

## 임프린트 공정을 이용한 연성동박적층필름(FCCL)의 마이크로 패턴 제작

민철홍<sup>1</sup>, 김태선<sup>2,a</sup>

<sup>1</sup> (주)시노펙스 기술연구소

<sup>2</sup> 가톨릭대학교 정보통신전자공학부

### Design and Fabrication of Micro Patterns on Flexible Copper Clad Laminate (FCCL) Using Imprinting Process

Chul Hong Min<sup>1</sup> and Tae Seon Kim<sup>2,a</sup>

<sup>1</sup> SYNOPEX INC., R&D Center, Hwaseong 18423, Korea

<sup>2</sup> School of Information, Communications and Electronics Engineering, The Catholic University of Korea,  
 Bucheon 14662, Korea

(Received November 5, 2015; Revised November 23, 2015; Accepted November 24, 2015)

**Abstract:** In this paper, we designed and fabricated low cost imprinting process for micro patterning on FCCL (flexible copper clad laminate). Compared to conventional imprinting process, developed fabrication method processing imprint and UV photolithography step simultaneously and it does not require resin etch process and it can also reduce the fabrication cost and processing time. Based on proposed method, patterns with 10  $\mu\text{m}$  linewidth are fabricated on 180 mm  $\times$  180 mm FCCL. Compared to conventional methods using LDI (laser direct imaging) equipment that showed minimum line with 10 ~ 20  $\mu\text{m}$ , proposed method shows comparable pattern resolution with very competitive price and shorter processing time. In terms of mass production, it can be applied to fabrication of large-area low cost applications including FPCB.

**Keywords:** Imprint, FCCL (flexible copper clad laminate), FPCB, Resin

#### 1. 서론

임프린트 기술은 도장과 같이 패턴을 전사시키는 기술로 나노 스케일의 패턴 구현이 가능하여 나노임프린트(nano-imprint)라고 부르고 있다. 이러한 임프린트

기술은 공정이 단순하고 제작 비용이 저렴하여 기존 반도체나 디스플레이 분야의 포토리소그래피(photolithography) 공정을 대체할 수 있는 기술로 많은 주목을 받고 있다 [1,2].

임프린트 공정은 패턴이 형성된 몰드(mold)와 패턴을 형성시킬 기재 사이에 레진(resin)을 도포하여 몰드의 패턴을 기재에 전사시키는 기술로 레진의 경화타입에 따라 크게 열경화 방법과 UV 경화식 방법으로 구분할 수 있다 [3,4]. 열경화 방식의 경우 몰드와 기재 사이에 레진을 도포하고 압력을 가한 상태에서 열을

a. Corresponding author; [tkim@catholic.ac.kr](mailto:tkim@catholic.ac.kr)

Copyright ©2015 KIEEME. All rights reserved.  
 This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

가해 레진을 경화시켜 패턴을 형성시키는 방식이고, UV 경화방식은 몰드와 기재 사이에 레진을 도포하고 열 대신 UV를 이용하여 레진을 경화시키는 방식이다. 일반적으로 UV 경화방식은 유리와 같은 투명한 재질의 몰드를 제작해야 하기 때문에 몰드 제작을 위한 비용과 시간이 많이 소모된다는 단점이 있지만 투명한 몰드를 사용하기 때문에 정렬(align)이 가능하고 낮은 온도에서도 패턴 구현이 용이하여 레진과 기재 사이의 열팽창 계수 차이로 인해 발생하는 패턴의 변형이 없어 미세패턴을 제작할 때 용이한 방식이다 [5]. 이러한 임프린트 기술은 포토리소그래피 공정과 달리 몰드의 패턴을 레진을 통하여 직접 기재에 전사시키기 때문에 레진이 경화된 후에 쉽게 몰드가 기재에서 분리되지 않아 몰드를 손상시킬 수 있으며, 임프린트 공정 시 몰드와 기재 사이에 공기층이 발생되어 원활한 패턴 구현을 방해하는 경우가 발생할 수 있다. 또한, 임프린트 공정을 진행한 후 임프린트 된 패턴의 바닥면에 얇게 경화된 레진을 별도로 식각(etching)해야 하는 경우도 발생하게 된다. 이 같은 문제는 나노임프린트 공정이나 대면적 임프린트에서도 동일하게 발생하는 현상으로 이를 극복하기 위한 많은 연구들이 진행되고 있다 [6-9].

