

이중 초점렌즈를 이용한 볼륨 홀로그래픽 메모리 Volume Holographic Memory using Bi-focal Lens

김지덕, 이홍석, 송석호*

삼성종합기술원 MEMS Lab, *한양대학교 마이크로광학 국가지정연구소

jideog.kim@samsung.com

볼륨 홀로그래픽 메모리를 이용한 디지털 데이터 저장장치⁽¹⁾의 대용량 특성은 다중화를 통하여 구현된다. 다중화란 미디어의 동일영역에 데이터를 중첩 기록하는 것인데, 이 경우 이전에 기록된 데이터가 완전히 소멸되지 않도록 해야 한다. 볼륨 홀로그래픽 메모리에서는 기준빔의 어떤 물리적인 특성, 예를 들면, 입사각도, 파장, 위상 등을 일정한 선택도이상으로 변경하여 중첩 기록함으로써 다중화를 수행한다.

볼륨 홀로그래픽 메모리는 한 개의 빔으로 기록 및 재생을 수행하는 보통의 광기록 기술과는 다르게, 신호빔과 기준빔 등 2개의 빔을 사용한다. 그리고 신호빔에 데이터를 변조하는 방법에 따라 '페이지'방식과 '비트'방식으로 나뉘어 진다. 페이지 방식의 경우 공간광변조기(SLM)를 이용하여 데이터를 입력하고 비트방식의 경우 빔 자체의 on-off를 신호로 이용한다. 조금 다른 방식으로서 비트 데이터로 구성된 전체의 데이터 마스크를 한 번에 기록하는 방식⁽²⁾도 제안되었다.

볼륨 홀로그래픽 메모리의 시스템을 소형화하기 위해서는 소형의 픽업을 구성하는 것이 선결문제이다. 페이지 방식의 경우 공간 광변조기를 이용해야 하기 때문에 소형의 픽업을 구성하는 것이 쉬운 문제는 아닐 것이다. 마이크로 홀로그래픽을 이용한 비트 방식의 소형 픽업시스템⁽³⁾이 제안되기도 하였으나, 아직도 고밀도와 소형화를 동시에 만족시킬 수 있는 시스템의 개발은 어려운 문제로 남아 있다. 여기에서는 다초점 렌즈를 이용하여 한 개의 빔으로부터 신호빔과 기준빔을 동시에 제공할 수 있는 새로운 방식의 볼륨 홀로그래픽 메모리 시스템을 제안하고 그 특성을 연구하였다.

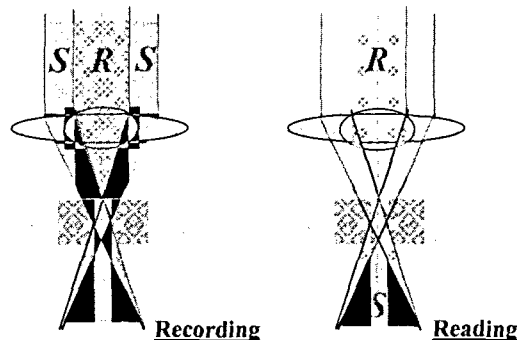


그림 1. 이중 초점렌즈를 이용한 볼륨 홀로그래픽 메모리

이중 초점렌즈를 이용한 볼륨 홀로그래픽 메모리 시스템의 기록 및 재생 방법은 그림 1에 나타나 있는 바와 같이 기록시에는 일정 반지름 안 영역은 가까운 초점에 모여 기준빔 역할을 하며 그 밖은 먼 초점에 모여 신호빔의 역할을 한다. 재생시에는 기준빔만을 입사시키면 기록된 볼륨 홀로그래픽에 의해 신호빔이 재생되는 것이다. 이 방식의 다중화 특성은 기본적으로 원형빔(spherical beam)을 기준빔으로 사용하는 이동다중화(shift multiplexing)⁽⁴⁾에 기초하고 있다. 가까운 초점이 원형 기준빔에 있어서의 광원 역할을 하는 것이다. 그러나, 신호빔이 평면파로 되어 있지 않기 때문에 다중화 분석에 있어 차이점이 있다.

