間をかけなければならない、不経済であり実際的ではないといわれる。図1に貫通配線を示す。(a)はシリコンチップを重ねて銅貫通電極で配線した図である。厚さ50 μm のシリコンチップを重ねて20 μm の間隔で銅貫通電極が配線されている。銅と銅を微細接合してつないでいる。(b)はシリコンチップ中にどのように銅貫通電極が配線され、銅パンプとシリコンチップとの隙間を錫メッキしているのかを示している。シリコン基板に貫通配線を形成する場合、大きく分けて3つのプロセスが必要となる。(1)シリコン基板に微細穴(ϕ 1~100 μm)を形成する技術^{1)~14)}、(2)孔壁に絶縁層を形成する技術、(3)形成した微細穴に対して金属を充填する技術^{15)~20)}である。末益¹⁶⁾は、熔融金属吸引法による金属充填を、北嶋¹⁹⁾はメッキにより金属充填を行っているが、コストと時間がかかりすぎる。

本研究でシリコン基盤を含む金属板、ガラス板などに穴を開ける技術の検討を行い、形成した微細穴に対して金属充填装置を開発する。さらにその装置を用いて、金属の溶解温度と射出圧を変化させ、微細孔の中に金属を充填する条件の検討を行った。

2. 実験方法

アルミニウム板、銅板、シリコン板、ガラス板などにドリルを用いて穴を開け、穴の直径、穴の深さ、穴の内側の表面等の評価を行う。形成した微細穴に対して金属充填装置を開発する。さらにその装置を用いて、金属の溶解温度と射出圧を変化させ、微細孔の中に金属を充填する条件の検討を行う。溶解試料として、99.9%の錫、99.9%の銅を用いた。溶解するつばは反応性が少ない石英にし、試料を高周波誘導加熱コイルの中心で溶融させる方式にする。石英をつばには先端に穴をあけ、射出できるようにする。石英をつばは移動できるようにする。この金属充填装置を開発したのち、各板にあけた穴に金属を充填して、金属の溶解温度と射出圧を変化させ、微細孔の中に金属を充填する条件の検討する。

