

ホットエンボス加工を用いたバイオセンサー用アクリル基板の製作

○高田紀子、青山正樹、鈴木光一

分子科学研究所 技術課

1 背景・目的

分子科学研究所 宇理須教授のグループからの依頼で、装置開発室では以前からイオンチャンネルバイオセンサーの開発を行っている。イオンチャンネルバイオセンサーは、神経細胞のシグナル伝達やイオンチャンネル等膜貫通タンパク質の研究において、細胞のイオン電流を計測するために使用される装置で、すでに確立されている手法もあるが、装置が大掛かりな上に1実験あたり1データしか取得できない点が問題とされている^{[1][2]}。これらの問題点を解決するため、これまでに図1 a)のような1点型の装置を開発し、現在これを用いて実験を行っている。さらに16点同時に計測できる多点型のイオンチャンネルバイオセンサーの開発を目標としている(図1 b)。

イオンチャンネルバイオセンサー用基板の製作方法を図2に示す。16点型のイオンチャンネルバイオセンサーを製作するにあたって、コストの低減や量産という点を考慮し、加工材料や加工方法を見直しながら行っている。例えば加工材料は、SOI(Silicon On Insulator)基板を用いていたところを、価格が安く、LIGAプロセスを利用した穴あけ加工が可能である点から、アクリル樹脂で検討している。また、加工方法については、これまで研磨加工とウェットエッチングで行っていた部分をホットエンボスに、FIBによる穴あけ加工はLIGAプロセスを利用して行うことを検討している。これらの加工方法の利点には、高精度である点と1回の処理で複数個同時に加工できる点が挙げられる。その中で今回は、ホットエンボス加工について報告する。

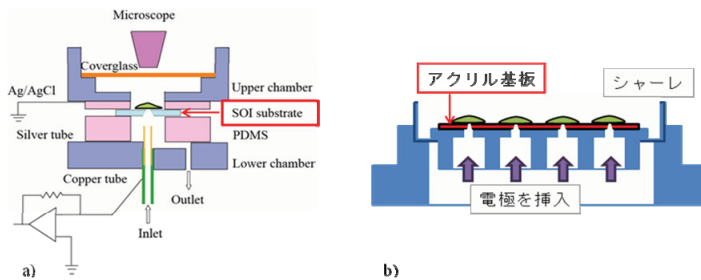


図1. イオンチャンネルバイオセンサーの構造
a) 現在イオン電流の計測に使用している1点型のバイオセンサー
b) 現在開発中の多点型のバイオセンサー(一部)

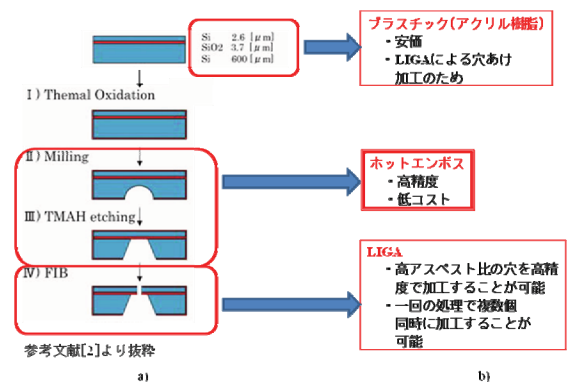


図2. イオンチャンネルバイオセンサー用基板の製作方法
a) 現在使用している1点型バイオセンサー用基板の製作方法
b) 現在開発中の多点型バイオセンサー用基板の製作方法(計画)

2 ホットエンボス加工

今回ホットエンボス加工で製作したい基板の構造を図3 a)に示す。大きさが約50mm×50mm、厚さが0.2~1mmのアクリル基板に対して、10μm以下の薄膜部分を残すことを現在のところ目標としている。

また、ホットエンボス加工のイメージ図を図3 b)に示す。製作したいアクリル基板の構造に対して凸型の構造をもつ金属製のモールドと、アクリル基板とをそれぞれ真空チャックに固定し、モールドを加熱しながら

