

[B20] 樹脂製バイオチップの溶着に関する研究

知能機械工学科 山田研究室
0114045 清水 直紀

1. 緒言

生体・医工学の分野では、Micro-Electro Mechanical System (MEMS) の技術を応用して製作されるバイオチップの研究が盛んに行われている^[1]。バイオチップとは、基板上にマイクロからナノメートルサイズの微細流路を形成したもので、同時並行かつ高速で特定のたんぱく質やDNA等の分析を実現するチップである。チップの材質としては、シリコン、石英ガラスが微細加工性の点から一般的に用いられているが、価格と量産性の面で樹脂材料が注目を集めている。樹脂製バイオチップの製作には樹脂同士を接合する必要があるが、接着剤中に含まれる溶剤や化学物質による変質や劣化を防ぐため、接着剤を用いない接合方法が要望されている。現在用いられている熱融着法は、金型を介した熱伝導加熱による方法である。そのため、金型接触面の熱損傷や、溶着時間が長い等の欠点がある。

本研究ではマイクロ電気泳動チップの蓋溶着に焦点を絞り、従来の方法より効率的で精密な形状に対応できる赤外線を利用した新しい溶着法を提案する。

2. 溶着原理

黒崎ら^[2]は無添加樹脂同士で表面に熱損傷が発生しないレーザー溶着技術を開発した。この方法はFig.1 に示すように、樹脂試料の加熱源に赤外線を用いる。重ね合わせた樹脂に対して、赤外線照射側に設置した樹脂表面に高い赤外線透過性と強い放熱性（大きな熱拡散率）を有する固体材料（ヒートシンク）を接触設置し、ヒートシンク上部から赤外線を樹脂試料に直接照射し溶着する。ヒートシンク側への熱拡散により、これまで欠点であった赤外吸収に伴う樹脂試料表面の熱損傷を抑えることができる。

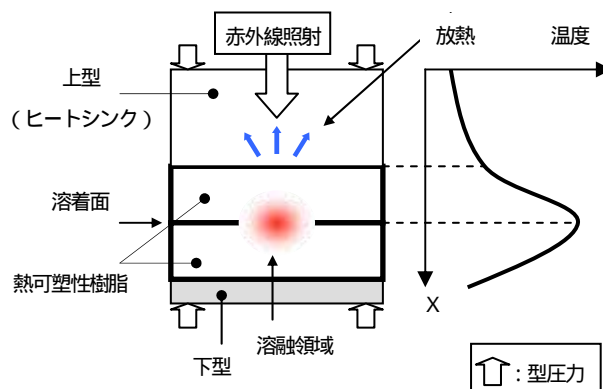


Fig.1 赤外線溶着の原理

3. 実験方法

3.1 装置

装置構成をFig.2 に示す。光源にハロゲンランプ（波長範囲：200～5000nm, 最大照射パワー密度 $50\text{W}/\text{cm}^2$ ）を用い、精密油圧プレス装置に組み込んだ。ヒートシンク型材料にはサファイア（厚さ 10mm）及びシリコン（silicon）、下型にはサファイア（厚さ 8mm）を用いた。型圧力を均一にするために、下型の下にゴムを設置した。樹脂試料には、非晶性の環状オレフィンコポリマー（Cyclic Olefin Copolymer : COC, ガラス転移温度 80）を使用し、深さ $30\mu\text{m}$ 、幅 $100\mu\text{m}$ の溝が十字に成形された転写基板（厚さ 1.0mm）とカバーシート（厚さ $200\mu\text{m}$ ）を溶着する。

ハロゲンランプの放射強度分布を Fig.3 に、各試料の透過スペクトルを Fig.4 に示す。ハロゲンランプは、波長 1000nm 付近にピークをもつ。サファイアはランプの全有効波長域に対して、高い透過率を有する。シリコンは波長 1100nm 以下の光には強い吸収を有し、波長 1100nm 以上の光には高い透過率を有する。COC は波長 1700nm 以上で吸収帯を多く有する。シリコンを設置したのは、それ自身の光吸収による温度上昇により、樹脂からの熱流速を減少させ温度ピーク位置を照射側に移動させるためである。

3.2 溶着手順

電気ヒーターにより上型を 60 に加熱する。樹脂試料を下型の上に設置し、下型を上昇させ型締めする。目的の型圧力（26～158KPa）が加わり型圧力が安定したら、ハロゲンランプ（最大照射密度 $50\text{W}/\text{cm}^2$ ）の照射を開始する。照射した後冷却（10s）して離型する。冷却方法は自然冷却である。

3.3 溶着の評価方法

微細流路の形状を表面形状測定顕微鏡により測定し、溶着の前後で微細流路がどの程度保持できたかを計算した。つまり Fig.5 に示すように、溶着前の溝深さに対する溶着後の微細流路厚さの割合を計算し、微細流路の形状保持性= D/H として求めた。

4. 実験結果及び考察

4.1 ランプ照射時間の影響

ランプ照射時間の影響を Fig.6 に示す。型圧力を 53KPa と

して、ランプ照射時間を 10~20s の間で変化させた。形状保持性は、ランプ照射時間の増加に伴い低下する傾向があるのがわかった。ランプ照射時間を長くすると溶着面付近の温度が上昇し流動性が高まるためだと考えられる。

4.2 型圧力の影響

型圧力の影響を Fig.7 に示す。ランプ照射時間を 13s として、型圧力を 26~158KPa の間で変化させた。形状保持性は、型圧力の増加に伴い低下することがわかった。型圧力を高くすると、樹脂を塑性変形する力が強く働くためだと考えられる。

