

IPA 저온 접합법을 이용한 PMMA Micro CE Chip의 제작

차남구 · 박광화 · 임현우 · 조민수 · 박진구[†]
한양대학교 재료화학공학부 마이크로바이오칩센터

Fabrication of PMMA Micro CE Chip Using IPA Assisted Low-temperature Bonding

Nam-Goo Cha, Chang-Hwa Park, Hyun-Woo Lim, Min-Soo Cho and Jin-Goo Park[†]

Division of Materials and Chemical engineering, Micro Biochip Center, Hanyang University,
Ansan, 426-791, South Korea

(2005년 11월 14일 접수, 2006년 1월 20일 최종수정본 접수)

Abstract This paper reports an improved bonding method using the IPA (isopropyl alcohol) assisted low-temperature bonding process for the PMMA (polymethylmethacrylate) micro CE (capillary electrophoresis) chip. There is a problem about channel deformations during the conventional processes such as thermal bonding and solvent bonding methods. The bonding test using an IPA showed good results without channel deformations over 4 inch PMMA wafer at 60°C and 1.3 bar for 10 minutes. The mechanism of IPA bonding was attributed to the formation of a small amount of vaporized acetone made from the oxidized IPA which allows to solvent bonding. To verify the usefulness of the IPA assisted low-temperature bonding process, the PMMA micro CE chip which had a 45 μ m channel height was fabricated by hot embossing process. A functional test of the fabricated CE chip was demonstrated by the separation of fluorescein and dichlorofluorescein. Any leakage of liquids was not observed during the test and the electropherogram result was successfully achieved. An IPA assisted low-temperature bonding process could be an easy and effective way to fabricate the PMMA micro CE chip and would help to increase the yield.

Key words Hot Embossing, PMMA (polymethylmethacrylate), Capillary Electrophoresis, Plastic Chip, Thermal Bonding, IPA (isopropyl alcohol).

1. 서 론

분석시스템의 소형화를 위한 연구의 발전은 최근 30여 년간 계속 진행되어 왔으며, 특히 최근 몇 년간 폴리머 기반의 micro CE (capillary electrophoresis) chip의 발전은 미세유체시스템 시장에서 많은 관심을 끌게 되었다. 현재 대부분의 미세유체시스템은 유리 기판이나 실리콘 기판으로 제작되며 복잡한 채널 망들을 칩 내부에 가지고 있는 형태로 구성되어 있다. 폴리머 기반의 마이크로칩은 동일한 채널과 구성을 가지면서 유리나 실리콘으로 만든 칩들에 비해 낮은 가격, 공정의 단순화, 대량생산 등의 많은 이점을 가지고 있다.¹⁾ 이러한 폴리머 기반의 미세소자를 만드는 기술은 핫 엠보싱(hot embossing),²⁾ injection molding,³⁾ soft lithography,⁴⁾ laser ablation,⁵⁾ sacrificial etching⁶⁾ 등이 있으며, 이번 연구의 제작 방법으로는 핫 엠보싱 기법이 사용되었다. 핫 엠보싱 기술은 미리 제작

된 핫 엠보싱용 스텝퍼를 이용하여 폴리머를 유리친이온도 (glass transition temperature; Tg) 이상으로 가열 후 열과 압력을 가하여 구조물을 형성한다. 이러한 방식은 스텝퍼의 형상이 물리적으로 전사되므로 기존의 광학 리소그래피 방식에서 접근하기 힘든 투명한 플라스틱과 같은 재료에도 유기 용제를 사용하지 않고 손쉽게 패턴을 형성할 수 있다. 또한 다른 기계적 가공 방법에 비해 재료의 광학적 성질을 잃지 않으면서 우수한 표면 특성의 패턴을 플라스틱 기판 위에 제작할 수 있는 장점이 있다.⁷⁻¹⁰⁾

모세관 전기영동(capillary electrophoresis)은 강력한 분리 메커니즘과 크로마토그래피의 기기와 및 자동화 개념에서 등장한, 양이온과 음이온은 물론 중성 물질까지도 한번에 분리할 수 있는 강력한 분리 기술이다. 전기영동법에 의한 분리는 전기장 내에서 서로 다른 시료성분의 differential migration에 의해 일어난다. 즉, 용액 중에 존재하는 각종 이온성 물질에 전기장을 걸어 주면, 각 성분들은 각각의 전하와 이동도에 따라 일정한 방향과 속