らアクリル基板に対して押しつける手法である。そうすることで、ガラス転移温度以上になったアクリル基板がモールドの型に沿って変形する。形状に影響するパラメーターとしては、加熱温度、押し付け量(Z軸座標、荷重)、押し付け時間、アクリル基板の厚さ、モールドの突起の形状等が考えられる。

今回使用したアクリル基板の仕様を表1に、モールドの形状を図4に示す。

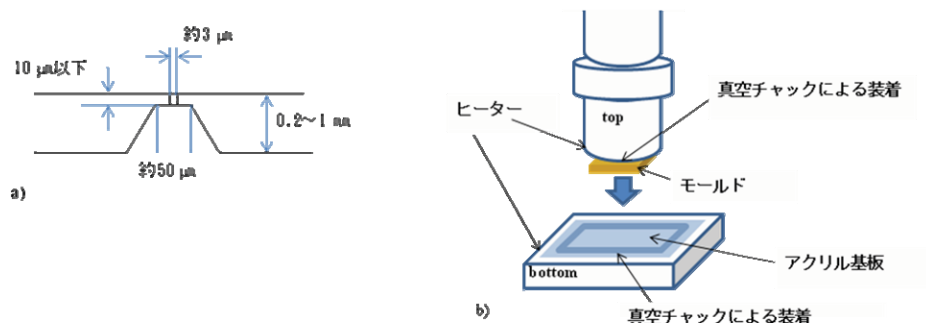


図3. ホットエンボス加工

- a)ホットエンボス加工を用いて製作したいアクリル基板の構造
- b)ホットエンボス加工のイメージ図

表1. アクリル基板の仕様

| | | |
|------|--------|--|
| 品名 | | クラレックス精密板 Sタイプ |
| サイズ | | ・70mm × 70mm × 厚さ0.5mm ^{*1} ・70mm × 70mm × 厚さ0.2mm ^{*1} |
| 熱的性質 | 熱変形温度 | 110°C |
| | 熱膨張係数 | 7 × 10 ⁻⁵ cm/cm/°C |
| | 加熱成形温度 | 140~180°C |

*1 厚さ 0.5mm と 0.2mm の 2 種類を使用した。

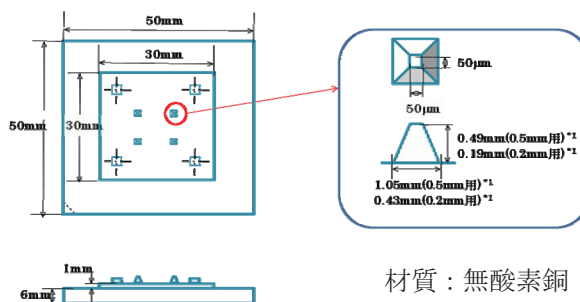


図4. モールドの形状

*1 0.5mm と 0.2mm の 2 種類の厚さのアクリル基板に対して、それぞれ異なる形状の突起をもつモールドを使用した。

3 実験結果

3-1 ホットエンボスの結果 (アクリル基板の厚さ 0.5mm とモールド 0.5mm 用を使用した場合)

厚さ 0.5mm のアクリル基板と 0.5mm 用のモールドを使用した時の結果を表2にまとめた。温度は 180°C、押し付け速度は 10μm/s に固定し、目標残膜の厚さを 50μm と 10μm、押し付け時間を 1分と 2分とで条件を変えて行った。その結果、ホットエンボス後の残膜の厚さは、Z 軸座標で調整した目標残膜の厚さとは異なる値を示した。また、アクリル基板の厚さが薄くなるほど残膜の厚さが薄く、また、荷重が小さくなる傾向が得られた (図5)。