본 논문에서는 대면적 임프린트 공정을 연성회로기판(FPCB) 제작을 위한 연성동박적층필름(FCCL)의 패턴구현에 적용하여 포토리소그래피 장비와 LDI (laser direct imaging) 장비와 같이 고가의 장비를 투자하지 않고도 저렴한 비용으로 FCCL에 패턴을 구현할 수 있는 임프린트 공정을 제안한다.

본 논문의 구성은 본문에서 FCCL 패턴 제작을 위한 단위 공정과 FCCL 패턴 제작에 있어서 문제점 및 해결방법에 대해 설명하였고, 결론에서 본 논문에서 제안한 임프린트 공정의 장점에 대해 기술하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 FCCL 패턴 제작을 위한 공정

임프린팅 공정을 이용한 FCCL 패턴 제작은 그림 1과 같이 임프린팅, UV 레진 세척, FCCL 동박(copper foil) 식각, UV 레진 제거, FCCL 세척의 순서로 진행이 된다. 우선 제작된 몰드 위에 UV 레진을 도포하고 FCCL을 덮은 후에 롤러를 이용하여 몰드와 FCCL 사이에 레진을 도포시킨다. 그 후 UV를 조사하여 UV 레진을 선택적으

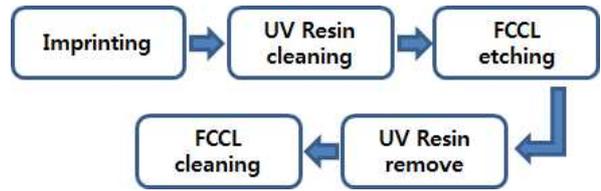


Fig. 1. Proposed process flow of FCCL pattern fabrication using imprinting.

로 경화시킨 후 경화가 안 된 레진을 세척하여 제거한다. 이러한 과정을 통해 FCCL 위에 레진패턴이 형성되게 되며, 이 형성된 패턴을 이용하여 FCCL을 식각하고 레진을 제거하는 방법으로 FCCL 패턴을 제작하게 된다.

#### 2.1.1 몰드(Mold) 제작

레진은 크게 열 경화타입과 UV 경화타입으로 구분되며, 레진의 경화타입에 따라 몰드를 선택적으로 제작할 수 있다. 일반적으로 UV 경화타입의 레진의 경우 투명한 재질의 몰드를 제작해야 하는 것에 반해 열 경화타입의 레진은 몰드의 투명도에 큰 영향을 받지 않는다.

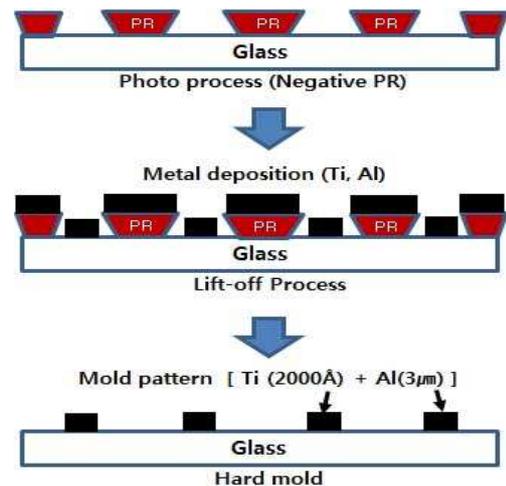


Fig. 2. Fabrication process of imprint mold.