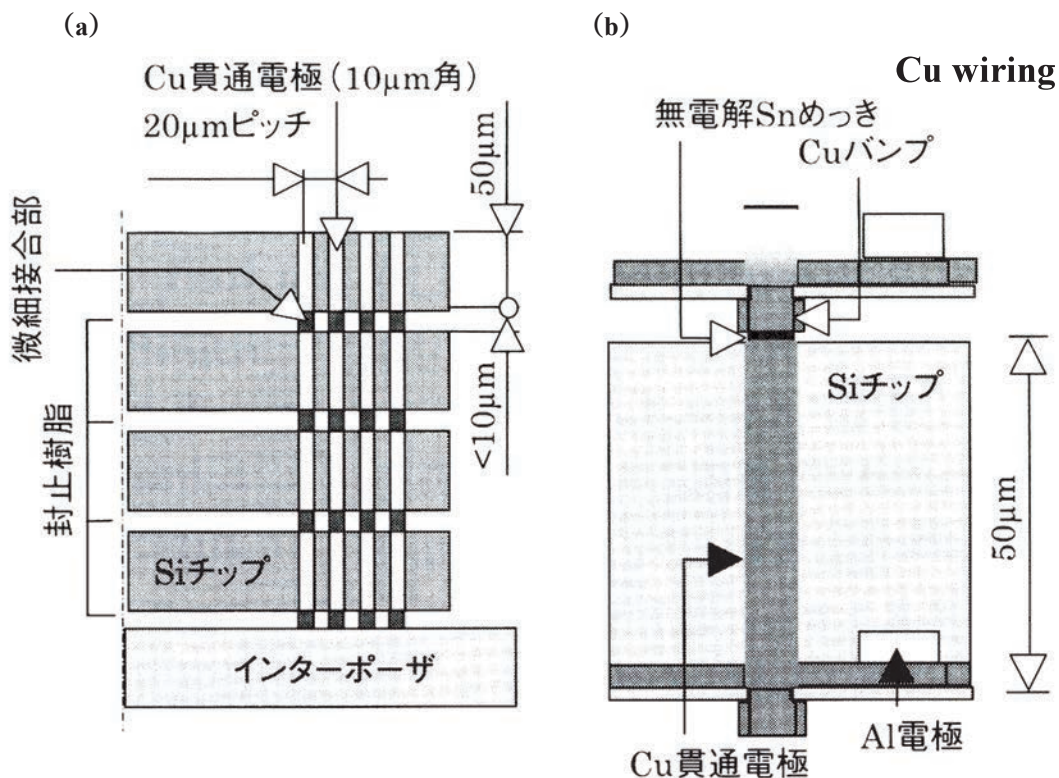


図1 銅貫通電極で配線

- (a) シリコンチップを重ねて銅貫通電極で配線
(b) シリコンチップ中にどのような銅貫通電極が配線

3. 実験結果および考察

3-1 穴の作成

供試材として厚さ0.5mmの鋼板、厚さ1mmの純アルミニウム板 (A1050P)、厚さ1mmのガラス板、厚さ0.5mmのシリコン板を選択した。穴加工は穴あけ用ドリルで行った。カラスはドリルでは割れてしまったので、ガラス細工により種々の微細穴を作成した。

図2に作成した穴を示す。(a) は厚さ1mmの純アルミニウム板に、直径0.5mmの貫通穴をあけたものである。穴の直径を測るためにサークルが描かれている。穴の周りに盛り上がっている部分がある。加工時にドリルで押されてできた盛り上がりである。断面表面は少し荒れている。(b) は厚さ1mmのガラスに直径0.1mmの貫通穴をあけたものである。穴の直径を測るためにサークルが描かれている。断面表面はきれいになっている。(c) は厚さ0.5mmのシリコン板に、直径0.05mmの貫通穴を9個あけたものである。穴の直径を測るためにサークルが描かれている。穴の周辺はシリコンが欠けてしまっている。断面表面は少し荒れている。

3-2 金属充填装置の作製

形成した微細穴に対して金属充填装置を開発した。図3に開発した高速充填装置を示す。石英ノズル中に試料を挿入し、高周波誘導加熱コイルの中心で熔融させ、孔表面上に移動させた後に射出することができる。このとき、石英ノズル先端からロール表面までの間隔は0.5~10mm、ノズル射出穴直径は ϕ 1 mm、射出圧は0.2~1.5kg/cm²である。

図4に直径0.5mmの穴をあけた板厚1mmのアルミニウム板に錫を射出した結果を示す。(a)は穴の表面までの間隔は10mm、射出圧は0.3kg/cm²である。穴の表面だけに錫がついている。(b)は穴の表面までの間隔は5mm、射出圧は0.5kg/cm²である。錫が広がってしまっている。(c)は穴の表面までの間隔は0.5mm、射出圧は0.2kg/cm²である。穴の下側にまで錫が押し出されている。(d)は穴の表面までの間隔は0.5mm、射出圧は0.5kg/cm²である。錫が広がってしまっている。(e)は穴の表面までの間隔は0.5mm、射出圧は0.3kg/cm²である。錫が穴を貫通している。

3-3 ガラスに金属充填

図5に直径50 μ mの穴をあけたガラスに錫を射出した後の断面を示す。穴の表面から500 μ mまで錫が入っていることがわかる。

図6にガラス板の穴直径と穴深さ方向に充填された錫の深さを測定した結果を示す。0.5kg/cm²の射出では、穴直径が大きくなるにつれ、徐々に穴の深さも深くなった。1kg/cm²と1.5kg/cm²は穴直径が250 μ m以上になると急激に穴の深さが大きくなった。1.5kg/cm²では250 μ m以下で、穴が小さくなくても深さは約500 μ mと深かった。

図7にガラス板の穴直径と穴深さ方向に充填された錫の深さのアスペクト比(深さ/直径)を示す。0.5kg/cm²の射出では、穴直径の大きさにかかわらずアスペクト比はほぼ2になった。穴直径が40~250 μ mでは、射出圧力が1kg/cm²、1.5kg/cm²とも穴直径が250 μ mより小さくなるとアスペクト比は大きくなり、穴直径40 μ m、射出圧1kg/cm²でアスペクト比が最高12になった。

