



나노 패터닝을 이용한 초고밀도 정보저장매체의 성형

강신일 / 연세대학교 기계공학부

서 론

21세기에 들어오면서부터 정보 기술(IT), 나노 기술(IT), 바이오 기술(BT)에 관한 관심이 높아지고 있으며, 이에 대한 중요성이 크게 부각되고 있다. 특히 정보 기술과 나노 기술은 여러 산업분야 발전에 미치는 파급 효과가 매우 클 것으로 기대되고 있어서, 이에 관한 기술발전을 위해서 대규모의 집중적인 연구와 투자가 전세계적으로 이루어지고 있다.

정보기술의 경우 다양한 정보들을 효율적으로 다루기 위한 우수한 시스템에 관한 요구가 증대되고 있으며 특히 기하 급수적으로 늘어나는 많은 양의 정보를 저장할 수 있는 정보저장매체에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 산업 분야의 요구 및 발전 경향에 따라 CD(Compact Disc) 혹은 DVD(Digital Versatile Disc)로 대표되는 광 정보저장매체와 하드 디스크로 대표되는 자기 정보저장매체의 시장규모는 매년 10% 이상씩 꾸준히 증가하고 있다. 표 1은 이러한 정보저장매체의 2003년도 예상 시장규모 및 성장률을 나타내고 있다. 정보저장매체에서 큰 비중을 갖는 반도체 메모리 시장까지 고려하면, 정보 저장매체의 시장규모는 매우 큰 규모를 가지고 있다고 할 수 있다.

특히, 최근 들어 멀티미디어 관련 기술이 급격히 발전함에 따라 저장밀도를 증가시켜, 보다 많은 양의 정보를 저장하기 위한 기술개발이 국내외 여러

표 1 2003년도 정보저장매체의 시장규모

	시장규모 (10억 달러)	성장률 (%)
광 정보저장매체	13,637	13.3
자기 정보저장매체	24,444	12.6

출처: Gartner Dataquest

연구기관 및 기업체에서 진행되고 있다. 정보저장매체의 초고밀도화 및 초소형화를 구현하기 위해서는, 무엇보다 한정된 면적 안에 많은 양의 비트 신호를 집적화 시킬 수 있는 기술이 요구된다. 이를 위해서는 특정한 디스크 기판 위에 정보 신호를 정보를 저장할 수 있는 초미세 패턴을 제작하는 기술이 필수적이다. 이미 1980년대 중반부터 여러 연구기관에서는 다양한 방식을 통하여 나노 패턴을 제작하고 이를 고밀도 정보저장매체 제작에 적용하고자 하는 연구를 진행하여 왔으며, 이와 관련된 연구결과들이 보고되고 있다.

본 글에서는 현재의 광 및 자기 정보저장매체의 원리 및 이와 관련된 기술 동향과 나노 패턴 제작기술을 통한 초고밀도 정보저장매체의 개발에 대하여 언급하고자 한다.

초고밀도 광 정보저장매체

광 정보저장매체 원리 및 제작과정

현재 상용화 중인 대표적인 광 정보저장매체에는

CD와 DVD가 있다. 이와 같은 광 정보저장매체는 ROM 타입의 경우 정보를 저장하기 위해 특정한 디스크 기판 위에 원하는 정보가 인가된 수백 ~ 수십 나노의 크기를 가지는 피트 구조를 갖는 패턴을 제작하여 정보를 기록 및 재생한다. 그림 1은 광 정보저장매체의 기판 위에 형성된 피트 구조 패턴의 모습을 보여주고 있으며 이 패턴에 따라 0 및 1의 비트 신호를 주어 정보를 기록 및 재생한다.