본 논문에서는 그림 2와 같이 유리 기판 위에 네거티브 PR패턴을 형성한 후 타이타늄(Ti)과 알루미늄(Al)을 증착하고, PR을 제거하는 lift-off 방식을 이용하여

투명한 임프린트 몰드를 제작하였다. 몰드의 메탈패턴 두께는 타이타늄(Ti) 1,000 Å, 알루미늄(Al) 2.9 μm로 제작하였으며, 이때 증착하는 타이타늄과 알루미늄의 두께에 따라 임프린팅 공정에서 레진의 두께가 결정된다. 예를 들어 몰드의 메탈 두께가 2 μm의 경우 FCCL에 전사되는 레진 패턴도 2 μm 두께로 형성된다. 레진의 패턴 두께는 식각 방법과 조건, 그리고 그에 따른 레진의 특성에 따라 결정된다.

제작이 완료된 몰드에는 몰드와 경화된 레진 사이에 접착력을 감소시키기 위한 표면 처리를 하게 된다. 일반적으로 몰드 표면에 표면에너지가 작은 물질을 코팅하거나 CH<sub>4</sub> 플라즈마 처리를 진행하는데, 본 논문에서는 모바일 폰의 유리커버에 내지문성과 저마찰성 유지를 위해 사용하는 습식 AF코팅(불소계열 용제) 용액을 사용하여 몰드 표면을 코팅하여 디몰딩 시 패턴의 손상 없이 원활히 공정이 진행될 수 있도록 하였다.

### 2.1.2 임프린팅 공정

임프린트 공정은 그림 3과 같이 투명몰드 위에 레진을 도포하고 FCCL을 덮은 상태에서 롤러에 압력을 가하며 일정한 방향으로 이동시키면 몰드와 FCCL 사이의 레진이 고루 퍼지면서 레진 안에 존재하는 공기층도 롤러가 움직이는 방향으로 같이 빠져나가게 된다.

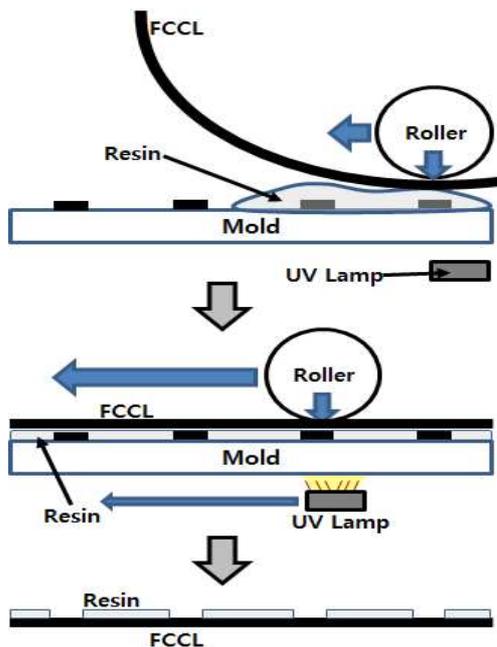


Fig. 3. Imprint process for pattern fabrication of FCCL.

롤러가 이동하면서 동시에 바닥면에 위치한 UV 램프가 몰드를 통해 레진을 선택적으로 경화시키고, 이때 경화된 레진이 기재에 그대로 전사되어 패턴이 형성되게 된다. UV 레진의 경우 재료의 비율과 첨가제에 따라 다양한 특성의 레진을 제조할 수 있다. 본 논문에서는 메탈과의 접착력이 좋고, 레진이 동박 식각용액(염소산 나트륨 35%, 염화나트륨 10%)에 반응하지 않으며, FCCL에 패턴을 제작한 후 레진 제거가 용이한 레진을 직접 주문 제작하여 사용하였다.

### 2.1.3 UV 레진 세척공정

임프린팅을 진행한 후 FCCL에는 경화되어 패턴이 형성된 부분과 경화되지 않은 레진이 존재하게 된다. 경화된 패턴에는 손상을 입히지 않고 경화되지 않은 레진만을 제거하기 위해 PM (propylene glycol monoethyl ether) 알코올 사용하여 레진을 세척하였다.