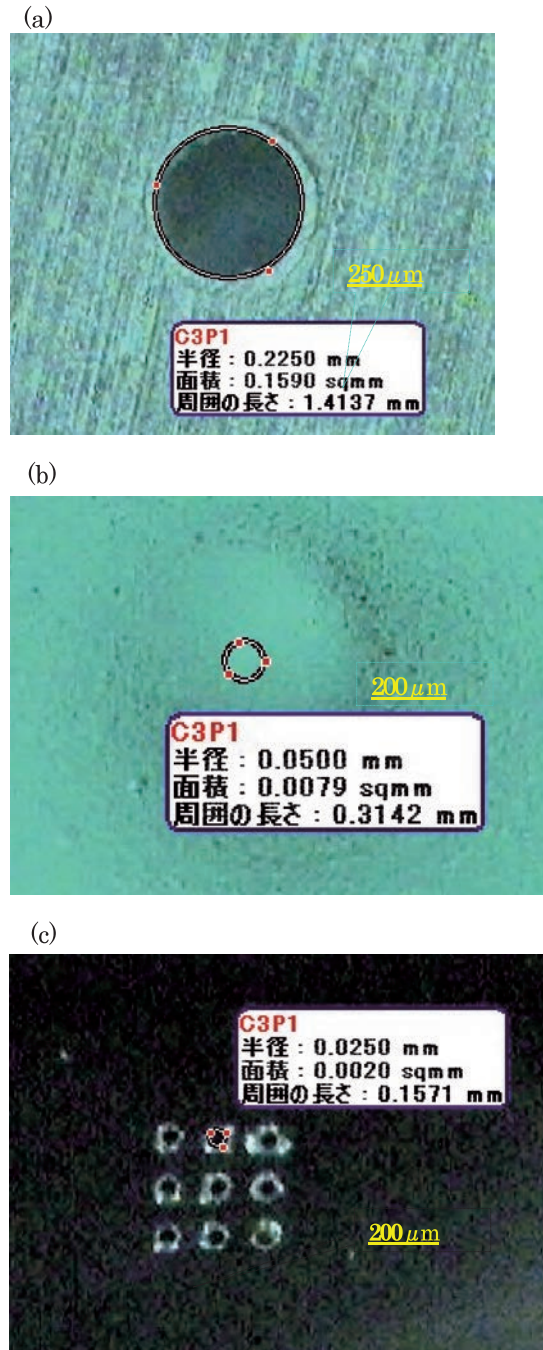


図2 作成した穴

- (a) アルミニウム板：厚さ1mm、穴直径 ϕ 0.5mm
- (b) ガラス板：厚さ2mm、穴直径 ϕ 0.1mm
- (c) Si板：厚さ0.5mm、穴直径 ϕ 0.05mm

