

은 입자가 포함된 아연 인산염 유리의 광학적 성질과 광 반응성

Optical Properties and Photosensitivity of Zinc Phosphate Glass Containing Silver Particles

최문구, 임상엽, 박승한

연세대학교 물리학과

moongoo@phya.yonsei.ac.kr

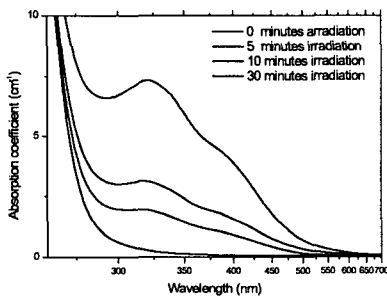
금속 입자들이 채워진 유리는 광 호변성 물질로써 광 저장 디스크, 광 도파로 그리고 도파로 레이저, 광 스위치 등의 다양한 응용분야에 이용될 수 있음이 여러 연구진들에 의해서 밝혀져 왔다.[1] 광 호변성이란 외부에서 입사되는 광에 의해서 유리의 색이 변색되는 현상인데 이는 유리에 함유된 물질들이 광이나 열에 의해서 변화하기 때문이다. Wood 등은 열처리와 불꽃에 의한 가열 등을 이용하여 은 입자를 작은 입자로 조개고. 이를 엑시머 레이저로 열처리시키면 은 입자가 분해된다는 것을 보였다.[2] Gonella 등은 레이저 조사 후에 유리의 광학적 성질이 영구히 변화하는 것을 관찰하였는데 이는 입자들의 형태가 변하거나 산화 등으로 화학적인 변화를 겪기 때문인 것으로 밝혀냈다.[3] 또한 Kaempfe 등은 극초단 레이저 펄스를 이용해서 은 나노 입자의 모양을 변형시켰고 그 결과 광학적 성질들이 변하는 것을 관찰하였다.[4]

본 연구에서는 은 입자를 포함한 아연 인산염 유리의 광학적 성질을 조사하였으며 γ 선을 유리에 조사시켜가면서 유리의 착색 현상과 낮은 세기의 자외선 레이저 조사에 따른 탈색 현상을 최초로 관찰하였다. 우선 착색 현상을 살펴보면 γ 선의 조사시간에 따라서 착색 정도가 달라졌는데 조사시간이 길어질수록 붉은 기가 약간 도는 노란색으로 변화하였다. <그림 1>의 선형 흡수 그래프에서 나타났듯이 조사시간이 길어질수록 300 ~ 600nm 의 파장영역에서 흡수가 크게 증가했다. 380 nm 부근에서의 흡수 봉우리는 형성된 은 입자의 표면 플라즈마 공명에 의한 것이고 320 nm 봉우리는 은 입자와 은 이온의 상호작용에 따른 것으로 보인다. 또한 조사시간에 따른 선형 흡수의 차이 $\Delta\alpha$ 를 조사해보면 380 nm의 증가가 큰 것을 볼 수 있으며 이와 같은 사실들을 통해서 γ 선 조사량이 유리 내에서 형성되는 은 입자의 밀도와 밀접한 연관이 있음을 알 수 있다.

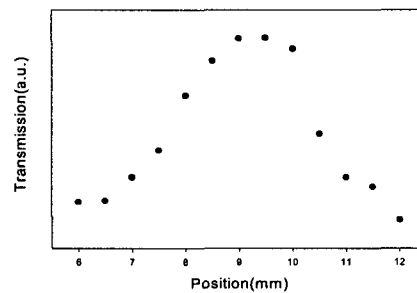
또한 Nd YAG 레이저의 3차 조화파인 355nm 의 광을 10MW/cm² 정도의 광 세기로 아연 인산염 유리에 5000 shot을 조사시킨 후에 은 입자의 표면 플라즈마 공명 파장인 380nm에서 시료의 광 투과율을 측정했다. 놀랍게도 레이저 광이 조사된 시료 부분이 탈색되어 있었으며 위치에 따라서 투과율에 차이가 있었다. <그림 2>에서 볼 수 있듯이 레이저가 조사되지 않은 지역은 단 광자 흡수에 의한 표면 플라즈마 공명에 의해서 투과율이 낮고 레이저의 세기가 큰 지역일수록 투과율이 높은 것을 알 수 있었다. 이것은 은 입자의 소멸로 인해서 탈색 현상이 발생되었다고 판단된다. 따라서 γ 선과 자외선을 시료에 조사시키면 은 입자를 생성시키거나 소멸시킬 수 있고 이를 이용하여 아연 인산염 유리에 분포된 은 입자의 수를 조절하는 것이 가능하다는 것을 보여준다.