### 2.1.4 FCCL 식각공정

FCCL에 레진 패턴이 형성되면 FCCL의 동박을 식각하여 동박 패턴(copper pattern)을 제작하게 된다. 일반적으로 건식식각의 경우에는 피식각체의 면전체가 일정하게 식각되지만 습식식각의 경우는 피식각체의 식각면 외각부터 식각이 진행되기 때문에 위치에 따라 식각 시간이 다를 수 있다. 특히 본 논문에서는 동박의 두께가 12 μm인 FCCL을 사용하였기 때문에 습식식각을 진행할 경우 일부 패턴은 식각이 완료되지 않았는데 일부 패턴에서는 언더컷(undercut)이 발생하는 등 식각이 불규칙하게 진행되는 문제가 심하게 발생되었다. 특히 동박의 두께가 두꺼울수록 언더컷 문제는 심하게 발생할 수 있다.

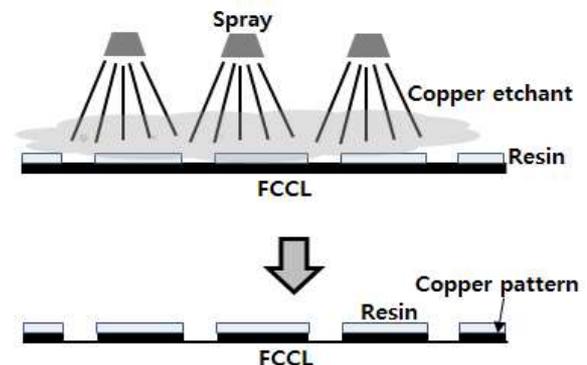


Fig. 4. Spray etching process for FCCL patterning.

본 논문에서는 그림 4와 같이 식각 용액(copper etchant)을 스프레이로 분사하여 FCCL의 동판을 식각함으로써 식각 위치에 따른 식각률 차이를 최대로 줄였으며, 식각시간 또한 단축시켰다. 식각용액은 염소산나트륨 35%와 염화나트륨 10%, 물 53%, 첨가제 2%로 구성되어 있다.

### 2.1.5 Resin 제거공정

식각공정으로 FCCL에 동박 패턴을 제작한 후 레진을 제거하여 FCCL에 동박 패턴을 오픈시켜야 한다. 레진 제거는 FCCL 동박에 영향이 없으면서 레진 제거도 쉬운 용액을 사용해야 한다. 본 논문에서는 KOH 40% 용액을 사용하였고 공정 온도는 실온에서 진행하였다. 공정 시간은 레진의 두께 및 면적에 따라 상이하며, 3  $\mu\text{m}$  두께의 레진패턴을 제거하는데 60초 정도 소요되었다.

### 2.2 FCCL 패턴 제작

FCCL 패턴 제작을 위해 1.5 T 유리판을 이용하여 몰드를 제작하고 AF 코팅으로 표면 처리를 진행한다. 몰드를 바닥면에 위치시키고, 그 위에 레진을 도포한 후 FCCL을 덮어 압력이 가해진 롤러를 이동시키며 레진을 경화시킨다. 레진을 경화시킨 후 PM 알코올을 이용하여 경화되지 않은 레진을 세척하고, 세척이 완료된 FCCL은 동박식각을 통하여 패턴을 제작하게 된다. 그 후 동박 패턴 위에 남아 있는 레진 패턴을 40% KOH 용액을 이용하여 제거하게 되면 FCCL의 패턴 제작이 완료되게 된다.