[†]E-Mail : jgpark@hanyang.ac.kr

도로 이동하게 되며 크기, 모양, 평균 전하량에 따른 표면전하 특성과 수용액의 pH, 농도, 점도 등에 따른 이동도(mobility) 차에 의해 분리되는 기술이다. 일반적으로 모세관 전기영동을 이용한 분리는 내경이 25~50 μm 정도의 모세관을 이용하며, 전기영동적 현상인 EOF(electro-osmotic flow)의 flat flow에 의해서 이론단수 10만 이상의 높은 효율을 얻을 수 있다. 이 기술이 타 분리 기술에 비해 좋은 점은 분석시간이 10분 이내로 빠르며 분해능이 높고 시료 소모량이 1~50 nL로 극히 적어 바이오 물질을 분리하는데 상당히 효과적인 것으로 알려져 있다.¹¹⁻¹³⁾

PMMA(polymethylmetacrylate)는 광소자에 널리 쓰이는 매우 잘 알려진 재료로 다른 일반적인 플라스틱들에 비해 상대적으로 낮은 소수성을 가지고 있으며, 마이크로 채널에 전기장을 가했을 경우에 안정적인 EOF 특성을 가지고 있다.¹⁴⁾ 또한 PMMA는 가격이 싸고, 내후성이 좋으며, 인체에 무해한 물질로써 실제로 'in-the-field' 또는 'point-of-care' 적용할 수 있는 일회용 소자의 재료로써 기대된다.^{2,15)} PMMA 기판의 마이크로 채널은 패턴 기판과 커버 기판을 접합하여 제작된다. 현재 PMMA간의 접합을 위해서는 열 접착(thermal bonding),²⁾ 초음파 용착,¹⁶⁾ 용제 접착¹⁷⁾ 또는 접착제¹⁸⁾를 사용한 방법이 적용되고 있다. 그러나 패턴을 가지고 있는 대면적 기판에 기존의 접합 방법을 이용할 경우 손쉽게 접착할 수 있는 있으나 패턴 내부가 딱히거나 사용하는 용제가 흘러 들어가 채널의 변형과 막힌 현상이 유발되었다. 따라서 광학적인 성질을 잃어 버리지 않고 패턴을 손상시키지 않으면서 PMMA를 접합시킬 수 있는 방법이 필요로 하게 되었다.

본 연구에서는 IPA(isopropyl alcohol, $(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$)를 사용하여 패턴 변형이 최소화 되는 저온 접합 공정을 개발하였다. 그리고 저온 접합 공정을 이용하여 PMMA micro CE chip을 제작한 후 전기영동에 의한 분리가 가능한지를 평가해 보았다.

2. 실험 방법

PMMA 접합 공정을 확립하기 위하여 열 접합 및 아

세톤과 IPA를 이용한 접합 공정을 수행하였다. 접합 공정은 온도를 변화시킬 수 있는 진공 오븐(OV11, Jeio tech, Korea) 안에서 수행되었다. 각 용액으로 처리된 PMMA 기판 위의 13×18 mm 크기의 시편을 두고 10분 동안 하중을 가한 후 PMMA의 변화를 관찰해 보았다. 접합 온도는 30°C, 60°C, 100°C에서 수행되었으며 무게 추를 이용하여 3 kg과 8.5 kg의 하중을 주었다. 최소 변화량으로 접합이 일어나는 공정 조건에서 핫 엠보싱 장비(EVG520HE, EVG, Austria)를 사용하여 실제 접합 공정을 수행하고 패턴의 변화를 확인해 보았다.

마이크로 칩의 디자인은 AutoCAD (R14, AutoDesk, USA)를 사용하여 Fig. 1에서 보는 것처럼 10 mm의 짧은 채널과 64 mm의 긴 채널이 십자가 모양을 가지며 채널의 너비는 50 μm 이고, reservoir의 직경은 2 mm로 설계되었다. 각각의 reservoir는 H1 (buffer reservoir), H2 (sample reservoir), H3 (sample waste), H4 (buffer waste)로 표시하였다. 포토 리소그래피를 위한 필름 마스크는 photoplottter (LPP, Pentax, Japan)를 이용하여 인쇄되었다. 핫 엠보싱을 위한 실리콘 스텝프는 300 nm 두께의 thermal oxide가 증착된 4인치 실리콘 웨이퍼(100)를 사용하였다. 세정과 습식식각에 사용된 H_2SO_4 , H_2O_2 , HF, KOH 등의 화학액은 반도체급을 사용하였다.

Fig 2에는 실리콘 스텝프를 제작하는 공정의 개략도가 나타나 있다. 먼저 thermal oxide 웨이퍼는 piranha 용액 ($\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2=4:1$)을 이용하여 세정한 후 (Fig. 2(a)) 패턴 형성을 위해 positive 감광액 (AZ1512, Clariant Co., USA)을 스핀코팅 하였다(Fig 2(b)). 감광액은 3000 rpm, 30초 동안 스핀 코팅하여 1.2 μm 의 두께를 형성하였다. 감광액이 도포된 웨이퍼는 UV Aligner (EVG620, EVG, Austria)를 이용하여 노광 한 뒤(Fig 2(c)) 현상되었다(Fig 2(d)). 패턴이 형성된 웨이퍼는 건식식각 방식으로 산화막을 식각한 후(Fig 2(e)) 잔류 감광액을 아세톤을 이용하여 제거하였다(Fig 2(f)). 73°C, 20 wt% KOH 용액에 50분간 담가 실리콘 습식식각을 진행한 후(Fig 2(g)) HF 용액에 넣어 남아 있는 산화막을 제거하여, 핫 엠보싱을 위한 실리콘 스텝프를 얻게 되었다(Fig 2(h)).