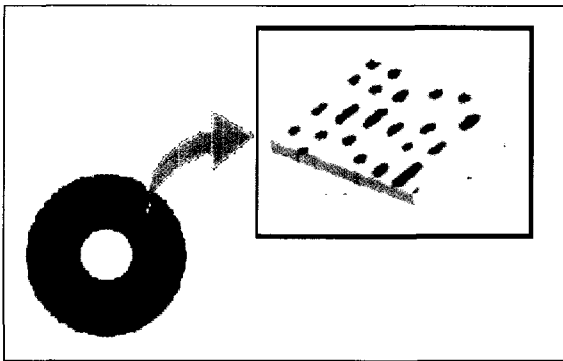


그림 1 광 정보저장매체의 피트 구조

광 정보저장매체의 제작 공정은 크게 마스터링(mastering) 공정과 전사(replication) 공정으로 구분할 수 있다. 마스터링 공정은 전사 공정에 사용하기 위한 나노 스케일의 피트 구조 패턴을 갖고 있는 금속 스탬퍼를 제작하는 공정이다. 전사 공정은 마스터링 공정에서 제작된 스탬퍼를 금형에 삽입하고 사출압축성형 공정을 통하여 디스크 기판을 제작하고 다양한 후속 공정을 수행함으로써 디스크를 완성하는 공정이다.

마스터링 공정은 크게 LBR(Laser Beam Recording) 기술과 전기주조 기술을 이용하여 수행된다. LBR 공정은 유리기판 위에 포토레지스트(photoresist)를 도포하고 여기에 레이저를 제작하고자 하는 각각의 패턴 형상대로 직접 노광시키고 이를 현상(developing)하여 피트 구조의 초기 패턴을 제작한다. 최종적으로 금속 스탬퍼를 제작하기 위해 LBR을 통해 제작된 나노 크기의 패턴에 전기도금을 수행한다. 무전

해 도금을 통하여 초기 패턴 위에 기지층(seed layer)을 형성시킨 후, 전기주조(electroforming)를 이용하여 금속 층을 두껍게 적층한다. 일반적으로 무전해도금 및 전기주조에 사용되는 금속 소재로는 니켈이 이용된다. 전기주조 후에는 후면정면가공(back polishing), 펀칭(punching) 등의 후속 작업을 거쳐 금속 스탬퍼를 완성한다. 그림 2에서는 광 정보저장매체를 제작하기 위하여 초기 패턴을 제작하고, 이를 이용하여 금속 스탬퍼를 제작하는 마스터링 공정을 보여주고 있다.

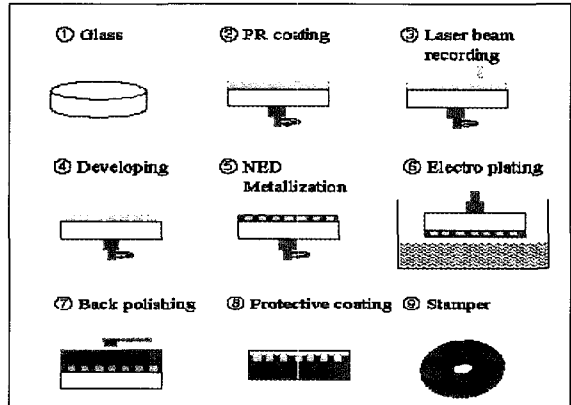
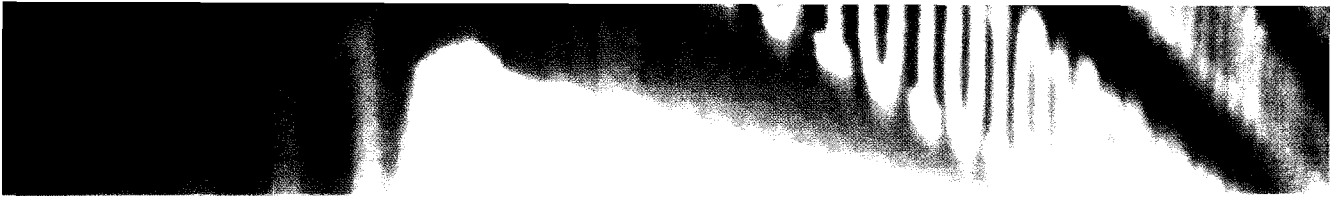