表2. ホットエンボスの条件と結果
(アクリル基板の厚さ 0.5mm とモールド 0.5mm 用を使用した場合)

| A No. | B アクリル基板の厚さ *1 | C ホットエンボスの条件 | | | | D 荷重 *3 | E ホットエンボス後の残膜の厚さ *4 |
|-------|-------------------|-------------------|--------|------------|------------|------------|------------------------|
| | | C-1 目標残膜の厚さ *2 | C-2 温度 | C-3 押し付け時間 | C-4 押し付け速度 | | |
| 1 | 548μm | 50μm | 180°C | 1分 | 10μm/s | 5300N | 80.1μm |
| 2 | 496μm | 50μm | 180°C | 1分 | 10μm/s | 3500N | 46.6μm |
| 3 | 532μm | 50μm | 180°C | 1分 | 10μm/s | 5400N | 71.6μm |
| 4 | 487μm | 10μm | 180°C | 1分 | 10μm/s | 4000N | 40.2μm |
| 5 | 495μm | 10μm | 180°C | 2分 | 10μm/s | 4700N | 46.2μm |

*1 アクリル基板の4隅をマイクロメーターで計測した値の平均値

*2 Z軸の座標で調整

*3 アクリル基板にモールドを押し付けている時の最高荷重の測定値

*4 光学顕微鏡の焦点距離の差により計測した値 (各穴についてn=1。示している値は、4穴/1基板の平均値)

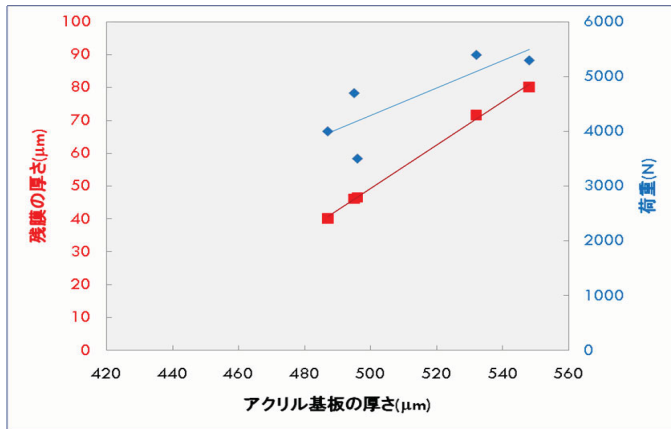


図5. 残膜の厚さと荷重に対する、亚克力基板の厚さの影響
亚克力基板の厚さ 0.5mm とモールド 0.5mm 用を使用した場合

3-2 ホットエンボスの結果 (亚克力基板の厚さ 0.2mm とモールド 0.2mm 用を使用した場合)

厚さ 0.2mm の亚克力基板と 0.2mm 用のモールドを使用した時の結果を表 3 にまとめた。温度、押し付け時間、押し付け速度を固定し、目標残膜の厚さを 50μm と 10μm とで検討を行った。それに加えて、使用したホットエンボス加工装置の最大荷重である 5000N で行うことで、最大でどこまで薄くすることができるか試みた。その結果、残膜の厚さは 16.5μm という結果が得られ、目標の 10μm は達成できなかったが、それに近い数値がホットエンボス加工により得られた。

表 3. ホットエンボスの条件と結果
(亚克力基板の厚さ 0.2mm とモールド 0.2mm 用を使用した場合)

| A No. | B 亚克力基板の厚さ *1 | C ホットエンボスの条件 | | | | D 荷重 *3 | E ホットエンボス後の残膜の厚さ *4 |
|-------|------------------|-------------------|--------|------------|------------|------------|------------------------|
| | | C-1 目標残膜の厚さ *2 | C-2 温度 | C-3 押し付け時間 | C-4 押し付け速度 | | |
| 1 | 210μm | 50μm | 180℃ | 1分 | 10μm/s | 600N | 57.7μm |
| 2 | 209μm | 10μm | 180℃ | 1分 | 10μm/s | 1100N | 41.3μm |
| 3 | 208μm | 荷重制御 | 180℃ | 1分 | 10μm/s | 5000N | 16.5μm |