Fig 3에는 핫 엠보싱 공정과 접합 공정을 이용하여 PMMA 기판 내부에 마이크로 채널을 형성하는 공정의

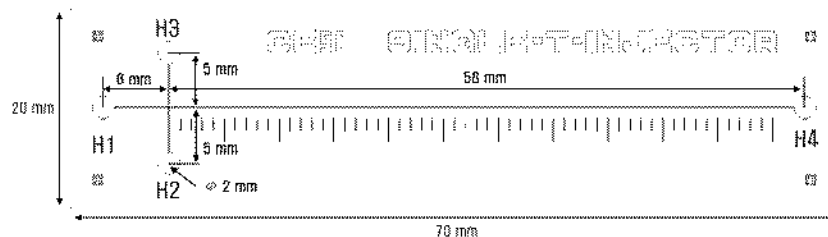


Fig. 1. Photomask design of micro CE chips.

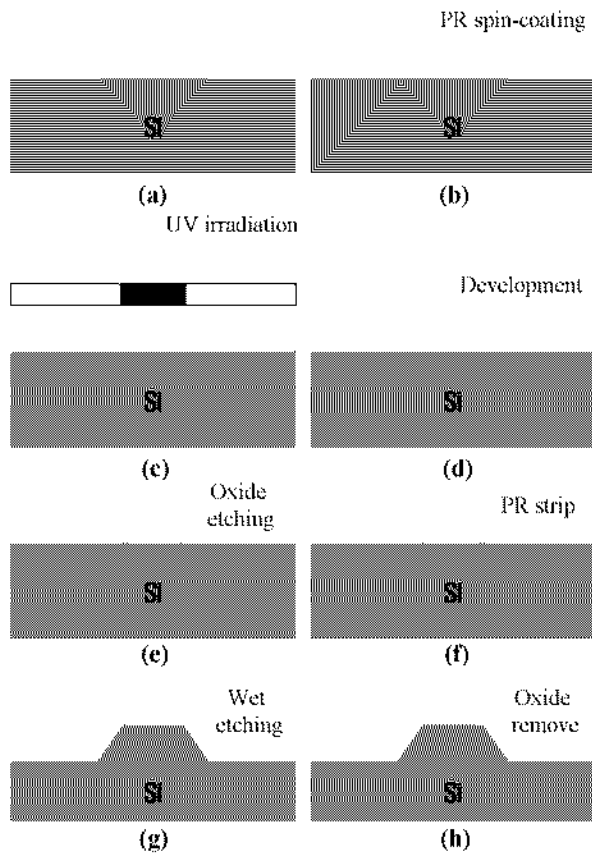


Fig. 2. Schematic fabrication process of Si stamps.

개략도가 나타나 있다. 복제물을 제작하기 위하여 1 mm 두께의 PMMA 판을 (취세화플라스틱에서 구매한 후 4인치 웨이퍼 형태로 가공하여 사용하였다. 먼저 실리콘 스탬프와 PMMA 웨이퍼 사이의 좋은 이형성능을 위해서 ICP 플라즈마 장비를 이용하여 실리콘 웨이퍼 위에 20 nm 두께의 짐착방지막을 형성시켰다(Fig. 3(a)). 실리콘 스탬프는 1 mm 두께의 PMMA 웨이퍼와 샌드위치 시킨 후 핫 엠보싱 장비에 고정시켰다(Fig. 3(b)). 핫 엠보싱 공정은 110°C, 12.6 bar의 조건에서 10분 동안 진행하였다(Fig. 3(c)). 공정이 끝난 뒤에는 실리콘 스탬프와 임프린트된 PMMA 웨이퍼를 분리하였다(Fig. 3(d)). 임프린트된 PMMA 웨이퍼 위에 4개의 1 mm 직경의 홈(H1~H4)을 드릴링하여 reservoir를 형성시켰고, 그 후 집합 공정을 수행하여(Fig. 3(e)) 임프린트된 PMMA 웨이퍼와 평판 PMMA 웨이퍼 사이에 마이크로 채널이 형성되었다(Fig. 3(f)). 마지막으로 집합된 PMMA 웨이퍼를 세로 20 mm, 가로 70 mm의 직사각형으로 잘라 PMMA micro