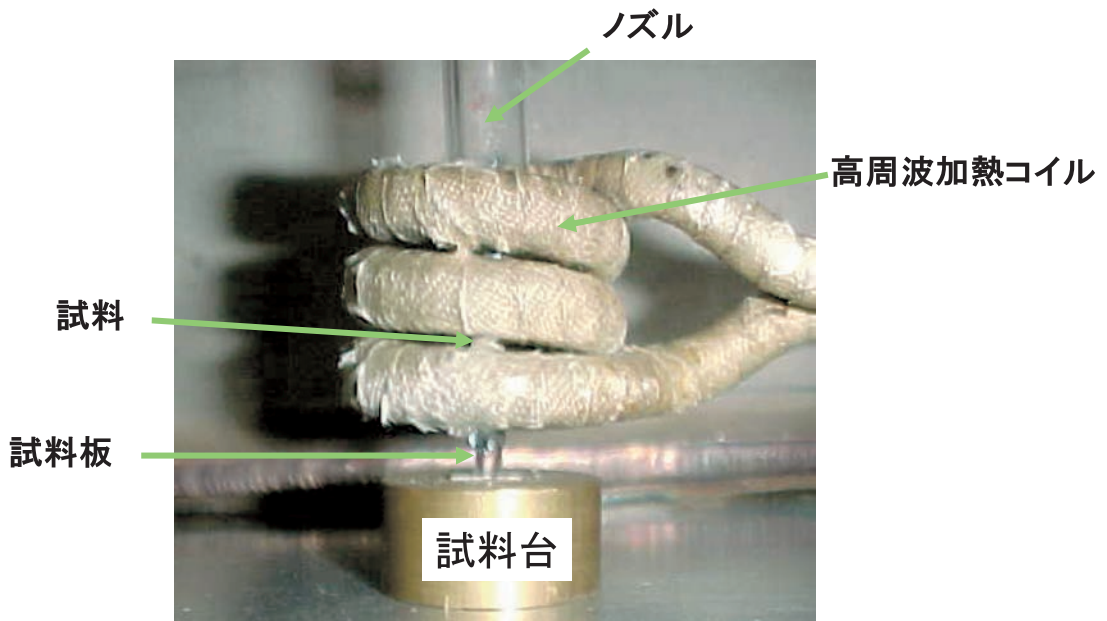


図3 高速充填装置

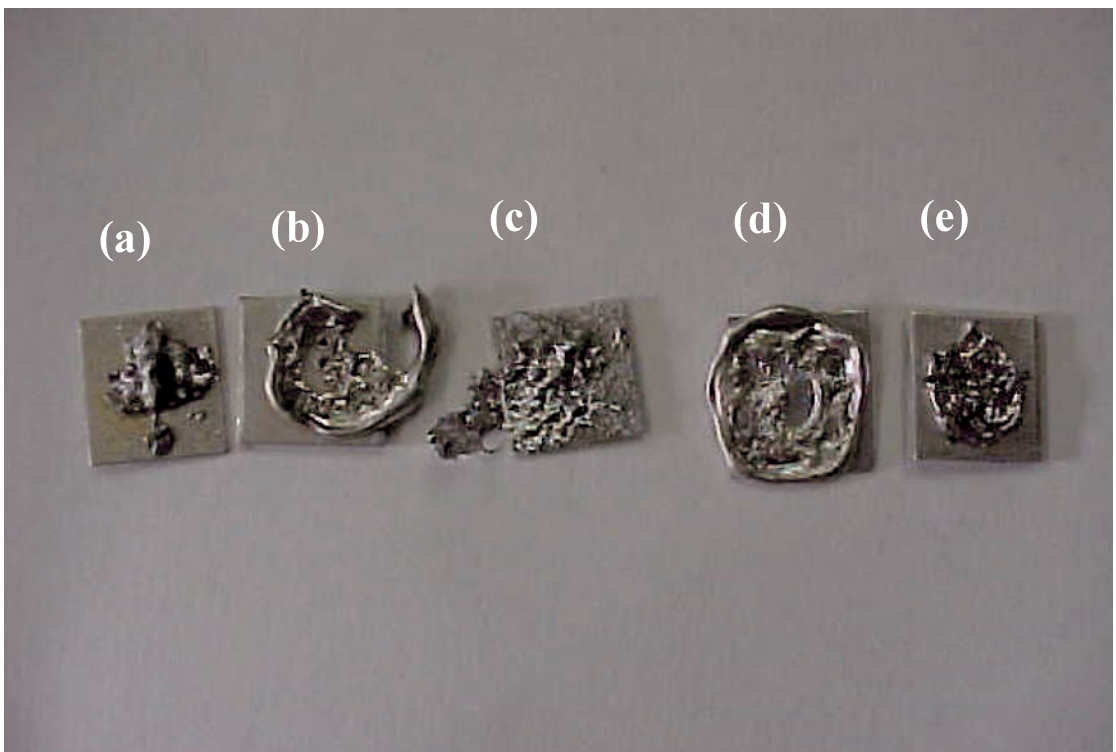


図4 直径0.5mmの穴をあけた板厚1mmのアルミニウム板に錫を射出した結果

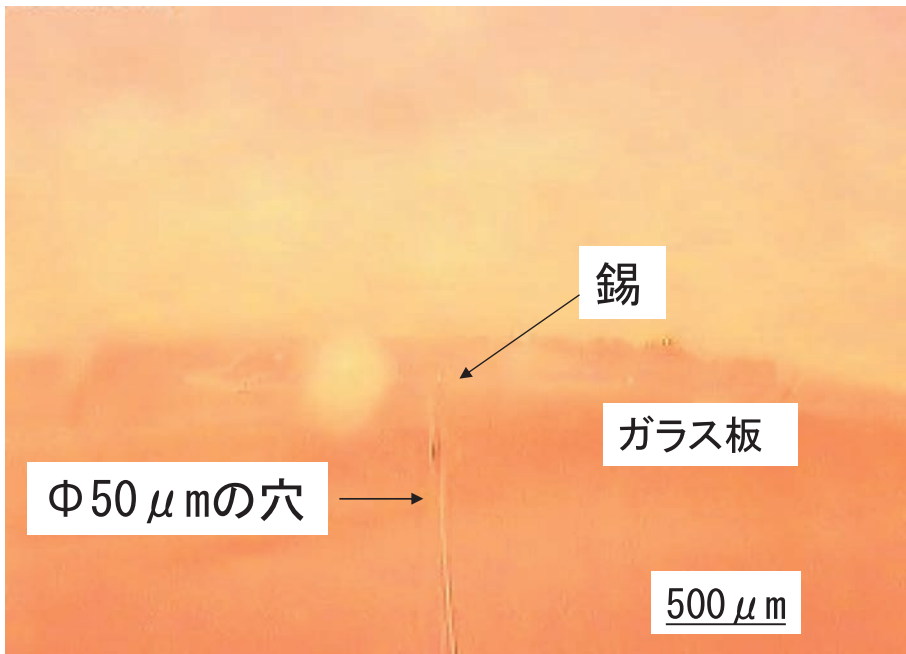


図5 直径50 μmの穴をあけたガラスに錫を射出した後の断面

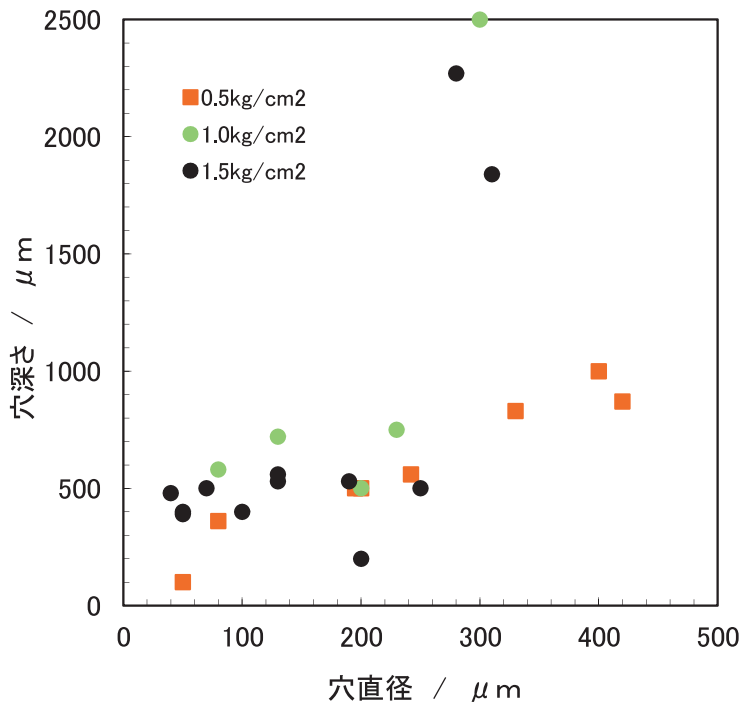


図6 ガラス板の穴直径と穴深さ方向に充填された錫の深さ

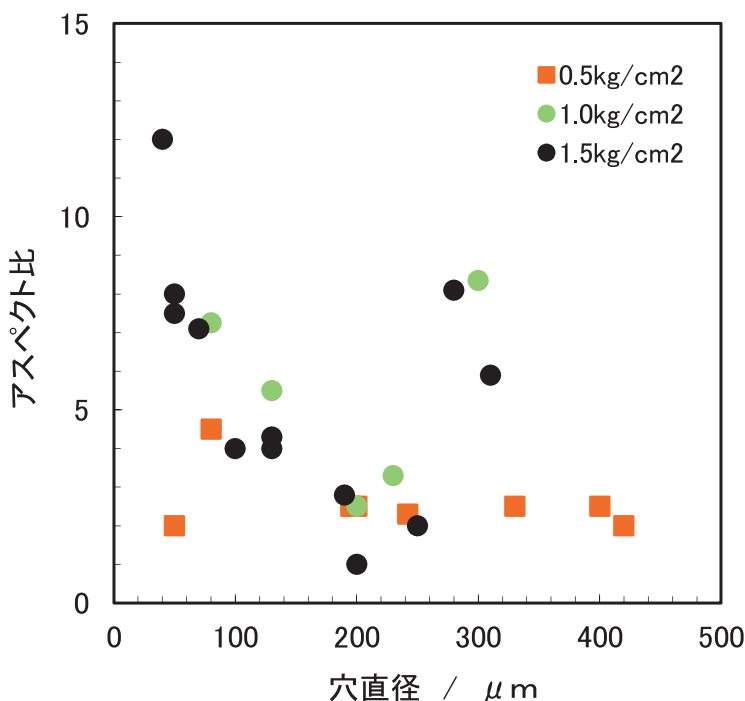


図7 ガラス版の穴直径と穴深さ方向に充填された長さとのアスペクト比の関係

4 おわりに

本研究では、シリコン基盤を含む金属板、ガラス板などに穴を開ける技術の検討を行い、形成した微細穴に対して簡易な金属充填装置を開発した。さらにその装置を用いて、金属の溶解温度と射出圧を変化させ、微細孔の中に金属を充填する条件の検討を行った。その結果は、以下のとおりになった。

1 厚さ1mmの純アルミニウム板に、直径0.5mmの貫通穴、厚さ0.5mmのシリコン板に、直径50 μm の貫通穴をあけることができた。ガラスはガラス細工により直径40 μm の穴をあけることができた。