그림 2 광 정보저장매체의 마스터링 공정

이렇게 제작된 금속 스탬퍼는 전사 공정에 사용된다. 금속 스탬퍼는 사출압축성형을 위한 금형에 장착되고, 사출압축성형 공정을 통하여 광 디스크 기판을 제작한다. 일반적으로 열가소성 수지인 폴리카보네이트(polycarbonate) 소재로 사용하며, 사출압축성형을 통하여 제작한다. 사출압축성형은 기존의 사출성형공정에 충전시 금형전면 또는 코어부의 압축을 수행함으로써 미세형상에 대한 전사성을 증가시키고 이와동시에 성형품에 걸리는 압력을 감소시킴으로써 우수한 특성의 성형품의 제작이 가능한 공정이다. 특히, 사출압축성형은 광 디스크 기판을 성형하는 데에 걸리는 시간이 불과 수 초 밖에 소요되지 않으므로 정보저장매체의 양산 기술로서 매우 적합한 기술이라 할 수 있다. 성형된 디스크 기판은



기록막 및 반사막 코팅, 접착 공정(bonding), 프린팅 공정(printing) 등의 다양한 후속 공정을 통하여 정보를 저장할 수 있는 광 정보저장매체로 제작된다.

광 정보저장매체의 고밀도화 연구

많은 양의 정보를 저장할 수 있는 고밀도 광 정보 저장매체를 제작하기 위해서는, 디스크 기판 위에 형성되는 피트 구조 패턴의 크기 및 간격을 감소시킴으로써 저장밀도를 증가시키는 기술이 핵심이다. CD의 경우에는 트랙 피치(track pitch)가 1.6 μm 로써, 저장밀도는 70 Mbits/in² 이다. 이는 120 mm의 직경을 갖는 디스크 1장당 650 MB의 저장용량에 해당하는 값이다. 또한 DVD의 경우에는 740 nm의 트랙 피치, 4 Gbits/in²의 저장밀도를 가지며, 120 mm 직경의 디스크는 4.7 GB의 저장용량을 갖는다.

최근에 이루어지고 있는 광 정보저장매체의 고밀도화에 관한 연구는 현재의 DVD 저장용량을 능가하는 BD(Blu-ray Disc) 및 AOD(Advanced Optical Disk)의 개발에 집중되고 있다. BD의 경우에는 디스크 기판 위의 패턴의 트랙 피치가 320 nm로써, 이는 19.5 Gbits/in²의 저장밀도와 1장당 25 GB라는 높은 정보저장 용량을 가지고 있으며, AOD의 경우에도 1장당 15 GB의 정보저장 용량을 구현하는 것을 목표로 개발이 진행되고 있다.[1,2,3] 그림 3은 현재 상용화되어 있는 대표적인 광 정보저장매체인 CD와 DVD 규격과 차세대 매체인 BD의 규격을 나타내고 있다.

초고밀도 광 정보저장매체 개발을 위한 연구는 Matsushita, Philips, Sony, Hitachi 등의 외국 선진 기업에서 이미 수년 전부터 많은 연구를 진행하였으며, 이에 따라 근간에는 이들 업체로부터 시제품의 출시되고 있는 상황이다. 국내에서도 대기업을 중심으로 하여 연구 개발을 위한 많은 투자가 이루어지고 있다.

나노 패턴 제작 기술을 통한 초고밀도 정보저장매체의 개발

초고밀도 광 정보저장매체 개발에 요구되는 초미세 패턴을 제작하기 위해서는 무엇보다도 마스터의 초기 패턴을 고밀도화 하는 기술이 요구된다. 기존의 CD나 DVD의 경우에는 패턴 제작을 위한 노광 공정에 있어서, 레이저를 사용하는 LBR을 이용하여 초기 패턴을 제작하였다. 그러나 일반적으로 레이저 빔은 수백 나노의 직경을 갖고 있어서 초고밀도화에 있어 그 한계를 갖는다. 제작하고자 하는 광 디스크 패턴은 LBR에 사용되는 레이저의 빔 직경에 의존하는데, BD의 경우에는 트랙 피치가 320 nm로써 수백 nm의 직경을 기존의 LBR 기술 만으로는 한계가 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해, LBR 기술을 대신하는 EBR(Electron Beam Recording) 기술을 도입하게 되었다. EBR은 직경이 수 nm인 전자빔을 사용함으로써, 이론적으로는 수 nm의 패턴 제작도 가능하게 된다. 그러나 현재의 EBR 기술은 아직까지 수 nm의 패턴을 대면적에 균일하게 제작할 수