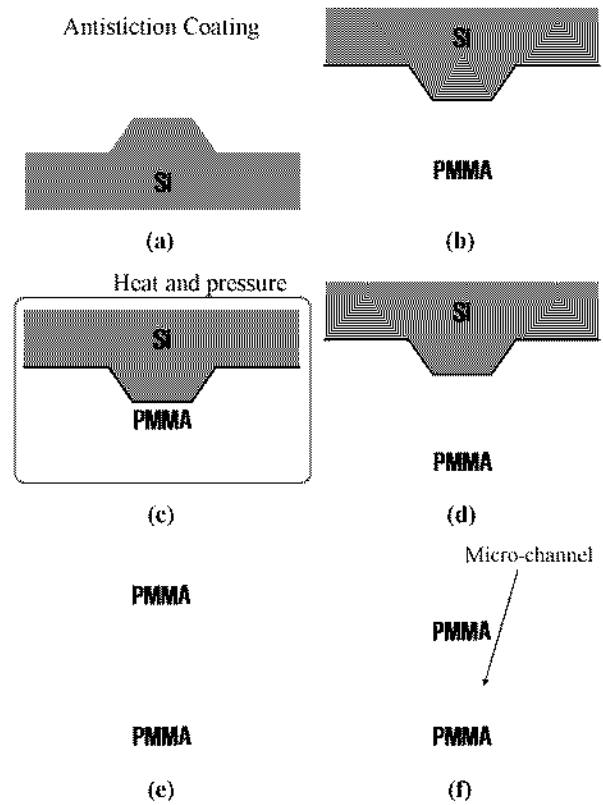


Fig. 3. Schematic fabrication process of PMMA micro CE chips.

CE chip을 완성하였다. 제작된 실리콘 스탬프와 임프린트된 PMMA 웨이퍼의 형상 및 너비의 측정은 surface profiler (P1, Tencor Instruments, USA)를 이용하여 측정하였다. PMMA chip 제작을 위해서 절단 장비 (NDS200, A.M Technology, Korea)가 사용되었다. 집합된 표면과 제작된 chip의 단면 치수는 광학현미경(L-150A, Nikon, Japan)을 이용하여 측정하였다.

제작된 PMMA micro CE chip의 전기영동 성능을 평가하기 위하여 혼합된 용액의 분리 실험이 수행되었다. 분석에 사용한 sodium borate (pH 9.35) 및 fluorescein과 dichlorofluorescein 용액은 Sigma (St. Louis, MO, USA)에서 구매하였다. 샘플용액은 10 μ M fluorescein과 2 μ M dichlorofluorescein이 섞인 용액을 사용하였다. CE 실험 장비는 4개의 고압 채널을 가지고 컴퓨터로 전압분배가 가능하며 532 nm 파장의 Nd:YAG diode 레이저가 장착된 MCE-G-M4-1 (Digital Bio Technology, Korea)가 사용되었다. 실험에 사용된 전압과 분리 시간은 Table 1

Table 1. Applied voltages and times for the capillary electrophoresis test with PMMA micro CE chips.

	Time (s)	H1 (kV)	H2 (kV)	H3 (kV)	H4 (kV)
Sequence 1 (injection)	60	1.1	1.75	0	1.6
Sequence 2 (separation)	200	2.4	2.0	2.0	0

에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

먼저 PMMA 접합 공정을 확립하기 위하여 열 접합과 아세톤과 IPA를 이용한 접합 공정이 수행하였다. 각 용액으로 처리된 PMMA 기판 위의 온도와 하중을 변화시켜 PMMA의 변화량을 관찰해 본 결과는 Table 2에 정리되어 있다. 열 접합의 경우 30°C, 60°C에서 압력 변화에 따른 PMMA 기판의 변화량이 나타나지 않았다. PMMA의 Tg 온도인 100°C의 경우 3.6 bar의 압력 조건에서 표면과 부분적으로 접합되는 것을 확인할 수 있었다. 아세톤을 이용한 접합의 경우 온도와 압력에 상관없이 접합되는 것을 알 수 있었다. 그러나 접합면 사이로 PMMA가 불규칙적으로 용융되어 굳어 있었으며 그 변형량이 마이크로 채널을 형성하고자 하는 50 μm 보다 크고 일정하지 않아 패턴이 형성되어 있는 기판에 사용하는 것은 불가능하였다. IPA를 이용한 경우 30°C와 50°C에서는 열 접합과 동일하게 아무런 변화도 확인할 수 없었다. 60°C에서는 표면에 미세한 접착 자국의 변화를 감지할 수 있었고 100°C에서는 현미경에서도 확인할 수 있는 표면의 용융된 변화를 확인할 수 있었다. Fig 4는 100°C, 3.6 bar에서 10분 동안 유지시킨 경우 접합면의 현미경 사진을 보여주고 있다. 표면의 용융된 모양은 약