4.3 微細流路の形状保持性に関する適正加工条件の推察

加工条件と溶着の関係を示す。ランプ照射時間と型圧力を変化させた実験結果をまとめた。図中の印は、微細流路が全て残っている状態で全面溶着した状態を表している。図中の印×は、未溶着又は少なくとも微細流路の一部が形状保持性 0% を表している。

マイクロ電気泳動チップのように表面に形状を有している樹脂の場合は、その形成領域を溶融してしまうため、溶着と形状保持の両方を満足する加工条件は、極めて限られた条件になることが推察される。

5. 結言

本研究では、光加熱溶着法による COC 製マイクロ電気泳動チップの蓋溶着（溶着前の溝深さ 30 μ m、溝幅 100 μ m）を試み、その可能性を示した。実験により得た結論と課題を挙げる。

- ・ 赤外線溶着法によるマイクロ電気泳動チップの蓋溶着ができる条件を明らかにした。
- ・ ランプ照射時間と型圧力を増加させることで、微細流路の形状保持性は減少する傾向があることを確認した。
- ・ シミュレーションにより、樹脂試料の温度分布を確認する必要がある。

参考文献

- [1] 長岡嘉浩, “マイクロデバイス内の流動現象”, ながれ, vol.21, pp419-428 (2002)
- [2] 又吉智也, 黒崎晏夫, 佐藤公俊, “伝熱制御による樹脂表面無損傷の CO₂ レーザ溶着技術”, 成形加工'03 講演集, pp177-180 (2003)
- [3] 安河内寛哉, 山田幸生, 角田直人, 黒崎晏夫, 又吉智也, 有本英伸, “樹脂製バイオチップの精密成形技術の開発”, 成形加工シンポジウム'04 講演集, pp145-146 (2004)

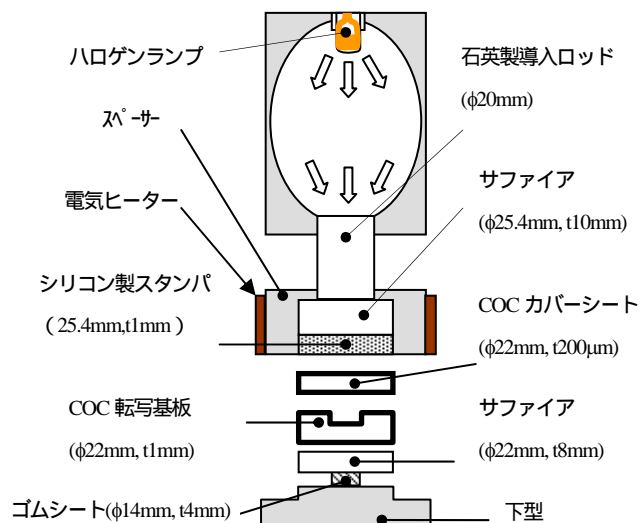


Fig. 2 実験装置

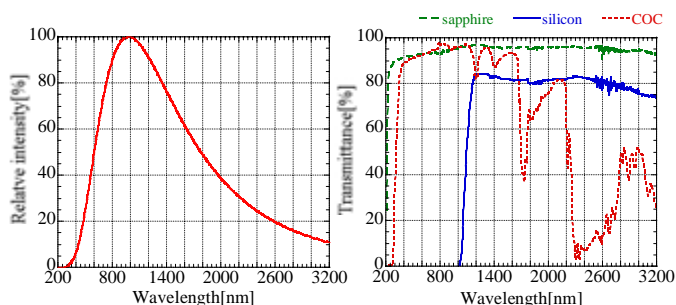


Fig.3 ハロゲンランプ放射強度分布

Fig.4 材料の透過スペクトル

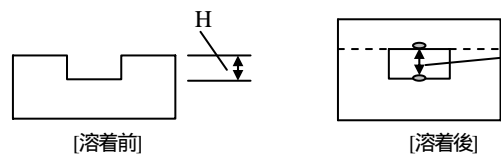


Fig.5 評価方法

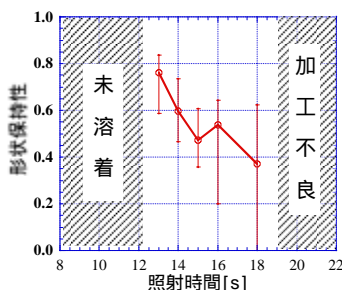


Fig.6 微細流路の形状保持性及びランプ照射時間の影響

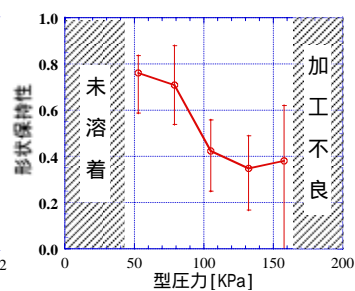


Fig.7 微細流路の形状保持性及び型圧力の影響

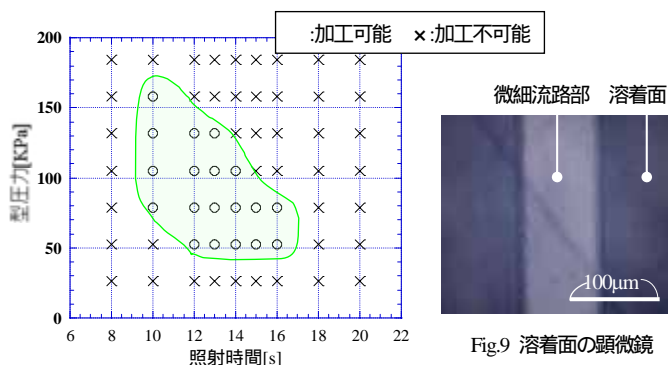


Fig.8 加工条件と溶着の関係

Fig.9 溶着面の顕微鏡写真 (500倍)