

# 나노 성형의 관점에서 바라본 Patterned Media

강신일#

## Fabrication of Patterned Media by Nano-molding

Shinill Kang

### 1. 서론

#### 1.1 자기 기록 장치에서의 면밀도 증가의 한계

최근 멀티미디어 관련 기술이 급격히 발전함에 따라, 보다 많은 양의 정보를 저장하기 위한 기술 개발이 국내외 여러 연구기관 및 기업체에서 진행되고 있다. HDD 로 대변되는 자기 기록 저장 장치에서 데이터 저장용량의 척도를 나타내는 면밀도의 증가추세는 Fig. 1 과 같이 1991 년 이후에는 매년 60% 증가하였으며, 1998 년 이후로는 매년 100%의 증가율을 보이고 있다. 이러한 추세를 살펴보면, 2010 년 정도에는 1 Tbits/in<sup>2</sup> 정도의 면밀도를 확보할 수 있는 자기 정보 저장 기술을 지녀야만 국제적 경쟁력을 가질 수 있음을 알 수 있다. 그러나 현재 사용되고 있는 연속적인 미디어 (continuous media)를 이용한 방식의 자기 정보 저장 기술은 Fig.1 에서 이야기 하는 면밀도의 증가 추세를 만족시키지 못 할 것이라는 것이 일반적인 예측이다. 면밀도 증가를 이루기 위해서는 근본적으로 한 개의 정보 저장 공간인 bit 의 크기가 줄어들어야만 한다.

기존의 연속적인 미디어를 사용하는 자기 정보 저장매체에서 bit 크기를 일정 수준 이하로 감소시키는 경우, 작은 grain 크기로 인한 열적 불안정성을 야기하는 초상자성 한계 (Super paramagnetic limit) 가 발생할 것이라는 게 일반적인 견해이다. 이러한 한계에 대한 예측으로 현재 150-200Gbits/in<sup>2</sup> 사이에 초상자성 효과가 숨어있을 것으로 예측되며, 앞으로 3-5년 내에 그 한계에 부딪히게 될 것이라는 것이 일반적인 통념이다. 이 난제를

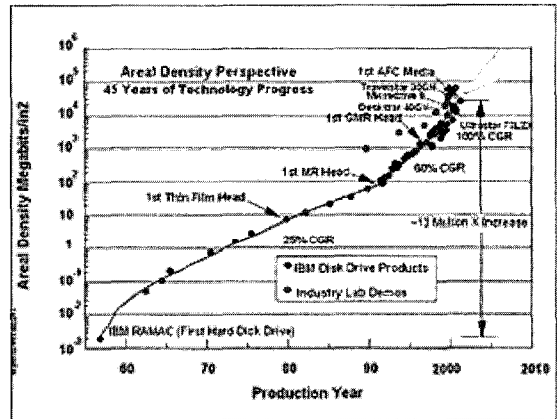


Fig. 1 Track, areal, and linear density [Ref. : IBM, 2004]

해결할 만한 기술이 없는 현재로서는 최소한 10 년 동안 이 같은 어려움이 계속될 것으로 전문가들은 전망하고 있다. 이와 같이 연속적인 미디어를 사용하는 자기 저장 매체 자체의 한계를 야기시키는 요인으로는 앞서 언급한 초상자성 효과와 미디어 노이즈를 들 수 있다.

#### 1.2 초상자성 효과

일반적으로 자기 저장 매체에서 데이터의 lifetime 은 식(1)에 의해 결정되며 10년 정도의 lifetime 을 유지하기 위해 그 값이 약 67정도가 되어야 한다. 한편 현재의 직사각형 기록 방식에서 면 밀도를 높이기 위해서는 bit size 를 작게 가져가야만 하는데 bit size 가 작아지면 각각의 저장 단위에 포함

# 교신저자 : 연세대학교 기계공학부  
 E-mail: snlkang@yonsei.ac.kr

되는 자성 입자의 체적이 줄어들게 되고 결국 식 (1)의 값이 작아지는 결과를 낳는다. 이로 인해 결국 신호의 열화가 발생한다. 이러한 현상은 물리적으로 자성입자가 갖는 자기 에너지의 크기가 열에너지의 크기를 무시할 수 있는 양이 되지 못하는 상황을 의미한다. 이러한 조건 하에서는 열에 의해 자성 입자의 자화 방향이 달라질 확률이 매우 높아지고 결국 신호의 열화가 발생하게 되는 것이다.

$$\frac{K_u V}{kT} \approx 67 \quad \text{10 years life to time} \quad (1)$$

위 식 (1) 에서,  $K_u$  는 재료에 따른 자기 이방성 정도,  $V$  는 bit 가 갖는 체적,  $K$  는 볼츠만 상수,  $T$  는 절대 온도를 각각 나타낸다.

### 1.3 미디어 노이즈

초 상자성 효과 외에 연속적인 미디어를 이용하는 자기기록장치의 면밀도 한계는 미디어 노이즈에 의해 발생한다. 기존의 자기기록장치에서는 미디어 자체가 연속적인 자성물질로 구성되어 있기 때문에 Fig. 2와 같이 하나의 도메인에 저장된 데이터가 이웃 도메인을 침범하는 transition noise와 각각의 grain 들의 크기가 달라 발생하는 particulate noise 그리고 grain 마다 약간씩 다른 자화 방향을 갖기 때문에 발생하는 modulation noise 를 갖는다. 이러한 노이즈는 신호 특성을 저하시키는 요인으로 bit 크기가 감소함에 따라 노이즈가 갖는 영향이 상대적으로 커지게 되고 결국 연속적인 미디어 자체의 면밀도 한계를 결정짓는 요인이 된다.

