

펨토초 레이저와 이산화탄소 레이저를 이용한 유리 내부에서의 금속 나노입자 형성

Precipitation of metal nanoparticles in glass using feomtosecond laser irradiation and CO₂ laser annealing

신중호, 장경식, 최정현, 김연실, 이유리, 임기수, 손익부*

충북대학교 물리학과

*고등 광 기술 연구소(APRI)

kslim@chungbuk.ac.kr

최근 나노입자의 비선형적인 성질을 이용한 연구가 활발하며 특히 비정질 재료인 유리 내부에 형성된 은 나노입자는 3차원 정보저장, 광도파로, 회절격자, 2차 조화파 발진과 나노입자 크기 제어를 통한 다양한 색 구현에 응용되는 연구가 활발히 진행되고 있다^(1,2). 본 연구에서는 유리내부에 펨토초 레이저 조사와 이산화탄소 레이저에 의한 열처리를 이용하여 은 이온이 첨가된 유리내부에 은 나노입자를 형성시키는 연구를 하였다. B₂O₃-Na₂CO₃-Al₂O₃를 host로 사용하였으며 혼합된 시료를 도가니에 넣어 1350 °C에서 가열한 후 냉각법으로 실험을 위한 유리 시료를 얻었다.

펨토초 레이저를 이용하여 은 이온이 첨가된 유리 내부를 대물 렌즈를 이용하여 집속 시켜 다 광자 흡수를 통해 공간선택적으로 흡수변화와 굴절을 변화를 얻을 수 있었다. 펨토초 레이저는 780 nm, 1 kHz, 130 fs를 사용하였으며 펨토초 레이저에 의해 가공된 유리 내부는 [그림 1]의 흡수 스펙트럼에서 보듯이 defect에 의한 color center가 생기고 이들을 300 °C의 온도에서 열처리를 하면 사라지고 유리는 투명하게 변하였다. 여기서 다시 400 °C로 열처리한 결과 노란색으로 변하면서 은 나노입자 형성에 의한 표면 플라즈몬의 흡수 밴드 형성을 관측하였다⁽³⁾. 이것은 펨토초 레이저의 의해 형성된 전자-정공이 각각 은이온과 defect와 결합하여 발생하는 것으로 은이온이 환원을 하여 중성인 원자로 되고 이 원자는 다시 일정한 열이 공급되면 이동과 결합이 이루어져 나노 입자가 형성되는 것으로 볼 수 있다.

본 연구에서는 annealing 과정에서 흔히 사용하는 전기로를 사용하는 대신에 이산화탄소 레이저를 사용하여 실험을 수행하였다. 이산화탄소 레이저 빔의 출력조절과 시간적 변조를 통해 연속가열에 의한 시료의 손상을 피했으며 레이저 이용의 최대 장점인 공간선택적인 annealing 을 이용하여 펨토초레이저 노출부위를 annealing 하였다. 이산화탄소 레이저 빔이 가우시안형태이므로 중앙부위와 가장자리부분의 온도차이로 인해 나노입자 형성과 이로 인한 형광특성의 차이를 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 유리의 열 전도도가 매우 작아 온도의 국지화 특성영향으로 볼 수 있다. 또한 나노입자 형성은 TEM 분석 [그림3]을 통해서 은 나노입자 image와 성분분석을 수행하였고 그 크기는 3 nm 로 흡수 스펙트럼[그림 2]에서 이론적인 방법으로 구한 크기와 일치하였다.

그러므로 이산화탄소 레이저에 의한 나노입자 형성 방법은 나노입자 형성 과정을 공간적으로 제어할 수 있을 뿐 아니라 온도변화가 용이하다는 장점이 있고 전기로보다 짧은 시간에 형성 시킬 수 있다는 점에서 아주 중요한 기술이라고 말할 수 있다.