있는 정도까지 연구되지 않은 상황이다. 또한 EBR 장비에 대한 가격이 매우 높고 패턴 제작 공정시간도 오래 걸리는 문제점을 갖고 있어, 앞으로 많은 연구가 필요할 것으로 판단된다.

제작하고자 하는 패턴이 극미세화 되면, 금속 스탬퍼를 제작하고 폴리머 소재의 디스크 기판 성형하는 데에 있어서, 패턴 전

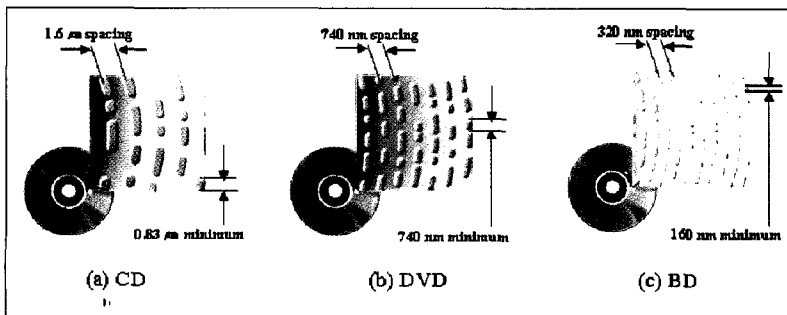


그림 3 광 정보저장매체 기판 패턴 규격



사가 원활히 이루어지지 않는 문제점이 발생한다. 특히, 나노 단위의 패턴을 성형하는 초미세 나노 사출압축성형 시에는 용융 수지가 스탬퍼의 미세한 나노 패턴을 제대로 채우지 못하는 현상이 발생한다. 이에 따라 초미세 나노 패턴을 효율적으로 성형하기 위한 초미세 나노 사출압축성형 기술개발이 요구되고 있으며, 특히 사출압축성형시에 수지와 금형의 온도 및 압력을 최적화시키는 기술이 필수적이다. 이와 관련된 연구는 현재까지도 여러 연구기관에서 활발히 진행되고 있는 실정이다.

초고밀도 자기 정보저장매체

기존의 자기 정보저장매체 원리

하드디스크로 대표되는 기존의 자기 정보저장매체는 특정한 디스크 기판 위에 자성 층을 적층시킨 후, 여기에 일정한 방향의 자성을 부여함으로써 0 및 1의 비트 신호를 갖게 한다. 자기장은 자성층의 결정(grain) 단위로 인가되게 되며, 몇 개의 결정이 모여 하나의 비트가 만들어진다. 그림 4는 이와 같은 자기 정보저장매체의 정보저장 원리를 보여주고 있다.

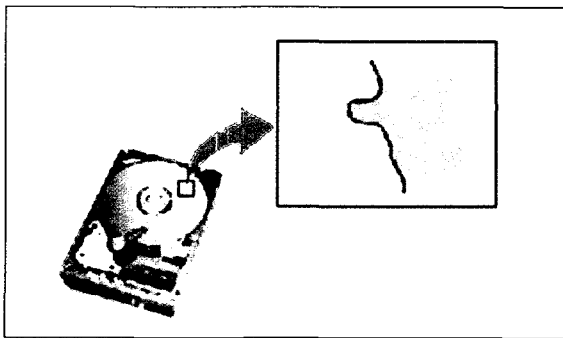


그림 4 기존의 자기 정보저장매체 기판 구조

이와 같은 자기 정보저장매체의 정보저장 용량은 자기장이 인가되는 결정 크기에 의해 결정된다. 즉, 자성을 갖는 결정 크기가 감소로 인한 정보를 저장하는 비트 크기 역시 작아짐에 따라, 일정한 공간 안

에 많은 양의 정보 저장이 가능하게 된다. 이와 같은 원리를 하드디스크의 고밀도화 연구가 계속해서 진행되고 있으며, 그림 5는 이러한 고밀도화 연구개발 추이를 보여주고 있다.