### 1.4 패턴드 미디어 (patterned media) 의 제안

기존의 자성 미디어의 기록층은 각각 독립적인 자성을 갖는 나노미터 크기의 그레인 (grain) 들로 이루어진 자성 합금이다. 또한 기존 자성 미디어에 저장되는 각각의 bit 정보는 이러한 수많은 입자의 그레인들이 모여 형성되는 구조를 갖는다. 앞서 설명한 바와 같이 이러한 구조가 바로 초상자성 효과가 발생하는 직접적인 원인이라 할 수 있다. 이러한 문제 해결을 위한 패턴미디어에서의 자성 기록층은 매우 균일하게 정렬된 island array 로 구성되며, 각각의 island 는 개별적인 bit 정보를

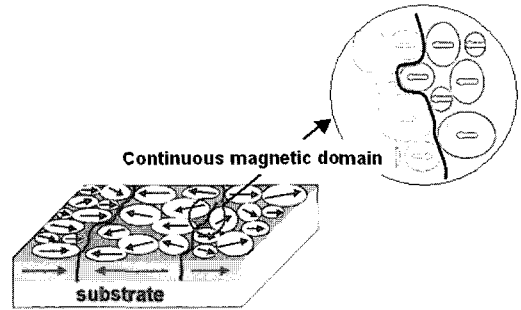


Fig. 2 Current continuous magnetic disk data storage technology [7~9]

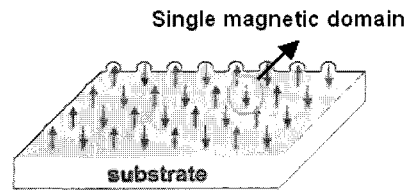


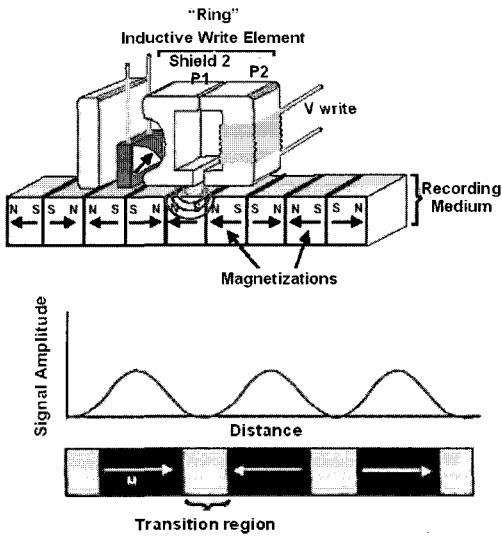
Fig. 3 Single-domain magnetic grains in patterned media [7~9]

기록하게 된다. Fig. 2 및 Fig. 3 은 기존의 자기 기록 미디어와 패턴드 미디어의 특징을 각각 개략적으로 비교한 것이다. 기존 연속적인 미디어 방식은 기록 밀도가 높아질수록 각각의 bit 에 존재하는 grain 의 개수가 줄어들고 이로 인해 자기 에너지의 힘이 약해져 주변의 영향에 쉽게 자성이 바뀌는 문제가 발생할 수 있다. 반면, 패턴드 미디어의 경우 독립되어 존재하는 자성 박막 패턴 안에는 한 개의 bit 만을 저장함으로써 초상자성 문제를 근본적으로 해결할 수 있다. 이러한 패턴 미디어의 기록 방식으로는 수평 자기 기록 방식과 수직 자기 기록 방식 모두 가능하다[1]. 실제 패턴드 미디어 제작 기술로 피치 80 nm 도트 패턴 구현 시에는 100 Gbits/in<sup>2</sup> 급 media, 12.5 nm 도트 패턴 구현 시에는 1000 Gbits/in<sup>2</sup> (1 Tbits/in<sup>2</sup>) 급의 초고밀도 정보저장 매체의 구현이 가능해지리라 예상되어진다.

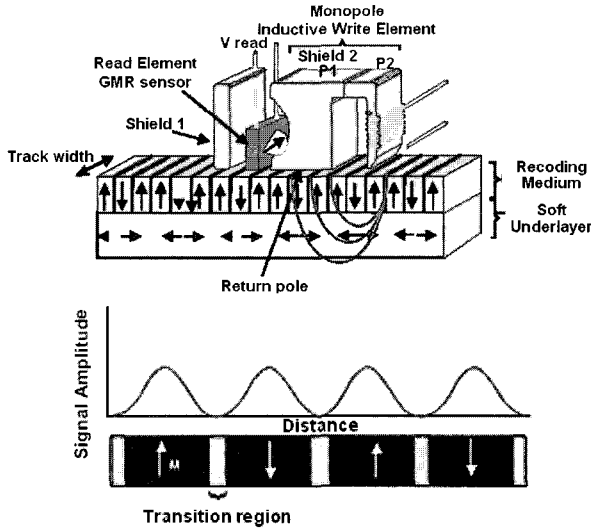
## 2. 패턴드 미디어의 기록 재생 방법

### 2.1 수평 자기 기록형 패턴드 미디어

가장 기본적인 패턴드 미디어의 기록 재생 기술은 Fig. 4 와 같이 기존의 수평 자기 헤드를 이용한 수평 자기 기록 방식을 이용하는 것이다. 이



**Fig. 4 Longitudinal magnetic recording**  
[Ref. : Hitachi Global Storage Technologies]



**Fig. 5 Perpendicular magnetic recording**  
[Ref. : Hitachi Global Storage Technologies]

러한 경우 패턴 미디어 제작 자체도 기존의 연속적인 미디어의 물질을 그대로 이용하며, 단순히 패턴링만 진행함으로써 독립적인 도메인을 형성하는 형태의 패턴드 미디어 제작이 가능하다. 따라서 이러한 형태의 기록 특성을 갖는 패턴드 미디어의 경우 일반적으로 기존의 under layer 인 Cr 과 magnetic layer 은 Co 를 자성층으로 사용하여 패턴링을 진행하게 된다. 그러나 이러한 수평 자기 기록 방식의 패턴드 미디어는 향후 최대 300Gbits/in<sup>2</sup> 이상의 면밀도 구현이 어려운 것으로 알려져 있다.