참고문헌

- (1) A. Podlipensky, J. Lange, G. Seifert, H. Graener, and I. Cravetchi, Opt. Lett. 28 (2003) 716.
- (2) H. Ditlbacher, J. R. Krenn, B. Lamprecht, A. Leitner, and F. R. Aussenegg, Opt. Lett 25 (2003) 563
- (3) D. Mangaiyarkarsai, K. Kamada, N. Saito, S. Ichikawa, T. Akai, K. Kadono, T. Yazawa, J. Non-crystalline solids, 351 (2005) 3156-3159

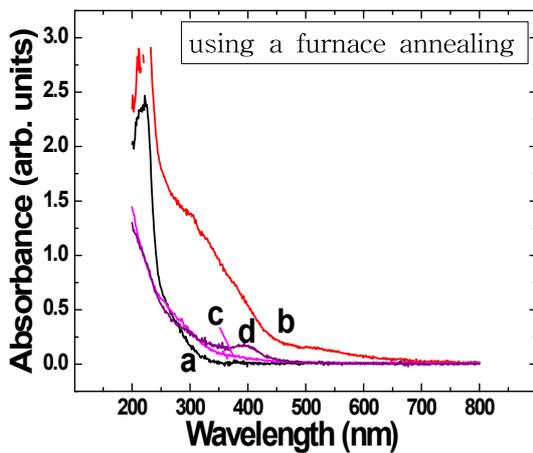


그림 1. Absorption spectra of the Ag-ion doped glass using a furnace(a) before fs-laser irradiation, (b) after fs-laser irradiation, (c) after annealing at 300 °C for 30 min (d) after annealing at 400 °C at 30 min.

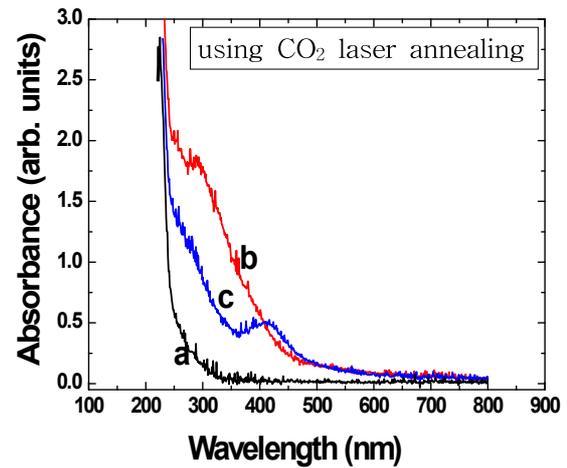


그림 2. Absorption spectra of the Ag-ion doped glass (a) before fs-laser irradiation (b) after fs-laser irradiation (c) after CO₂ laser annealing.

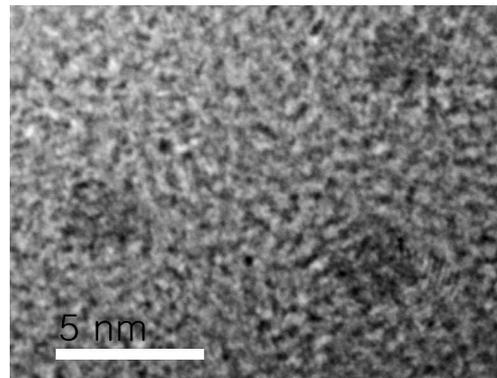
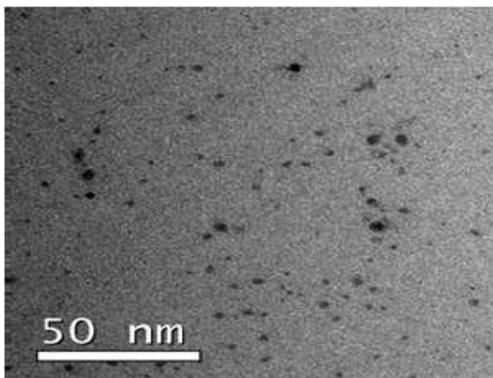


그림 3 TEM images after CO₂ laser annealing.(diameter = 3 nm)