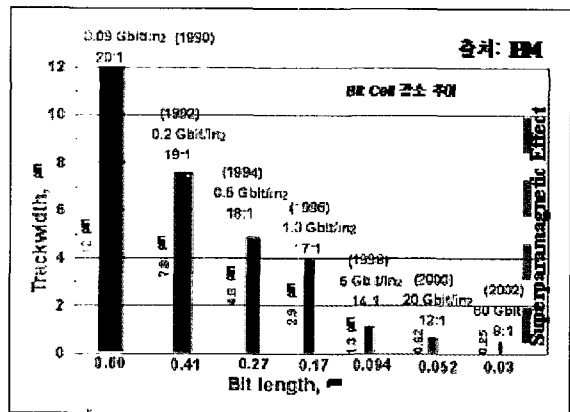


그림 5 자기 정보저장매체의 비트 감소추이

기존의 자기 정보저장매체의 한계 및 초고밀도 자기 정보저장매체의 개발

현재 일반적으로 사용하고 있는 연속적인 자성층을 이용하여 초고밀도 자기 정보저장매체를 제작하는 데에는 한계가 있다. 정보저장 용량을 증가시키기 위해 결정 크기를 어느 일정한 크기 이상으로 감소시키게 될 경우에는, 초상자성 현상(superparamagnetic effect)이 발생하여 정보를 저장하고 있는 자성이 불안정하게 된다. 또한 노이즈가 증가하게 됨에 따라 신호 대 잡음비(SNR)가 증가하여 원하는 정보를 기록·재생하기가 어려워진다. 이와 같은 현상으로 인하여 기존의 자기 정보저장매체 관련 기술만으로는 정보저장 밀도의 한계를 100 Gbits/in²으로 보고되고 있다.

이에 따라, 기존의 자기 정보저장매체가 갖고 있는 한계를 극복하고 초고밀도 자기 정보저장매체를 개발하기 위하여 다양한 방식의 시도가 이루어지고 있으며, 그 중의 한 시도으로써 패턴드 미디어(patterned media)라고 불리는 차세대 자기 정보

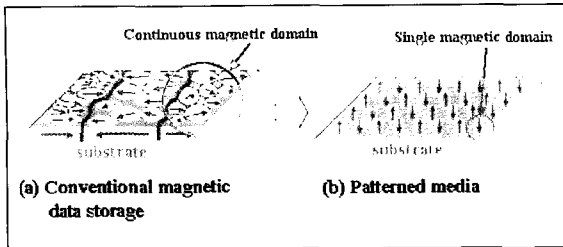
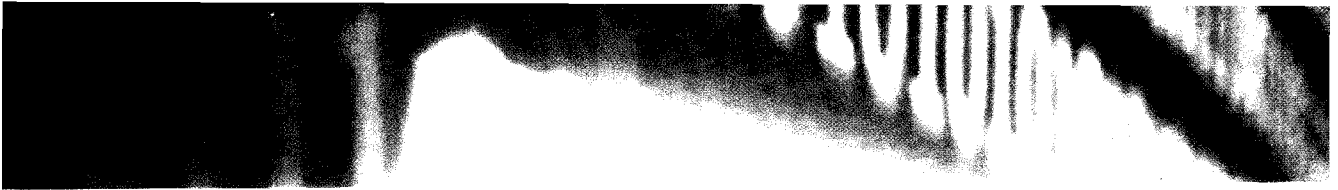


그림 6 패턴드 미디어의 기본 원리

저장매체가 제안되었다. 패턴드 미디어는 디스크 기판 위에 연속적인 자성층을 대신하여 독립적인 자성을 갖는 개개의 도트 패턴을 제작함으로써, 초상자성 효과 및 노이즈 문제를 해결하고자 하는 자기정보저장매체이다. 그림 6은 기존의 연속적인 자기정보저장매체를 대신하는 patterned media의 원리를 보여주고 있다.