## 2.2 수직 자기 기록형 패턴드 미디어

패턴드 미디어의 또다른 기록 재생 기술은 각각의 dot 패턴에서 수직 자기 기록을 수행하는 것이다. Fig. 5 와 같이 현재 개발되고 있는 수직 자기 기록 기술을 직접적으로 사용이 가능하며 이때 패턴드 미디어의 각각의 dot 은 수직 방향으로 자기 이방성이 큰 구조 및 물질로 제작되어야 한다. 이러한 수직 방향 자기 이방성을 확보하기 위한 방법으로 구조적으로는 dot 형상의 Aspect ratio 를 키우는 방법이 있으며 금속박막을 적층함으로써 자기 이방성을 증가시키는 방법도 가능하다. 이러한 수직자기 기록 방식은 수평 자기 기록 방식에 비해 높은 SNR 을 갖으며 면밀도 증가에도 적합하여 패턴드 미디어의 경우 수직자기 방식을 이용해 제작하는 연구가 중점적으로 수행되고 있다.

## 2.3 병렬형 나노 프로브를 이용한 패턴드 미디어 기록재생 방식

패턴드 미디어의 개발에 있어 초기에는 기존의 부상형 자기 헤드를 이용한 기록/재생이 가능할 것으로 보이나 고밀도화가 진행되면서 tracking 의 한계로 인해 더 이상 기존의 부상형 자기 헤드의 사용이 어려울 것으로 전문가들은 내다보고 있다. 이러한 경우 현재 연구가 수행되고 있는 Fig. 6의 병렬형 나노 프로브가 패턴드 미디어 기술에 접목될 수 있을것으로 기대 된다. 기존의 자기 헤드에 비해 높은 data rate을 갖고 저 전력 구동이 가능한 병렬형 나노 프로브 헤드는 패턴드 미디어에 적용될 경우 MFM 과 유사한 원리로 손쉽게 data 기록 재생이 가능할 것으로 보인다.

## 3. 패턴드 미디어를 위한 나노패턴 제작 기술

패턴드 미디어의 제작은 개념적으로 매우 간단 하지만 이를 이용하여 경쟁력 있는 가격의 제품을 생산하는 일은 기술적으로 결코 쉽지 않은 도전이 되고 있다. 왜냐하면 오늘날 소비되고 있는 드라이브의 용량을 약 100 Gbit/in<sup>2</sup> 라고 보고 이에 버금가는 용량의 패턴드 미디어를 제작하기 위해서는 미디어의 island pitch 가 80nm 가량이 되어야 한다. 또한 장기적으로 개발되고 있는 경쟁력 있는 미디어로서 1Tbit/in<sup>2</sup> 가량의 저장 용량을 고려

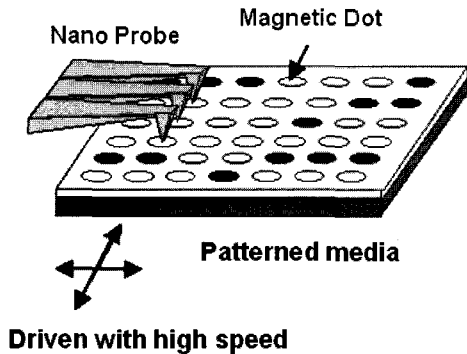


Fig. 6 Patterned media using nano-probe recording [Ref. : IBM]

한다면 패턴드 미디어의 island 크기는 12.5nm 정도 밖에 되지 않는다. 이러한 규모는 집적회로를 만들기 위한 반도체 산업에서의 optical lithography의 capability를 넘어선 것이다. 따라서 이러한 패턴드 미디어의 특성을 살리기 위하여 현재 다양한 방법의 나노 패터닝 기술이 패턴드 미디어 제작 기술에 적용되고 있다[1~6].

### 3.1 마스크를 이용한 lithography 방법

일반적으로 가장 쉽게 접근 가능한 패터닝 방법은 기존의 반도체 공정에서 주로 사용하는 마스크를 이용하는 lithography 방식이다. 마스크를 이용한 패터닝 방법은 웨이퍼 단위의 패터닝 공정중 가장 완성도가 높은 방법이라 하겠다. 그러나 현재까지의 마스크를 이용한 lithography 기술에서는 회절한계로 인해 수 나노 급의 패턴은 제작하기 어려운 것으로 판단된다. 그러나 현재 반도체 공정에서 90nm 정도의 선폭이 양산공정으로 구현되고 있으며 향후 단파장 레이저인 ArF를 이용한 패터닝 공정, X-ray lithography, EUV lithography 등 최소 선폭을 줄이려는 다양한 시도가 진행되고 있어 향후 나노 스케일의 패터닝에 대한 가능성을 갖고 있으므로 패턴드 미디어의 패터닝 기술로써 그 가능성을 배재할 수 없다 하겠다. 마스크를 이용한 lithography 방식은 Pattern media에서 요구하는 pattern의 제작만 가능하다면 상당히 경쟁력 있는 패터닝 방법이므로 이에 대한 관심을 낮추어서는 안 될 것이다. Fig. 7은 France의 L2M/CNRS에서 X-ray lithography를 기반으로 제작된 PR 패턴 및 자성박막 패턴의 SEM 사진이다.