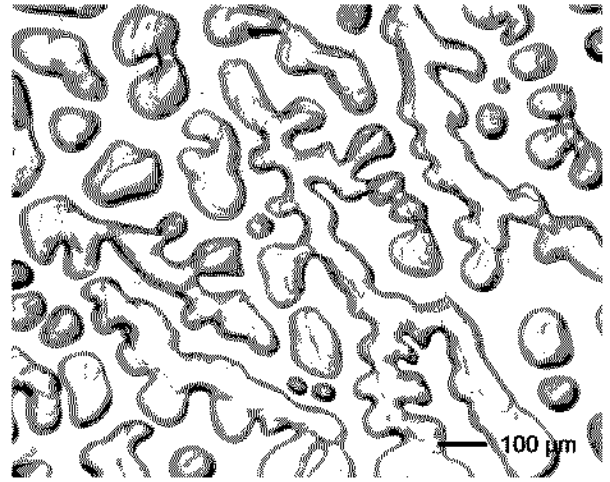


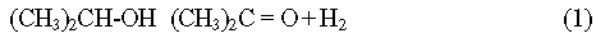
Fig. 4. Optical microscopic image of the PMMA surface after an IPA assisted thermal-bonding process at 100°C, 3.6 bar and 10 minutes.

100 μm 정도의 폭에 2~3 μm 정도의 용융 깊이를 가지는 것으로 확인되었다. 일반적으로 IPA에 의해서 PMMA가 접합되지 않는 것으로 알려져 있으나 PMMA 사이에 일정량 이상의 온도와 압력이 가해진 경우 미량의 아세톤이 형성되고 이렇게 형성된 미량의 아세톤 기체는 표면에만 작용하여 용제 접합을 유도하는 것으로 추측된다. 아래의 화학식은 IPA가 산화되어 아세톤으로 변화

Table 2. Surface deformations and bonding results at various bonding conditions.

	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Surface deformation	Bonding result
Thermal bonding	30	1.3	No	No
		3.6	No	No
	60	1.3	No	No
		3.6	No	No
	100	1.3	Negligible	No
		3.6	Negligible	Yes (partial)
Acetone bonding	30	1.3	> 50 μm	Yes
		3.6	> 100 μm	Yes
	60	1.3	> 200 μm	Yes
		3.6	> 200 μm	Yes
	100	1.3	> 200 μm	Yes
		3.6	> 200 μm	Yes
IPA bonding	30	1.3	No	No
		3.6	No	No
	50	1.3	No	No
		3.6	No	No
	60	1.3	Negligible	Yes
		3.6	Negligible	Yes
	100	1.3	2 μm >	Yes
		3.6	3 μm >	Yes

하는 과정을 나타내고 있다.¹⁹⁾



실제 핫 엠보싱 장비를 이용하여 기존의 열 집합법과 IPA 집합법의 테스트 결과 기존에 사용하던 열 집합법을 이용할 경우 Tg 온도 근처의 고열과 고압으로 인해 기판 전체에 변형이 일어나거나 국부적으로 채널이 막히는 현상이 발생하였으나, IPA 집합법의 경우 Tg 보다 상대적으로 낮은 온도인 60°C에서 공정이 수행되었고 압력을 높여 공정을 진행할 경우에도 대면적에 변형량이 작

은 우수한 채널을 형성할 수 있었다. 따라서 본 논문에서는 IPA 저온 집합 공정 조건으로 60°C, 1.3 bar에서 10분 동안 수행하는 것으로 하였다.

IPA 저온 집합 공정의 실효성을 확인해 보기 위하여 핫 엠보싱 공정을 이용하여 PMMA micro CE chip을 제작해 보았다. 실리콘 스탬프와 복제된 PMMA 기판의 사진과 치수를 측정된 결과가 Fig. 5에 나타나있다. Fig. 5(a)는 실리콘 스탬프의 전체 모양을 보여주는 사진이며 Fig. 5(b)는 마이크로 채널이 교차하는 부분의 광학현미경 사진으로 채널의 상부 치수를 보여 주고 있다. Fig. 5(c)는 surface profiler로 측정된 결과로 스탬프의 윗부분