### 3. 결과 및 고찰

FCCL의 패턴 제작에 있어 일반적인 임프린트 방식과 같이 바닥면에 기재를 위치시키고 몰드에 압력을 가해 임프린트를 진행할 경우 그림 5(a)와 같이 목표로 하는 패턴 크기보다 큰 패턴이 형성되고 재현성도 현저히 떨어지는 문제점이 발생할 수 있다. 이때 형성된 패턴의 단면을 보면 그림 5(b)와 같은 형상을 보인다. 실제 몰드의 메탈 두께가 3  $\mu\text{m}$ 임으로 그림 5(b)에 원으로 표시된 두께 3  $\mu\text{m}$  부분만 패턴이 제작되어야 함에도 불구하고 전체 패턴의 두께가 약 18  $\mu\text{m}$ 로 제작되었으며, 그림에서 설계된 패턴의 선폭이 20  $\mu\text{m}$  크기이지만 실제 약 60  $\mu\text{m}$  정도로 선폭이 크게 제작되었다. 그 이유는 대면적 임프

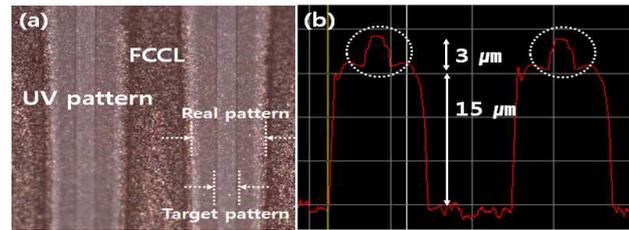


Fig. 5. Sample of failed resin pattern. (a) UV cured resin pattern on FCCL, (b) surface profile of UV cured resin pattern.

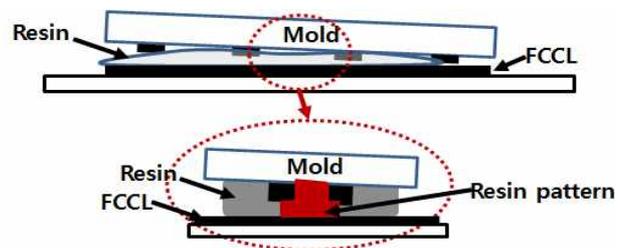
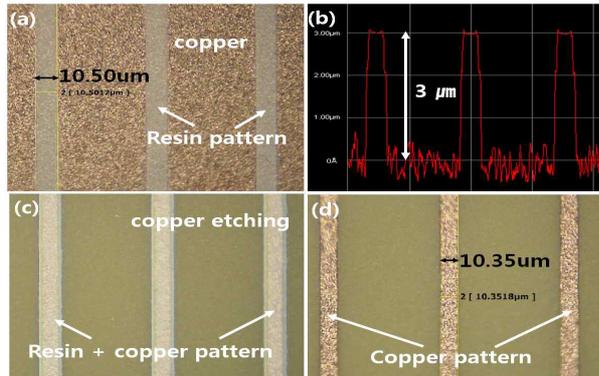


Fig. 6. Example of failed process caused by flatness problem of UV cured mold on FCCL.

린트에 의한 평탄도 문제에서 기인한다. 바닥면에 기재를 올리고 그 위에 레진을 도포한 후 몰드를 덮게 되면 바닥면과 몰드 사이에 평탄도 차이가 생기게 되고, 그림 6과 같이 기재와 몰드가 들뜬 상태에서 UV의 회절과 반사에 의해 레진이 경화되면서 설계된 패턴보다 큰 패턴이 형성되게 된다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 몰드를 연성이 좋은 재료로 제작을 하거나 유연한 기재를 사용해야 한다. 본 논문에서는 FCCL 몰드를 뒤집어 바닥에 위치시키고 유연성이 있는 FCCL을 덮어 편평도로 인해 발생할 수 있는 문제점을 해결했다. 만약 기재와 몰드 모두가 단단한 재질이라면 대면적 임프린트에서는 반드시 편평도를 맞춰야 설계한 패턴과 동일한 크기의 패턴 구현이 가능하다.

그림 7은 본 논문에서 제안한 공정을 이용하여 FCCL의 동박 패턴을 제작한 결과이다. 그림 7(a)는 FCCL 위에 임프린트 공정을 통해 레진으로 패턴을 형성한 그림이고, (b)는 그때의 단면을 프로파일러 장비를 이용하여 측정한 결과이다. 그림에 나타난 바와 같이 레진패턴의 두께는 몰드의 메탈두께와 동일하게 3  $\mu\text{m}$  두께로 형성된 것을 볼 수 있다. 그림 7(c)는 FCCL의 동박을 식각한 후 그림이며, (d)는 식각된 동박 패턴에서 레진 패턴을 제거한 후의 그림이다.