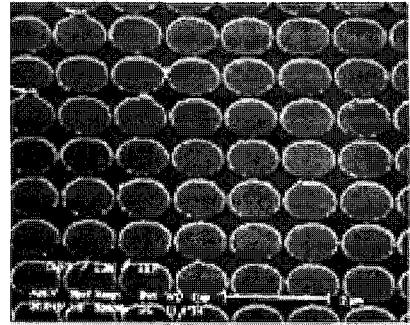


Fig. 7 SEM image of patterned media fabricated using X-ray lithography method in L2M/CNRS

### 3.2 E-beam lithography 방법

나노 패터닝 기술로써 가장 널리 이용되는 E-beam lithography 방법은 Fig. 8과 같이 전자빔에 의해 감광되는 PMMA와 같은 resist를 사용하여 전자빔이 주사된 부분을 향후 현상공정에서 제거하는 방법이다. 전자빔의 작은 spot size로 인해 일반적으로 6nm 정도의 패턴 구현이 가능한 것으로 알려진 E-beam lithography 기술은 알려진 어떤 나노 패터닝 기술보다 작은 크기의 패터닝이 가능하다. 그러나 spot을 이용한 point to point 방식의 패터닝 기술이므로 대면적 patterning 시 시간이 기하급수적으로 증가하는 문제를 갖는다. 따라서 단품 하나하나의 나노 패터닝 기술로 사용하기에는 경제적인 문제가 따르게 된다. 그러나 구현 가능한 패턴의 크기가 작기 때문에 연구실 수준에서의 특성 분석을 위한 패터닝에 적용이 가능하다. 또한 다른 저가 나노 패터닝 방식의 마스크 또는 몰드를 제작하는 공정에 적용하는 방법의 경우 E-beam lithography의 특징을 가장 효율적으로 이용한다고 할 수 있다. Fig. 9는 E-beam lithography를 기반으로 제작된 패턴드 미디어의 SEM 사진이다. 패턴의 크기는 20nm이며 피치는 100nm 로써 65Gbits/in<sup>2</sup>의 저장밀도 구현이 가능하다.

### 3.3 Focused ion beam (FIB) machining

FIB machining은 앞서 설명한 나노 패터닝 방식이 resist를 이용한 패터닝 기술인 반면 Fig. 10과 같이 직접 자성 박막을 제거하여 dot 형상을 구현할 수 있는 장점을 갖고 있다. 이는 패턴 미디어를 제작함에 있어 공정 단계를 획기적으로 줄

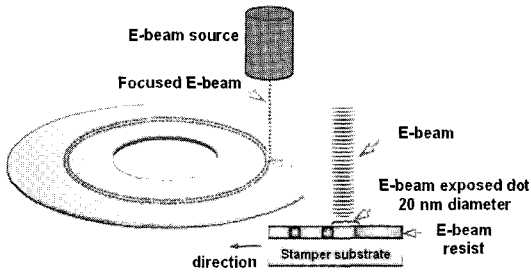


Fig. 8 Fabrication of patterned media by E-beam lithography [Ref. : Hitachi Technologies]

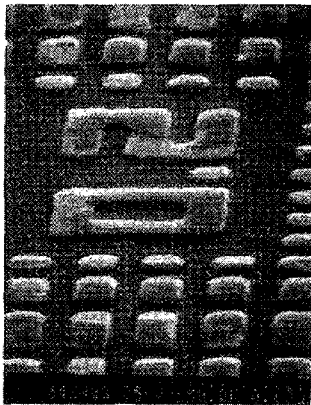
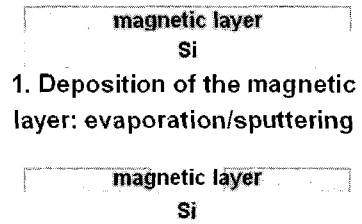


Fig. 9 SEM image of patterned media fabricated by E-beam lithography method[3]

일 수 있음을 의미한다. 그러나 E-beam lithography와 마찬가지로 point by point 패터닝 방법이므로 가공시간이 긴 단점을 갖는다. 이러한 특징을 갖는 FIB는 양산에 적합하지는 않으나 자성박막을 패터닝함에 있어 가장 이상적인 방법이므로 현재 연구실 수준에서 개발된 자성박막의 패턴드 미디어 응용을 test 함에 있어 가장 적절한 방법이라 할 수 있다. Fig. 11은 FIB를 이용하여 제작된 1패턴드 미디어의 AFM 및 MFM 사진을 보여준다.

### 3.4 자성박막 패터닝 기술

패턴드 미디어의 제작을 위해서는 앞서 설명한 나노 패터닝 기술외에 나노 패터닝 기술을 응용하여 자성 박막 자체를 패터닝하는 기술이 요구된다. 이러한 자성박막 패터닝 방법으로는 etching, lift-off 등이 있으며 electroforming 방법과 자성 박막을 직접 패턴을 갖는 기판에 증착함으로써 단일 도메인을 형성하는 방법이 있다.



1. Deposition of the magnetic layer: evaporation/sputtering

2. Direct patterning of magnetic layer: FIB

Fig.10 Fabrication process of patterned media using focused ion beam method[4~5]

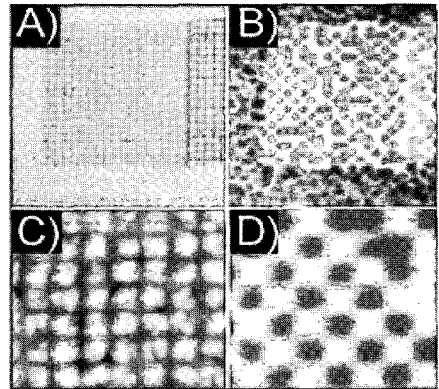


Fig.11 AFM and MFM images of patterned media fabricated using focused ion beam lithography method[4,5]