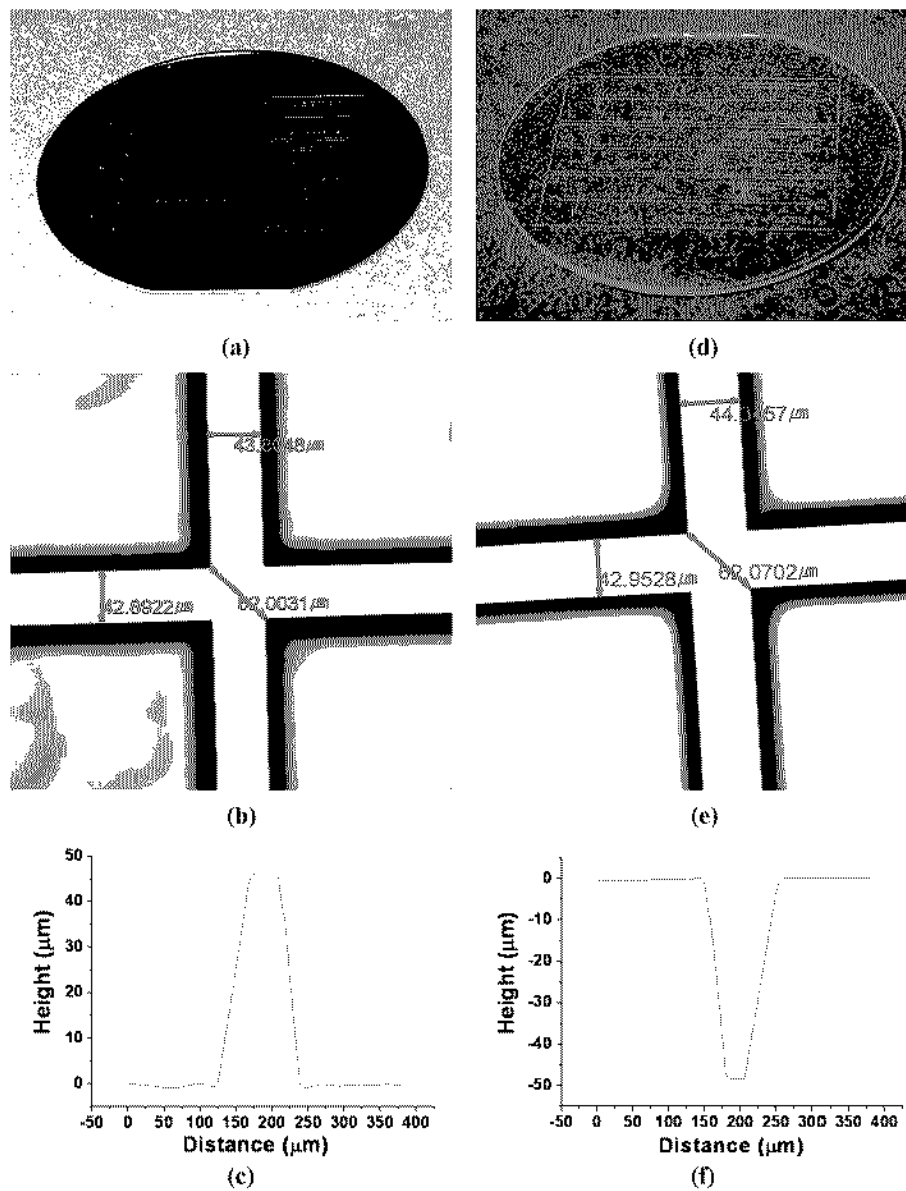


Fig. 5. (a) Photograph of the 4 inch Si stamp. (b) Microscopic image of chip at the cross point. (c) Cross sectional profile at the cross point on the Si stamp. (d) Photography of the imprinted PMMA wafer. (e) Microscopic image of the imprinted channels. (f) Cross sectional profile of the imprinted PMMA channel.

의 길이가 아래 부분보다 작은 사다리꼴 모양을 형성하는 것을 확인할 수 있었다. 이를 이용하여 임프린트 된 결과가 Fig. 5(d)~(f)에 나타나 있다. 1mm 두께의 PMMA 웨이퍼에 임프린트 된 결과 값이 실리콘 스탬프와 거의 동일한 값을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 이렇게 형성된 임프린트 된 PMMA 기판과 평판 PMMA를 IPA 저온 접합 공정을 이용하여 PMMA 기판 내에 마이크로 채널을 형성시켰다. 접합된 PMMA 판을 절단하여 최종적으로 세로 20mm, 가로 70mm, 두께 2mm를 가지는 직사각형의 PMMA micro CE chip을 제작하였다. Fig. 6(a)는 모든 공정이 끝난 칩의 사진을 보여주고 있다. Fig. 6(b)는 micro chip 단면의 현미경 이미지로 채널의 변형 없이 정상적으로 형성되어 있는 것을 확인할 수 있었다. Table 3에서는 임프린트 후 채널의 치수와 IPA 저온 접합 공정 후 채널의 치수 변화량을 보여주고 있다. 전체적으로 접합 공정 전후 약 1% 이내의 변화량을 보여주고 있음을 확인할 수 있었다.

제작된 PMMA micro CE chip의 전기영동 성능을 평가하기 위하여 혼합된 용액의 분리 실험이 수행되었다.