**Fig. 7.** Copper patterns on FCCL. (a) resin pattern on FCCL using imprint process, (b) surface profile of resin pattern, (c) copper and resin patterns after copper etching on FCCL, (d) copper patterns after resin strip.

#### 4. 결론

본 논문에서는 고가의 포토리소그래피 장비와 LDI (laser direct imaging) 장비의 투자 없이도 저렴한 비용으로 FCCL의 패턴 제작이 가능한 대면적 임프린트 공정을 제안한다. 제안한 임프린트 공정은 기존 임프린트 방식과 달리 몰드와 기재 사이에 레진을 도포하고 압력이 가해진 롤러를 이용하여 레진을 도포하기 때문에 기포 발생에 의한 패턴 손상 문제를 해결하였으며, 임프린트 방식과 UV 포토리소그래피 공정을 동시에 진행함으로써 별도의 레진 식각공정 없이도 패턴 제작이 가능하다는 장점이 있다. 또한 몰드에 습식 AF 코팅을 처리하여 제작 시간과 비용을 줄임으로써 양산이 가능한 공정조건을 적용하였다. 이와 같은 방법으로 본 논문에서는 180 mm × 180 mm 크기의 FCCL에 임프린트 공정을 적용하여 10 μm의 선폭을 제작하였다.

현재 PCB 제조업체에서 고가의 LDI 장비로 보증하는 선폭이 10 ~ 20 μm 정도임을 감안하면 본 논문에서 제안한 임프린트 방식은 고가의 포토장비 투자 없이 저렴한 비용으로 대면적의 패턴 구현이 가능할 뿐만 아니라 공정시간도 짧아 가격 경쟁력을 갖춘 FPCB 제작이 가능할 것으로 기대한다.

#### 감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2011-0006648).

본 연구는 2015년도 가톨릭대학교 교비연구비의 지원으로 이루어졌음.

#### REFERENCES

- [1] A. Cherala, P. Schumaker, B. Mokaberi, K. Selinidis, B. J. Choi, M. J. Meissl, N. N. Khusnatdinov, D. LaBrake, and S. Sreenivasan, *IEEE/ASME Trans. Mech.*, **20**, 122 (2015). [DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TMECH.2013.2297679>]
- [2] Takei, Satoshi, and M. Hanabata, *Appl. Phys. Lett.*, **107**, 14 (2015). [DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4932647>]
- [3] S. Y. Chou, P. R. Krauss, and P. J. Renstrom, *Appl. Phys. Lett.*, **67**, 3114 (1995). [DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.114851>]
- [4] J. Haisma, M. Verheijen, and K. Heuvel, *J. Vac. Sci. Technol. B*, **14**, 4124 (1996). [DOI: <http://dx.doi.org/10.1116/1.588604>]
- [5] S. Thoms, D. S. Macintyre, D. Moran, and I. Thayne, *J. Vac. Sci. Technol. B*, **22**, 3271 (2004). [DOI: <http://dx.doi.org/10.1116/1.1821504>]
- [6] Y. K. Kim, J. H. Kim, B. S. You, J. S. Jang, K. H. Kwon, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **24**, 10 (2011).
- [7] M. Austin, H. Ge, W. Wu, M. Li, and Z. Yu, *Appl. Phys. Lett.*, **84**, 5229 (2004). [DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.1766071>]
- [8] D. Morihara, H. Hiroshima, and Y. Hirai, *Microelectron. Eng.*, **86**, 684 (2009). [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mee.2008.12.005>]
- [9] S. E. Lee, H. G. Lim, S. S. Lee, D. G. Choi, D. Lee, and S. U. Hong, *Macromol. Res.*, **21**, 916 (2013). [DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s13233-013-1107-5>]