#### 3.4.1 Etching 공정

가장 기본적인 자성박막 패터닝 공정으로 etching 공정을 들 수 있다. 패턴드 미디어를 제작하기 위한 etching 공정은 Fig. 12와 같이 dot 형상의 resist 패턴을 제작하고 이를 베리어로 사용하여 자성층을 패터닝하는 방법이다. 이러한 방법은 기본적으로 dot 형상의 resist가 요구되기 때문에 상대적으로 dot 형상의 구현이 비 효율적인 E-beam lithography 등의 방식에는 적합하지 않다. 또한 etching 시 etching 조건에 따라 자성 박막이 영향을 받을 수 있으므로 etching 공정 선정시 단순한 형상의 전사만을 확인해서는 안되며 자화특성의 변화까지 함께 고려한 공정 선정이 이루어져야 한다. 실제로 Fujitsu에서 실시한 실험에 의하면 Fig. 13과 같이 Ion beam milling을 통해 제작된

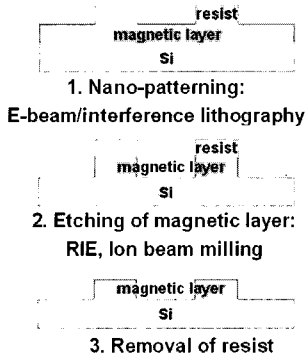


Fig.12 Fabrication process of patterned media by etching technology in Fujitsu co.

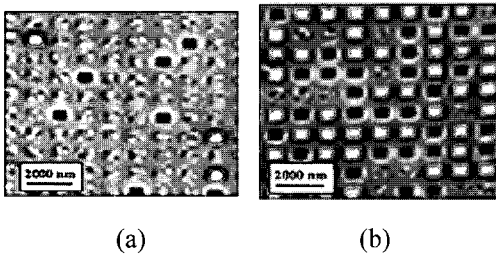


Fig.13 Patterned media fabricated using etching technology in Fujitsu co. (etching gas condition: (a) 25m Torr, (b) 5m Torr)

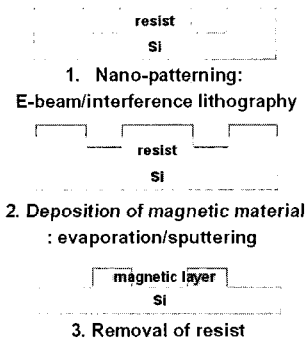


Fig.14 Fabrication process of patterned media by lift-off method[6]

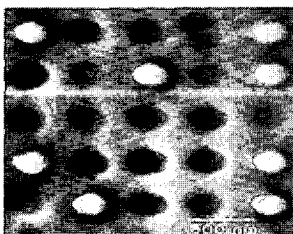


Fig.15 MFM image of patterned media fabricated using lift-off method[6]

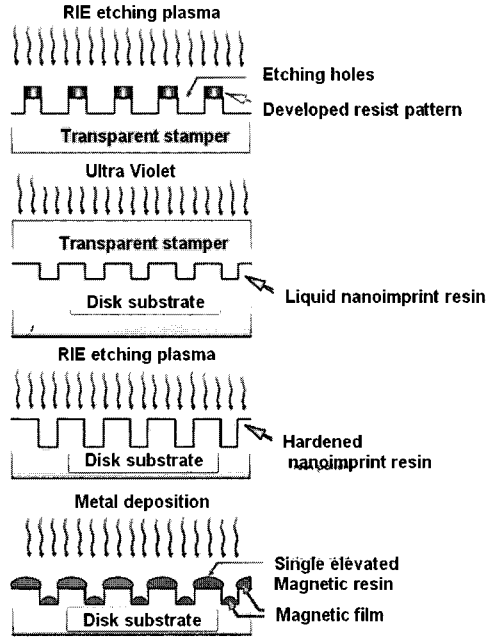


Fig.16 Patterned media fabricated by deposition of magnetic film on patterned islands  
[Ref. : Hitachi Global Storage Technologies]

동일한 패턴의 경우에도 etching 공정조건에 따라 자화특성이 다를 수 있다.

### 3.4.2 Lift-off 공정

Etching 공정과 함께 일반적인 금속 박막 패터닝 방법인 lift-off 방법을 이용한 패턴드 미디어의 제작은 Fig. 14와 같이 etching 공정과는 달리 resist를 hole pattern이 가능하도록 패터닝하고 resist 상부에 자성박막을 증착한 이후 resist를 제거함으로써 resist 상부의 자성층은 제거하고 resist hole 안의 자성층은 남게 함으로써 이루어진다. 이러한 방법은 hole 제작이 상대적으로 유리한 E-beam lithography에 적합하며 holographic lithography 공정에는 조금 적합하지 않다고 할 수 있다. 이러한 방법역시 resist 제거 공정에서 자성 박막의 특성이 영향을 받을 수 있으므로 공정선정에 신중을 가해야 한다. Lawrence Livermore National Lab에서는 Fig. 15와 같이 lift off 공정을 이용하여 패턴 미디어를 제작하고 MFM을 통해 자화 특성을 평가하였다.