*1 亚克力基板の 4 隅をマイクロメーターで計測した値の平均値

*2 Z 軸の座標で調整

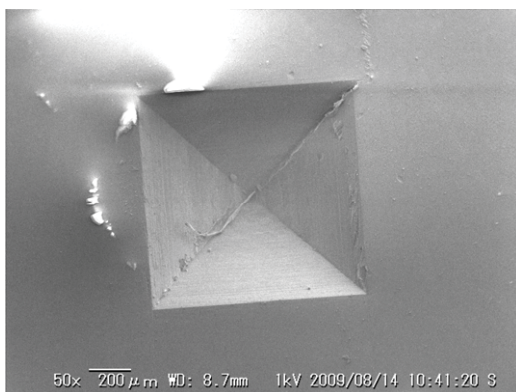
*3 亚克力基板にモールドを押し付けている時の最高荷重の測定値

*4 光学顕微鏡の焦点距離の差により計測した値 (各穴について n=1。示している値は、4 穴/1 基板の平均値)

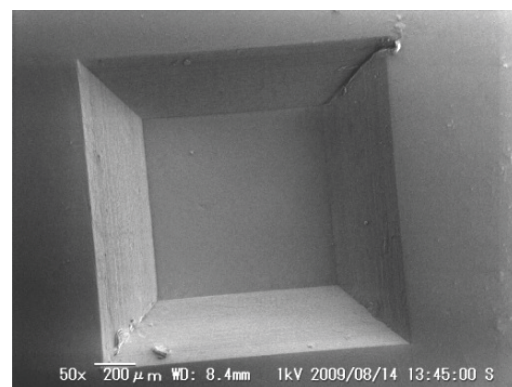
使用したホットエンボス加工装置の最大の荷重

3-3 亚克力基板の SEM 観察

ホットエンボス後の亚克力基板の突起部分とアライメントマーク部分を SEM で観察した。その画像を図 6 に示す。モールドの切削の跡やバリがそのまま転写されていることから、ホットエンボスによる微細構造の製作には、モールドの精密な加工が不可欠であることが分かる。



a)



b)

図 6. ホットエンボス後の亚克力基板の SEM 画像

a) 突起部分の SEM 画像

b) アライメントマーク部分の SEM 画像

4 加熱温度の検討

3-2の実験結果より、ホットエンボスにより、10 μm 付近の残膜厚さはおそらく製作が可能と思われるが、加熱処理による歪みが目立つ。ホットエンボス後、アクリル基板は他の部品と接着する工程があるため、歪みはないことが望ましい。そこで、加熱温度を低くすることでアクリル基板の歪みを抑えることができるのではないかと考えた。その際、荷重がホットエンボス装置の最大荷重である 5000N よりも高くなることが予想される。そのため、最大荷重が 5000kg (=約 50000N) と大きく、装置の構造や材質の面で強度の高い引張圧縮試験機 (名古屋大学所有) を用いて同様のエンボス加工を行い、加熱温度の違いによる、変位置、荷重、アクリル基板の歪みに対する影響を調べた。

使用した装置の写真を図 7 に示す。ホットエンボスの時と同様、モールドをヒーターにより加熱後、アクリル基板に対して押し付けた。その際の、下側ステージの Z 軸方向の変位置、荷重、モールドの温度、アクリル基板の温度の経時変化をデータロガーで収集した。モールドの温度は、100 $^{\circ}\text{C}$ 、120 $^{\circ}\text{C}$ 、150 $^{\circ}\text{C}$ と変えて実験を行うことで、変位置と荷重がどのように変化するかを検討した。その結果のグラフを図 8 に示す。

図 8 より、変位置が増加するにつれて、荷重が指数関数的に増加することが分かる。また、モールドの加熱温度の違いによる影響としては、温度が高くなるにつれて荷重が減少する傾向が見られた。ただ、アクリル基板の歪みについては、目視ではあるが、低温の方が少ないことが分かった。