패턴드 미디어의 자성 도트 패턴의 크기가 작고 패턴 간의 간격이 줄어들수록 저장밀도가 증가하므로, 초고밀도의 패턴드 미디어를 제작하기 위해서는 나노 단위의 패턴을 제작하는 기술이 필수적으로 요구된다. 이론적으로 100 Gbits/in²의 정보저장 밀도를 구현하기 위해서는 80 nm의 간격을 갖는 패턴이 요구되며, 1 Tbits/in²의 저장밀도를 갖기 위해서는 25 nm의 간격의 패턴이 요구된다. 이에 따라 현재 연구개발 되고 있는 나노 패터닝 기술을 패턴드 미디어에 적용시키고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

패턴드 미디어 기술개발

광 정보저장매체의 제작 기술이 사출압축성형을 통하여 안정화되어 있는 것에 비하여, 초고밀도 자기정보저장매체인 패턴드 미디어의 제작 기술은 아직까지 확고하게 정립되어 있지 않다. 이에 국내외 연구 기관 및 기업체를 중심으로 EBL(Electron Beam Lithography), FIB(Focused Ion Beam), RIE(Reactive Ion Etching) 등의 나노 패터닝 기술을 통하여 패턴드 미디어를 제작한 연구 결과가 보고되고 있다.[4,5,6] 하지만, 이러한 제작기술들은 제작

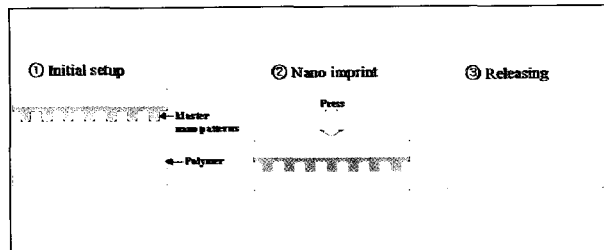


그림 7 나노 임프린트 리소그래피 공정도

단가가 높고 공정시간이 길어 저가의 양산성을 요구하는 정보저장매체를 제작하는 기술로는 부적합하다. 이에 따라 최근에는 기존의 나노 패터닝 기술에 성형 기술을 도입함으로써, 나노 패턴을 저가로 양산하고자 하는 연구가 진행되고 있다.

나노 임프린트 리소그래피(nano imprint lithography)라 불리는 이 성형 기술은, 앞에서 언급한 EBL 등이 갖는 단점을 보완하기 위하여 고안된 기술로써, EBL 및 RIE 등에 의해 마스터(master)라 불리는 초기 나노 패턴을 제작하고 이를 온도와 압력을 가한 상태로 열가소성 폴리머 및 광경화성 폴리머로 눌러서 나노 패턴을 전사하는 기술이다. 나노 임프린트 리소그래피는 1996년 Chou 등에 의해 연구 결과가 보고된 이래로 많은 연구가 이루어지고 있다.[7] 그림 7은 나노 임프린트 리소그래피의 공정도를 보여준다.

최근 들어, 이러한 나노 임프린트 리소그래피 기술을 적용하여 패턴드 미디어를 제작하고자 하는 연구가 최근 들어 진행되고 있다. 그 중 IBM에서는 임프린트 공정을 이용하여 55 nm 크기의 자성을 갖는 도트 패턴을 100 nm 간격으로 제작한 결과를 보고함으로써, 이에 대한 가능성을 보여주었다.[8]

현재까지의 패턴드 미디어 제작 기술은 연구실 수준의 개발 단계로써, 이를 상용화 하기에는 아직까지 미흡한 실정이다. 정보저장매체로써 상품화 되기 위해서는 자성 나노 도트 패턴의 대면적화 및 균일도화를 구현해야 하며, 이의 저가 양산 시스템 개발 기술이 필수적이다. 따라서 이와 같은 문제점들을 극복하고자 하는 연구가 지속적으로 진행되고 있다.