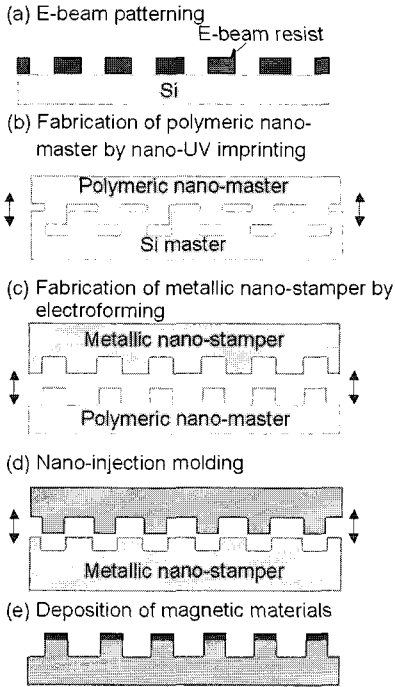


Fig.17 Fabrication processes for patterned media using nano-molding process[9]

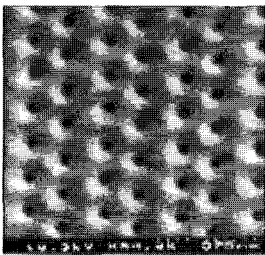


Fig.18 SEM images of nano-hole patterns with a 50nm diameter on Si nano master by E-beam lithography and ICP etching[11~12]

### 3.4.3 Dot 패턴을 갖는 기판 상에 자성층을 증착하는 방법

마지막으로 제안된 자성층 패턴링 방법은 미리 제작된 나노 도트 패턴을 갖는 기판 상에 자성 박막을 증착함으로써 dot 상부에 올라간 박막층을 magnetic single domain 으로 이용하는 것이다. Fig. 16 은 imprinting 을 통해 제작된 패턴을 glass 기판 상에 전사시키고 제작된 나노 dot 패턴을 갖는 glass 기판 상에 자성층을 증착함으로써, 패턴드

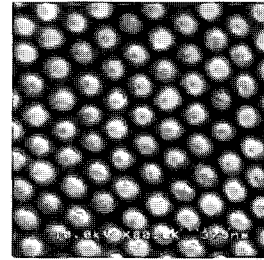


Fig.19 SEM images of nano-pillar patterns with a 50 nm diameter on polymeric nano master by nano-UV imprint process (Polymeric nano-master was generated for electroforming process)[13~14]

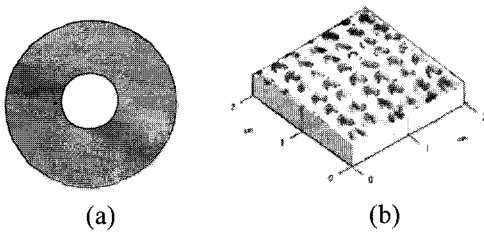
미디어를 제작하는 방법이다.

## 4. 나노 성형 공정을 응용한 패턴드 미디어 제작 기술

패턴드 미디어의 양산을 위하여 나노 사출성형 공정을 응용한 제작 방식에 관한 연구가 진행되었다. 사출 성형 공정은 공정 사이클 타임 (cycle time) 및 공정 비용이 적게 소요되며, 추가적인 에칭 공정이 없는 공정으로 양산 공정에 적합한 공정으로 알려져 있다[8~10]. 이를 위해, 사출성형 및 압축성형 등의 나노성형 공정에 적용 가능한 금속 나노 스탬퍼를 설계 제작하였다. 제작된 나노 스탬퍼를 이용한 나노성형 공정을 통해 폴리머 나노패턴을 성형하였다. Fig.17 은 나노성형 공정을 이용한 패턴드 미디어 제작공정도이다. 전자빔 리소그래피 공정, ICP (Inductive Coupled Plasma) 공정 및 나노 UV 임프린트 공정을 통해 전기주조 공정을 위한 폴리머 나노 마스터를 제작하였고, 전기주조 공정을 통해 금속 나노 스탬퍼를 제작하였다. 패턴드 미디어 제작에 적용할 수 있는 폴리머 나노 패턴을 성형하였다. 성형된 폴리머 나노 패턴 위에 자성층을 증착한 후, MFM (Magnetic Force Microscope) 측정을 통해 단자구 (single magnetic domain)가 형성됨을 확인하였다.

### 4.1 전자빔 리소그래피 공정을 응용한 나노 패턴링 및 UV 나노 임프린트 공정을 통한 폴리머 마스터 제작

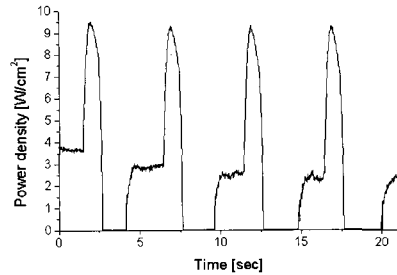
나노 사출 성형 공정에 있어서 나노 패턴을 지닌 스탬퍼의 제작이 요구되며, 스탬퍼의 표면 품질



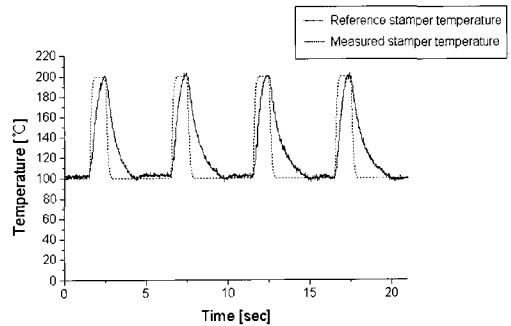
**Fig.20 (a) Picture of nano stamper, and (b) AFM image of the nano hole patterns on the metallic nano stamper[11~12]**

위, 균일도 및 평탄도 등의 특성은 최종 성형품의 품질에 큰 영향을 미친다[11~12]. 음각의 나노 패턴을 지닌 스탬퍼를 제작하기 위해, 양각의 나노 패턴을 갖는 마스터의 제작이 필요하다. 본 연구에서는 전자빔 리소그래피, 건식 식각 공정에 의해 초기 패턴의 반복 사용이 가능한 Si 마스터를 제작하였고, Si 마스터를 이용한 UV 성형 공정에 의해 제작된 폴리머 나노 마스터를 응용하여 스탬퍼를 제작하였다(Fig.17 (a)~(e)). 전자빔 리소그래피를 응용하여 1 차 나노 패턴을 제작하였다. 나노 사이즈의 패턴 제작을 위해, 적합한 E-beam 레지스트 (E-beam resist) 재료 및 최적의 전자빔 리소그래피 공정 조건 선정을 위한 반복실험을 실시하여, 최적의 전자빔 리소그래피 공정 조건을 선정하였다. 전자빔 리소그래피에 의해 제작된 초기 나노 패턴을 barrier로 사용하여, ICP 에칭 공정을 통해 Si 마스터를 제작하였다. Fig. 18 은 전자빔 리소그래피 및 ICP 에칭 공정을 통해 제작된 Si 나노 마스터의 SEM 사진을 보여준다. Fig. 18 에서 보는 바와 같이, 50nm 의 크기를 갖는 나노 홀 패턴이 균일하게 제작되었음을 볼 수 있다.