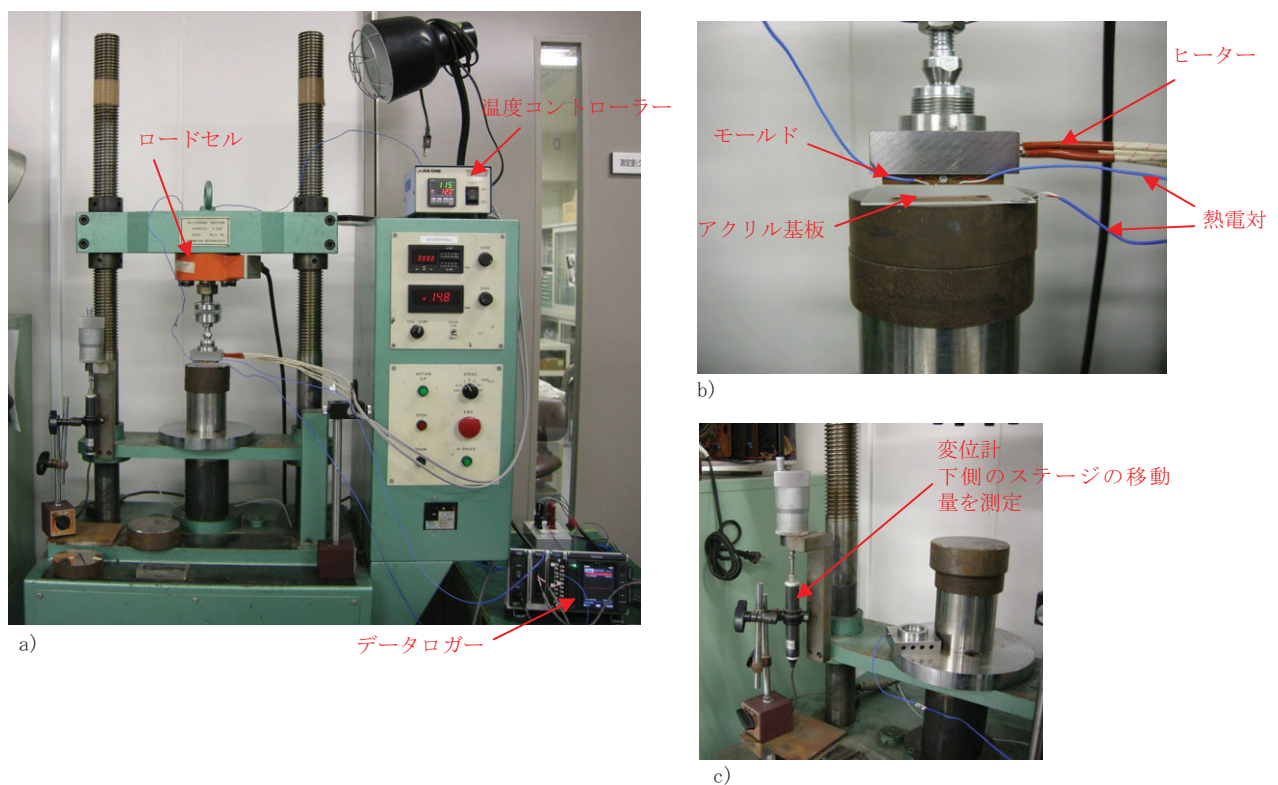


図 7. 引張圧縮試験機によるエンボス加工の様子

- a) 全体
- b) モールドとアクリル基板
- c) 変位置計

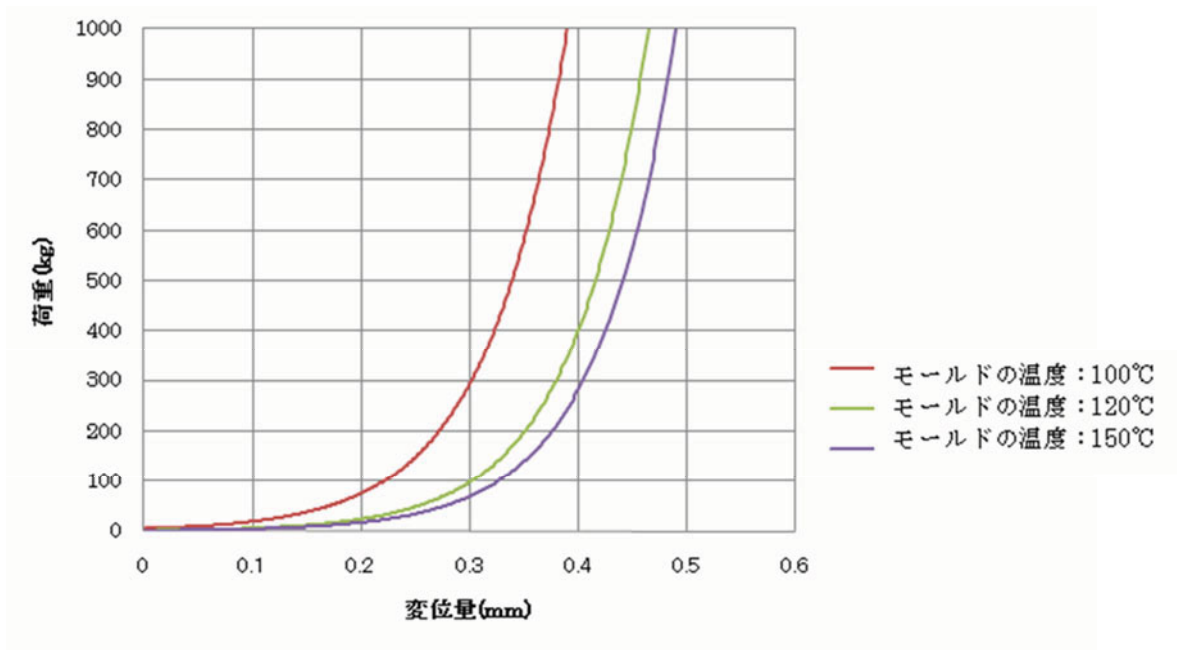


図8. モールドの加熱温度の違いによる、変位量と荷重に対する影響
 アクリル基板は厚さ 1mm のものを使用している。

5 まとめ

ホットエンボス加工により、アクリル基板に対して厚さ 10 μ m の薄膜部分を製作することは可能と思われる。さらに、加熱による歪みを低減させるには、成形が可能な温度範囲の中でも低い温度で成形すること、またモールドだけでなく基板自体も加熱することで温度ムラを減らすことが効果的であると思われる。ただし、低い温度での成形はその分荷重の増加を伴い、高荷重時のホットエンボス装置自体の変形によって誤差を大きくする可能性がある。

また、ここで行うエンボス加工は、薄膜の製作が目的であるという点で通常のナノインプリントとは異なり、薄膜部分においては、モールド側だけでなく、ステージ側にも熱や高い圧力が伝わることで、ステージの凹凸や傷がそのまま転写されてしまう。そのため、ステージも鏡面加工のものを用いるなどの工夫が必要と考えられる。

6 謝辞

ホットエンボス加工を行うにあたって、(独) 産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門 インプリント製造技術研究グループの銘苅春隆博士にご協力を頂きました。また、引張圧縮試験機による試験は、名古屋大学 全学技術センター 教育・研究技術支援室 装置開発系技術課第一技術班 第一装置開発グループのご協力を頂きました。紙面を借りてお礼申し上げます。

参考文献

- [1] Tsuneo Urisu etc. : Anal Bioanal Chem 391, pp.2703-2709, 2008
- [2] 浅野豪文ら：表面科学 Vol.28, No.7, pp.385-390, 2007