현재 관찰된 광 반응성 현상을 통해서 가장 두드러진 특징은 낮은 세기의 단 광자 흡수에 의해서도 수 mm 두께의 아연 인산염 유리 속을 레이저 광이 진행하면서 탈색화 현상을 일으킬 수 있다는 것이다. 지금까지 보고된 다른 연구진들의 연구 결과에 따르면 광 반응성 유리에서 단 광자 흡수에 의한 착색 현상은 입사 광이 시료의 얇은 지역(수 μm)에서만 관찰 될 수 있었는데 이는 광 반응성을 일으키는 과정에서 시료의 흡수계수가 너무 크기 때문이었다.[5] 한 편 이 광자 흡수에 의한 두꺼운 시료의 착색 및 탈색 현상을 이용해서 유리 내부에 3차원 집적 광 구조체를 제작하려는 방법들이 연구되어 왔는데 낮은 이광자 흡수 계수 때문에 입사광의 세기가 1000 MW/cm² 정도로 커야하기 때문에 레이저 광의 에너지 손실이 너무 커지게 되어서 비효율적이다.[6] 따라서 본 연구는 낮은 광 세기에서 단 광자 흡수 현상에 의한 탈색 현상을 이용하여 광 기록 매체로 아연 인산염 유리를 사용할 수 있다는 가능성을 제시할 수 있었다.

현재까지 아연 인산염 유리에서 착색과 탈색에 대한 물리, 화학적 기원에 대해서는 잘 알려져 있지 않다. 또한 광의 조사에 따라서 넓은 영역의 파장에서 흡수 변화가 일어나는 것으로 추측해보면 은 입자만 생성 및 소멸되는 것이 아닌 것을 알 수 있다. 따라서 아연 인산염 유리에서 은 입자의 정밀한 생성과 소멸을 조절하기 위해서는 추가적인 연구들이 필요하며, 현재 진행 중에 있어서 추후에 발표될 예정이다.



<그림 1> γ 선 조사 시간에 따른 아연 인산염 유리의 선형 흡수 곡선



<그림 2> 355nm 레이저 광 조사 후 아연 인산염 유리의 위치에 따른 투과율

참고 문헌

- [1] S. Chen, T. Akai, K. Kadono, and T. Yazawa, Appl. Phys. Lett. 79, 3687 (2001).
- [2] R.A. Wood, P.D. Townsend, N.D. Skelland, D.E. Hole, J. Barton, and C.N. Afonso, J. Appl. Phys. 74, 5754 (1993).
- [3] F. Gonella, G. Mattei, P. Mazoldi, E. Cattaruzza, G.W. Arnold, G. Battaglin, P. Calvelli, R. Pollobi, R. Bertinello, and R.F. Haglund, Jr., Appl. Phys. Lett. 69, 3101 (1996).
- [4] M. Kaempfe, T. Rainer, K.-J. Berg, G. Seifert, and H. Graener, Appl. Phys. Lett. 74, 1200 (1999).
- [5] X.G. Huang, M.R. Wang, Y. Tsui, and C. Wu, J. Appl. Phys. 83, 3795 (1998).
- [6] Y. Watanabe, M. Inoue, and T. Tsuchiya, J. Appl. Phys. 84, 6457 (1998).