제작된 Si 마스터를 응용하여 나노 UV 임프린트 공정을 통해, 전기주조 공정을 위한 폴리머 나노 마스터를 제작하였다. UV 임프린트 공정은 저가의 복제 공정으로서, 저온, 저압 조건에서 공정이 가능하여 폴리머 패턴의 복제에 유리한 공정이다[12]. 노광 시간 및 성형 압력 제어를 위한 반복 실험을 통해, 최적의 나노 UV 임프린트 공정 조건을 선정하였다. Fig. 19 은 나노 UV 성형 공정을 통해 제작된 폴리머 나노 마스터의 SEM 사진을 보여주고 있다. Fig. 18 및 Fig. 19 에서 보는 바와 같이, Si 마스터의 나노 홀 형상의 패턴이 전사되어, 폴리머 나노 마스터 위에 필라 패턴이 균일하게 성형되어 있음을 확인할 수 있다.

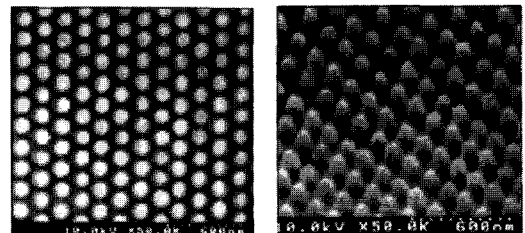


(a)



(b)

**Fig.21 Control results for stamper surface temperature (temperature increment: 100 °C): (a) input power density, (b) measured temperature profile[16~17]**



(a)

(b)

**Fig.22 SEM images of patterned media with a 50nm diameter replicated by nano-injection molding process[17]**

#### 4.2 전주 공정 (Electroforming) 을 응용한 나노 스탬퍼의 제작

폴리머 나노 마스터 위에 니켈 기지층 (nickel seed layer) 을 증착한 후, 니켈 전기주조 방식을 통해, 직경 108mm, 두께 0.295mm 의 니켈 나노 스탬퍼를 제작하였다. 전기주조 공정은 니켈 설페이트 (Nickel sulfamate) 도금액을 사용하였으며,



온도 50°C, pH 4.0, 전류 밀도 100~200 A/m<sup>2</sup> 의 조건에서 진행하였다. 제작된 금속 나노 스탬퍼의 성능을 측정하기 위하여 SEM 및 AFM 측정을 통한 형상 분석을 실시하였다. Fig. 20 은 AFM 을 통해 금속 나노 스탬퍼의 패턴 형성 결과를 보여주고 있으며, 전기 주조 공정을 통하여 음각의 나노홀 패턴이 균일하게 형성되었음을 볼 수 있었다. Fig. 20 및 Fig. 19 에서와 보는 바와 같이, 전기주조를 통해 제작된 금속 나노 스탬퍼가 폴리머 마스터의 양각 패턴을 우수하게 전사하고 있음을 확인하였다.

#### 4.3 능동 가열을 이용한 나노 사출 성형 기술

나노 사출성형 공정을 응용하여 미세 패턴을 지닌 미디어 기판을 성형함에 있어, 패턴의 불충분한 전사는 고밀도 저장 매체의 신호 특성에 크게 영향을 미친다. 이에 Kang 등은 주요 사출성형 공정 조건들이 전사성에 대해 미치는 영향을 실험적으로 분석하였으며, 최적화된 공정 조건을 제시한 바 있다[15]. 특히 충전과정에서 발생한 고화층(solidified layer)은 높은 점성과 낮은 유동성을 가지기 때문에 응용 수지가 미세 패턴에 충전되는 것을 방해하여 피트와 랜드-그루부의 전사를 크게 악화시킨다.

따라서, 고화층으로 인한 전사성을 악화시키는 것을 방지하기 위해서는 충전과정동안 스탬퍼와 경면의 표면온도를 유리전이온도 이상으로 유지 시킴으로써 고화층의 발생을 지연시켜야 한다. 최근 Kang 등은 사출 성형 공정시 스탬퍼 표면 온도를 유리 전이온도 이상 능동적으로 제어할 수 있는 몰드 시스템을 설계, 구축하는 연구를 수행한 바 있다 [16,17]. Fig. 21 은 능동 가열 시스템을 응용한 나노 스탬퍼 표면 온도 제어 결과를 보여준다. 이 결과를 통해, 능동 가열시스템을 응용하여 스탬퍼 표면 온도를 원하는 reference 온도에 따라 제어할 수 있음을 볼 수 있다.

패턴드 미디어 성형을 위해, 나노 사출 성형 공정을 통한 나노 성형이 이루어졌으며, 성형 재료로는 폴리 카보네이트 (Polycarbonate) 수지를 사용하였다. 최적의 공정 조건을 선정하기 위한 반복 실험을 통해, 금형 온도를 100°C 의 범위로, 충전 압력을 80~400 N 으로 선정하였다. Fig.22 는 최적화된 사출성형 공정 조건에서 제작된 폴리머 나노 패턴의 SEM 사진을 보여 주고 있다. 사출성형

결과 패턴 상부면의 평탄도가 우수하고, 세장비 1 이상의 고세장비 나노 패턴이 균일하게 성형되었음을 확인할 수 있다. 제작된 폴리머 필라 패턴을 패턴드 미디어 제작에 적용하기 위해서, 나노 패턴 위에 일한 자성 박막의 증착 공정을 통한 독립된 자성 패턴의 제작이 요구된다. 패턴의 균일도, 패턴의 세장비 및 상부 평탄도의 확보가 중요하며, 본 연구에서 성형된 양각 필라 패턴이 패턴드 미디어에 응용 가능함을 확인할 수 있다.