결 론

지금까지 광 및 자기 정보저장매체의 원리 및 이의 제조공정에 관하여 간단히 정리하였다. 앞에서 언급한 바와 같이 초고밀도 정보저장매체를 개발하기 위해서는 나노 단위의 패턴을 저가로 양산할 수 있는 기술개발이 필수적이다. 이와 관련하여 본 글에서는 초미세 나노 사출압축성형 및 나노 임프린트 리소그래피 기술에 관하여 소개하였으며, 이를 정보저장매체에 적용한 연구 결과들을 간략히 보여 주었다.

초고밀도 정보저장매체를 개발하기 위해서는 균일한 수십~수 나노 단위의 초미세 패턴을 대면적에 제작하는 기술개발도 요구되지만, 패턴을 제작함에 있어서 저가로 양산할 수 있는 기술도 매우 중요한 요소이다. 이를 위한 기술로 나노 패턴 성형 기술이 매우 유망한 기술로써 연구되고 있으며, 특히 초미세 나노 사출압축성형의 경우에는 그 제작단가 및 제작공정 시간을 고려할 때 매우 적합한 기술이라 할 수 있다.

나노 패턴 성형 기술 개발하고 이를 초고밀도 정보저장매체에 적용하는 연구를 통하여 지금까지와는 차원이 다른 대용량의 정보저장매체를 손쉽게 사용할 수 있는 시대가 머지않아 올 것으로 기대된다.

[참고문헌]

[1] J. Y. Kim, S. W. Suh, and K. C. Park, "High density optical disk system adopting 0.3 mm-thick plastic

substrate and a blue laser diode", Proc. Satellite ISOM 2000, pp.52~53, 2000

[2] H. van Houten, "A third generation optical disk system for digital video recording (DVR)", Proc. Satellite ISOM 2000, pp.54~55, 2000.

[3] T. Narahara, S. Kobayashi, M. Hattori, Y. Shimpuku, G. J. van den Enden, J. A. H. M. Kahlman, M. vand Dijkm, and R. van Woundenberg, "Optical disk system for digital video recording", Jpn. J. Appl. Phys., Part 1 39, pp. 912~919, 2000.

[4] S. Ganesan, C. M. Park, K. Hattori, H. C. Park, R. L. White, H. Koo, and R. D. Gomez, "Properties of lithographically formed cobalt and cobalt alloy single crystal patterned media", IEEE Transactions on magnetics, Vol. 36, No. 5, pp.2987~2989, 2000.

[5] T. Aoyama, K. Uchiyama, T. Kagotani, K. Hattori, Y. Wada, S. Okawa, H. Hatate, H. Nishio, and I. Sato, "Fabrication and properties of CoPt patterned media with perpendicular magnetic anisotropy", IEEE Transactions on magnetics, Vol. 37, No. 4, pp.1646~1648, 2001.

[6] K. Koike, H. Matsuyama, Y. Hirayama, K. Tanahashi, T. Kanemura, O. Kitakami, and Y. Shimada, "Magnetic block array for patterned media", Appl. Phys. Lett., Vol. 78, No. 6, pp.784~786, 2001.

[7] S. Y. Chou, P. R. Krauss, and P. J. Renstrom, "Imprint lithography with 25-nanometer resolution", Science, Vol. 272, pp.85~87, 1996.

[8] G. M. McClelland, M. W. Hart, C. T. Rettner, M. E. Best, K. R. Carter, and B. D. Terris, "Nanoscale patterning of magnetic islands by imprint lithography using a flexible mold", Applied Physics Letters, Vol. 81, No. 8, pp.1485~1485, 2002.