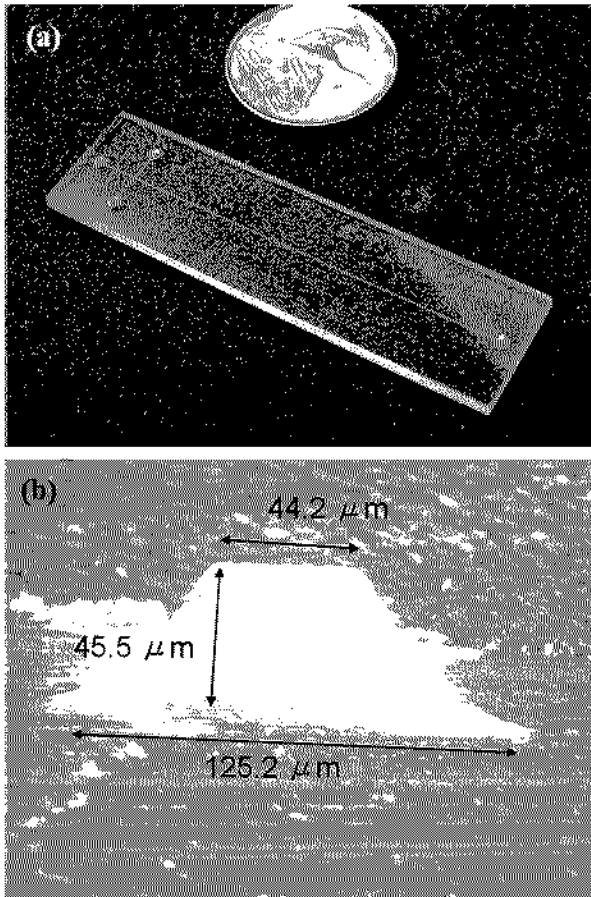


Fig. 6. (a) Photograph of the fabricated PMMA micro CE chip. (b) Optical microscopic cross sectional image of the channel region.

Table 3. The changes of imprinted PMMA wafer before and after IPA low-temperature bonding process (bonding temperature was 60°C, pressure was 1.3 bar and time was 10min.)

	Top (μm)	Bottom (μm)	Height (μm)
Before	43.14 \pm 0.3	123.2 \pm 0.6	47.3 \pm 0.4
After	44.20 \pm 1	125.2 \pm 2	45.5 \pm 1.1

분리 실험 도중 용액의 누수현상은 발견되지 않았으며 Table 1의 실험조건에서 분리실험을 수행한 결과 separation sequence를 수행한 후 20초 후에 dichlorofluorescein이 검출되고 그 후 fluorescein이 검출되는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 7). 이를 통해 PMMA micro CE chip을 활용하여 전기영동 실험이 수행될 수 있음을 확인하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 기존 PMMA 접합법으로 알려진 열 접합법이나 용제 접합법을 대신하여 채널의 변형을 최소화시키면서 대면적의 기판을 접합할 수 있는 IPA 저온 접합법을 개발하고 실제 칩을 제작하는데 적용하여 보았다.

접합 실험결과 열 접합의 경우 PMMA의 Tg 온도인 100°C에서 3.6 bar의 압력을 가할 경우 표면과 부분적으로 접합되는 것을 확인할 수 있었다. 아세톤을 이용한 접합의 경우 온도와 압력에 상관없이 접합되었으나 변형량이 마이크로 채널을 형성하고자 하는 50 μm 보다 크고 일정하지 않아 패턴이 형성되어 있는 기판에 사용하는 것이 불가능 하였다. IPA를 이용한 경우 60°C 이상 온도에서 적은 변형량으로 접합 되는 것을 확인할 수 있었다. 일반적으로 IPA에 의해 PMMA가 접합되지 않는 것으로 알려져 있으나 IPA를 이용한 저온 접합은 PMMA 사이에 일정량 이상의 온도와 압력이 가해진 경우 미량

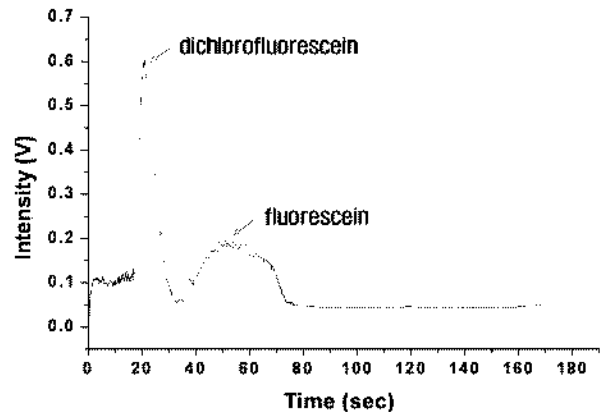


Fig. 7. Electropherogram of 10 μM fluorescein and 2 μM dichlorofluorescein using a PMMA micro CE chip.