2 形成した微細穴に対して金属充填装置を開発した。

3 ガラス板において射出圧力が1 kg/cm²、1.5kg/cm²とも穴直径が250 μm より小さくなるとアスペクト比は大きくなり、穴直径40 μm 、射出圧力1 kg/cm²でアスペクト比が最高12になった。金属充填装置を用いてガラスに錫を射出し、穴直径と穴深さを測定し、アスペクト比（深さ/直径）との関係を検討した。

文 献

- 1) 松岡甫篁, 機械技術, 55 (2007), pp.18-23.
- 2) 山崎正, 機械技術, 55 (2007), pp.24-28.
- 3) 伊東正頼, 機械技術, 55 (2007), pp.29-31.
- 4) 杉浦雅光, 機械技術, 55 (2007), pp.32-33.
- 5) 岳義弘, 機械技術, 55 (2007), pp.34-35.
- 6) 山本剛広, 機械技術, 55 (2007), pp.36-39.

- 7) 柳田一也, 機械技術, 55 (2007) , pp.40-43.
- 8) 長竹誉志, 機械技術, 55 (2007) , pp.44-45.
- 9) 津坂英夫, 渡邊英人, 機械技術, 55 (2007) , pp.46-47.
- 10) 河野正彦, 機械技術, 55 (2007) , pp.48-49.
- 11) 廣崎達也, 機械技術, 55 (2007) , pp.51-53.
- 12) 池亀誠, 機械技術, 55 (2007) , pp.54-55.
- 13) 田中正信, 機械技術, 55 (2007) , pp.56-57.
- 14) 今井祥人, 七沢禎文, 機械技術, 55 (2007) , pp.58-59.
- 15) 初田美砂紀, 橋本和明, マテリアルステージ, 7 (2007) ,No.5 pp.1-5.
- 16) 未益龍夫, マテリアルステージ, 7 (2007) ,No.5 pp.6-9.
- 17) 森川泰宏, マテリアルステージ, 7 (2007) ,No.5 pp.10-15.
- 18) 近藤英一, マテリアルステージ, 7 (2007) ,No.5 pp.21-24.
- 19) 北嶋雅之, マテリアルステージ, 7 (2007) ,No.5 pp.25-29.
- 18) 近藤英一, SEMINAR TEXT MEMS貫通配線技術,技術情報協会.
- 19) 丸山幸児, 平山祐介, 永関一也,電気学会研究会資料, EFM-08-17~23 (2008) ,pp.9-12.
- 20) 松原正弘,近藤英一,電気学会研究会資料, EFM-08-17~23 (2008) ,pp.23-26.

