

근접장 홀로그램의 각도 다중화 저장 및 재생

Recording and Retrieving of Angular Multiplexed Near-field Holograms

김경엽, 이병호

국가지정 홀로그래피 기술 연구실

서울대학교 전기공학부

byoungho@plaza.snu.ac.kr

Abstract

We present our experimental results on the recording and retrieving of multiplexed near-field holograms using near-field scanning optical microscopy (NSOM) and a conventional rectangular-parallelepiped or cubic photorefractive crystal. Experimental results show that we can get the angular selectivity comparable with that of the volume hologram and the retrieved spot size was smaller than the Rayleigh's limit. The results also show that the angular selectivity and the retrieved spot size are strongly dependent on the recording distance between the object and the recording medium.

최근 고밀도 저장장치에 대한 관심이 높아지면서 특히 광학적, 그 중에서도 홀로그래픽 메모리 시스템의 고밀도화에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다.⁽¹⁾ 기존의 홀로그램은 object와 저장 물질(예: 광굴절 결정)간의 거리가 커서 신호빔(signal beam or object wave)중 진행파(propagating wave) 성분만 저장되고 evanescent 파에 대한 진폭과 위상에 관한 정보는 저장과정에서 배제된다. 따라서 재생시 원래 신호에 대한 모든 정보가 재현되는 것이 아니라 그 중 진행파 성분만 재생되므로 신호빔의 spot size가 빛의 파장에 비해 크게 작다고 하더라도 재생되는 빛은 Rayleigh의 한계라고 알려진 파장의 반 이하의 크기로 줄어들 수 없는데 비해 근접장을 이용한 근접장 홀로그램은 그 저장 정보의 최소 크기가 사용되는 빛의 파장에 관련된 Rayleigh 한계에 무관하기 때문에 차세대 홀로그래픽 메모리로서의 가능성이 크다고 할 수 있다. 최근 본 연구진은 NSOM을 이용한 근접장 홀로그램의 저장과 재생을 실험적으로 보고한 바 있다.^{(2) (4)}

홀로그래픽 메모리 시스템은 여타의 다른 전기적, 광학적 메모리 시스템과는 달리 같은 기억 저장 장소에 각기 독립적인 여러 데이터를 적절한 방법을 통해 다중화(multiplexing)할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 근접장 홀로그램의 영역에 있어서는 아직 four-wave mixing을 통한 일시적 신호빔의 재생이나⁽⁵⁾ 단일한 spot의 저장에 대한 연구만이 이루어지고 있을 뿐이다.^{(2) (4)} 본 논문에서는 근접장 홀로그램의 각도 다중화에 대한 실험 결과를 보고한다.

신호빔으로는 NSOM의 광섬유 탐침에서 나오는 빛을 이용하였으며 기준빔으로는 레이저에서 나오는 Gaussian 빔을 그대로 사용하였고, 재생시에는 반대방향으로 진행하는 Gaussian 빔을 크리스탈에 입사시켜서 공액위상(phase-conjugated) 재생을 수행하였다.

그림 1과 2에 광섬유 탐침과 광굴절 결정사이의 거리를 다르게 했을 때의 저장된 spot의 크기와 각도 선택도를 비교하여 나타내었다. 탐침과 결정 사이의 거리가 10 nm일 경우 탐침에서 발생된 근접장 성분이 결정에 도달할 수 있으므로 Rayleigh limit보다 훨씬 작은 240 nm 크기의 spot이 저장됨을 알 수 있으며, 이 경우의 각도 선택도가 근접장이 도달하지 못할 정도로 탐침과 결정이 떨어져서 같은 실

diffusion coefficient centered at zero velocity. The high friction coefficient due to the radiation force and a low momentum diffusion coefficient were found to be responsible for the sharp narrowing of the velocity distribution of atoms, i.e., for the subDoppler laser cooling of atoms in a $\sigma_+ - \sigma_-$ field configuration.

We have also extended the kinetic theory of laser cooling of multilevel atoms to a case of Lin-Lin field configuration and compared the underlying physical processes and effectiveness of laser cooling of atoms by the two basic field configurations.⁽⁶⁾ As before, we have investigated the simplest model of a (3+5)-level atom that includes three ground-state magnetic sublevels ($F_g=1$) and five upper-state sublevels ($F_e=2$). The kinetic theory approach shows that similar to a case of $\sigma_+ - \sigma_-$ field configuration, in a Lin-Lin field configuration the even-order multiphoton processes are responsible for narrow velocity structures in atomic populations, coherences, radiation force and diffusion coefficient at zero velocity. Alongside we find that a physical picture of atomic excitation by a Lin-Lin field configuration is more complicated as compared with that of a $\sigma_+ - \sigma_-$ configuration. While a $\sigma_+ - \sigma_-$ field configuration produces a single two-photon process connecting the ground-state sublevels, a Lin-Lin field configuration induces the four-photon and higher even-order multiphoton processes including stepwise multiphoton processes composed of the two-photon processes. Most important of them is found to be the stepwise four-photon process. This process produces a super-narrow velocity structure that is broadened by the rest even-order processes. The four-photon process produces the increase in the friction due to the radiation force but it simultaneously produce increase in the diffusion coefficient. As a result, the four-photon process as well as other multiphoton processes give a small contribution to the atomic temperature that is found to be asymptotically close to that for a $\sigma_+ - \sigma_-$ field configuration at large detunings. We have thus concluded that the laser cooling mechanism in a Lin-Lin field configuration is based mainly on the stepwise four-photon process while in a $\sigma_+ - \sigma_-$ field configuration it is based on the two-photon process.