의 IPA가 산화되어 아세톤이 형성되고 이렇게 형성된 기량의 아세톤 기체가 표면에 용제 접합을 유도하는 것으로 사료된다.

IPA 지온 접합 공정의 효과를 확인하여 위하여 핫 엠보싱 공정을 이용하여 PMMA micro CE chip을 제작하고 제작된 칩의 성능을 평가해 보았다. 패턴이 형성된 PMMA 기판과 평판 PMMA 기판 사이에 IPA를 노출한 후 60°C, 1.3 bar의 압력으로 10분 동안 유지시켜 PMMA 기판을 접합시켰다. 접합된 PMMA 관을 절단하여 단면을 관찰한 결과 변형 없이 정상적으로 채널이 형성되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 제작된 PMMA micro CE chip의 전기영동 성능을 평가하기 위하여 혼합된 용액의 분리 실험을 수행한 결과 성공적으로 분리 실험이 수행되었다. IPA 지온 접합법은 PMMA micro CE chip 제작을 위한 손쉽고 효과적인 접합 방법이며 생산 수율을 높이는데 사용될 수 있으리라 생각된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 21세기 프론티어 연구개발사업인 나노메카트로닉스 기술개발사업 (과제번호: 05K1401-00215)과 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금으로 수행한 최우수실험실지원사업의 연구비 지원을 받아 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고 문헌

1. F. Xu, M. Jabasini, S. Liu and Y. Baba, *Analyst*, **128**, 589 (2003).
2. Z. Chen, Y. Gao, J. Lin, R. Su and Y. Xie, *J. Chromatography A*, **1038**, 239 (2004).
3. Z.G. Lin, S. C. Tseng, J. Wang and Y. C. Su, *AIP Conference Proceedings*, **712**, 1547 (2004).
4. S. Y. Oh, J. H. Oh and J. W. Choi, *J. Korean Ind. Eng. Chem*, **14**, 35 (2003).
5. L. Juha, M. Bittner, D. Chvostova, V. Letal, J. Krasa, Z. Otcenasek, M. Kozlova, J. Polan, A.R. Prag, B. Rus, M. Stupka, J. Krzywinski, A. Andrejczuk, J. B. Pelka, R. Sobierajski, L. Ryc, J. Feldhaus, F. P. Boody, M. E. Grisham, G. O. Vaschenko, C. S. Menoni and J. J. Rocca, *J. Electron Spectroscopy and Related Phenomena*, **144**, 929 (2005).
6. S. Tuomikoski and S. Franssila, *Sensors and Actuators A, Physical*, **120**, 408 (2005).
7. *Alternative Lithography*, Edited by Clivia M. Sotomayor Torres, Kluwer Academic Publishers (2003).
8. H. Schulz, D. Lyebvedyev, H. C. Scheer, K. Pfeiffer, G. Bleidiesel, G. Grutzner and J. Ahopelto, *J. Vac. Sci. Technol. B*, **18**, 3582 (2000).
9. S. Y. Chou, P. R. Krauss and P. J. Renstrom, *Appl. Phys. Lett*, **67**, 3114 (1995).
10. N. G. Cha, C. H. Park, H. W. Lim, J. G. Park, J. H. Jeong and E. S. Lee, *Kor. J. Mater. Res.*, **15**, 589 (2005).
11. Y. S. Heo, S. Chung, K. C. Choi, C. Chung, D. C. Han and J. K. Chang, *J. Chromatography A*, **1013**, 111 (2003).
12. K. D. Altria, *J. Chromatography A*, **1**, 1 (1999).
13. A. E. Guber, M. Heckeke, D. Herrmann, A. Muslija, V. Saile, L. Eichhorn, T. Gietzelt, W. Hoffmann, P. C. Hauser, J. Tanyanyiwa, A. Gerlach, N. Gottschlich and G. Knebel, *Chem. Eng. J.*, **101**, 447 (2004).
14. U. Bilitewski, M. Genrich, S. Kadow and G. Mersal, *Anal. Bioanal. Chem.*, **377**, 556 (2003).
15. G. B. Lee, S. H. Chen, G. R. Huang, W. C. Sung and Y. H. Lin, *Sensors and Actuator B*, **75**, 142 (2001).
16. S. F. Ling, J. Luan, X. Li and W. L. Y. Ang, *NDT & E International*, **39**, 13 (2006).
17. J. Wang, M. Pumera, M. P. Chatrathi, A. Escarpa, R. Konrad, A. Griebel, W. Dornger, H. Lowe, *Electrophoresis*, **23**, 596 (2002).
18. B. Grass, A. Neyer, M. Johnck, D. Siepe, F. Eisenbeiß, G. Weber, R. Hergenroder, *Sensors and Actuators B*, **72**, 249 (2001).
19. From Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Isopropyl_alcohol.