## 5. 결론

패턴드 미디어는 기존의 자기저장 기록 방식이 갖는 초상자성 효과 및 노이즈 문제를 해결하여 테라 급 저장용량을 구현할 수 있는 차세대 정보 저장 매체이다. 패턴드 미디어의 제작을 위해, 전자빔 리소그래피, Holographic lithography, FIB machining, reactive ion etching 공정, lift-off 공정 등의 방법을 통해 나노 단위의 자성 도트 패턴을 제작하는 연구가 이루어지고 있다. 또한, 패턴드 미디어의 양산을 위해 나노 성형 공정을 응용한 제작 방식에 관한 연구가 진행되고 있다. 능동 가열 시스템을 응용한 나노 사출성형 공정 기술을 응용할 경우, 수십~수 나노 미터 급 극미세 패턴의 성형이 가능하며 1 Tbits/in<sup>2</sup> 급 초고밀도 패턴드 미디어의 구현 및 양산이 가능할 것으로 기대된다.

## 후 기

본 연구는 21 세기 프론티어 연구 개발 사업인 나노 메카트로닉스 기술개발사업단의 연구비 지원(M102KN010001-04K1401-00610)에 의해 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- [1] T. Aoyama, S. Okawa, K. Hattori, H. Hatate, Y. Wada, K. Uchiyama, T. Kagotani, H. Nishio, I. Sato, 2001, Fabrication and magnetic properties of CoPt perpendicular patterned media, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 235, pp. 174~178.
- [2] S. P. Li, M. Natali, A. Lebib, A. Pepin, Y. Chen, Y.B.

- Xu, 2002, Magnetic nanostructure fabrication by soft lithography and vortex-single domain transition in Co dots, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, Vol. 241, pp. 447~452.
- [3] O. Dial, C. C. Cheng, A. Scherer, 1998, Fabrication of high-density nanostructures by electron beam lithography, *Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures*, Vol. 16, Issue 6, pp. 3887~3890.
- [4] C. T. Rettner, M. E. Best, B. D. Terris, 2001, Patterning of granular magnetic media with a focused ion beam to produce single-domain islands at  $>140$  Gbit/in<sup>2</sup>, *IEE*.
- [5] *EE Transactions on Magnetics*, Vol. 37, Issue 4, Part 1, pp. 1649~1651.
- [6] J. Lohau, A. Moser, C. T. Rettner, M. E. Best, B. D. Terris, 2001, Writing and reading perpendicular magnetic recording media patterned by a focused ion beam, *Applied Physics Letters*, Vol. 78, No. 7, pp. 990~992.
- [7] A. Fernandez, P. J. Bedrossian, S. L. Baker, S. P. Vernon, D. R. Kania, 1996, Magnetic force microscopy of single-domain cobalt dots patterned using interference lithography, *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 32, Issue 5, pp. 4472~4474.
- [8] 김영규, 강신일, 2003, 나노 패턴 성형을 위한 금속 나노 스탬퍼 제작, *한국소성가공학회 춘계학술대회*, p. 481.
- [9] 배재철, 김영민, 김홍민, 강신일, 2004, 단열층을 이용한 광디스크 기관의 서브 마이크론 성형에 대한 수치해석, *한국소성가공학회지*, 제 13 권, 제 1 호, pp. 39~44.
- [10] 김종성, 강신일, 2000, 광디스크 기관 성형시 발생하는 복굴절의 최소화를 위한 이론적 연구, *한국소성가공학회지*, 제 9 권, 제 2 호, pp. 103~111.
- [11] N. Lee, Y. Kim, S. Kang, 2004, Temperature dependence of anti-adhesion between a stamper with sub-micron patterns and the polymer in nano-moulding processes, *J. Phys. D: Appl. Phys.* Vol. 37 No. 12, pp. 1624~1629.
- [12] N. Lee, Y. Kim, S. Kang, J. Hong, 2004, Fabrication of metallic nano-stamper and replication of nano-patterned substrate for patterned media, *Nanotechnology*, Vol. 19, issue 8, pp. 901~906.
- [13] N. Lee, J. Han, Y. Kim, S. Kim, Y. Choi, J. Lim, S. Kang, 2005, Replication of 40nm Class Nano-pillar Arrays Using Nano-injection Molding Process with Metallic Nano Stamper, *HARMST 2005*, pp. 1624~1629.
- [14] 김석민, 김동묵, 강신일, 전병희, 2002, 전사성 향상을 위한 마이크로 UV 성형 공정 최적화, *한국소성가공학회 추계학술대회*, pp. 343~346.
- [15] S. Kang, J. Kim, S. Kang, 2000, Birefringence distribution in magneto-optical disk substrate fabricate by injection compression molding, 39 : pp. 689~694.
- [16] Y. Kim, Y. Choi, S. Kang 2005, Replication of high density optical disc using injection mold with MEMS heater, *Microsystem Technologies*, Vol.11, pp. 464~469.
- [17] Youngmin Kim, Yong Choi, Young-Joo Kim, Shinill Kang, 2005, Construction of Injection Mold with MEMS RTD Sensor and MEMS Heater for Micro/Nano Molding Process, *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 44, No. 5B, pp. 3591~3595.