이중 초점렌즈의 일정 반지름 밖을 통과하여 먼 초점에 모아지는 신호빔의 특성은 다소 복잡하지만, 다중화

분석을 위해서 여기에서는 원형빔으로 근사를 하고자 한다. 이동 다중화 선택도를 분석하기 위하여 그림 2에 표시되어 있는 좌표를 이용하여 신호빔의 초점면에서의 회절된 광신호를 구하면 다음과 같은 결과를 얻을 수가 있다.

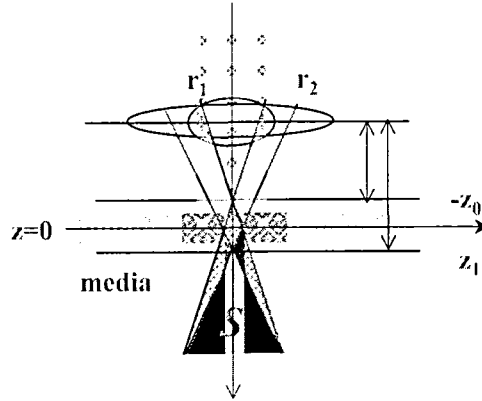


그림 2. 이중 초점렌즈를 이용한 볼륨 홀로그래픽 메모리 좌표계

$$E_d \approx \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} dz e^{i\pi \frac{\delta(z_0+z_1)}{\lambda(z+z_0)^2}} \quad (1)$$

여기서, L 은 미디어의 두께, δ 는 재생시 기준빔의 x 축 방향의 이동정도, λ 는 파장을 각각 나타낸다. 식 (1)은 바로 sinc함수형태는 아니지만 $z \ll z_0, z_1$ 이면 sinc함수로 된다. 이 때, $\delta_{Bragg} = \sqrt{\frac{\lambda z_0}{L(z_0+z_1)}} z_0$ 임을 알 수 있다. 또한, 식 (1)을 구하는 과정에서 재생된 신호빔이 x 축방향으로 $-\frac{z_1\delta}{z_0}$ 만큼 이동되는 것을 알 수 있다.

실제로는 기준빔이 점광원이 아니므로 그에 대한 고려를 해야 하는데, 신호빔으로 평행빔을 사용한 이전의 결과⁽⁴⁾를 보면 최종 이동 다중화 선택도 Δ 는 Bragg선택도에 광원의 위치 불확실성을 나타내는 스폿사이즈를 더한 양이 된다.

$$\Delta = \delta_{Bragg} + \frac{\lambda}{2NA} \quad (2)$$

여기서, NA 는 기준빔에 해당하는 Numerical aperture이다. 신호빔이 보다 복잡한 우리의 경우는 최종 이동 다중화 선택도가 어떻게 되는 지도 관심사이다.

결론적으로, 식 (1)에 여러 가지 상수를 넣고 분석을 해보면 submicron의 다중화 선택도를 얻기가 어려운 것으로 나타나는데 실제로는 빔의 파면이 원형빔보다 복잡함으로 이로 인해 이동 다중화 선택도가 증가될 수 있을 것으로 기대되고 이에 대한 추가의 분석이 필요하다고 하겠다.

※ 본 논문은 “차세대 대용량 정보저장장치 개발사업”(산업자원부; 00008145)의 지원을 받아 수행되었습니다.

1. H.J. Coufal, D. Psaltis, and G.T. Sincerbox (Eds.), "Holographic Data Storage", Springer Series in Optical Sciences (2000).
2. Ernest Chuang, Hisayuki Yamatsu, Kimihiro Saito, and Seiji Kobayashi, "Holographic ROM system for high-speed replication", Jpn. J. Appl. Phys., Part 1 42, 976 (2003).
3. Hans J. Eichler, Susanna Orlic, Peter Kuemmel, and Benjamin Schupp, "Multiplexed microholograms for optical data storage", Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng. 3633, 14 (1999)
4. George Barbastathis, Michael Levene, and Demetri Psaltis, "Shift multiplexing with spherical reference waves", Appl. Opt. Vol35, 2403 (1996).