

# 펄토초 레이저 조사에 의한 형광 변화를 이용한 3차원 정보 저장 3D data storage by use of femtosecond laser induced PL change

연세대학교 금속시스템공학과 이승필, 이명규

## I. 서론

유리는 제조공정이 단순하고 우수한 균질성과 가공성을 가지고 있을 뿐만 아니라 다양한 active ion으로 도핑이 가능하여 광 특성의 변조가 용이하지만, 비정질구조에 수반되는 낮은 전기광학 및 비선형광학 효과로 인해 그동안 주로 수동소자용 소재로 사용되어 왔다 그러나 유리는 열역학적 관점에서 준안정상태 (metastable state)이기 때문에 전자기파와 같은 외부 자극에 의해서 쉽게 다른 상태로 전이가 가능한데 이를 이용하여 유리를 정보저장과 같은 능동소자에 적용하려는 연구가 최근 들어 많은 관심을 끌고 있다 특히 laser의 조사에 의해 유도된 유리내부의 상태변화는 laser의 파장 및 강도, 유리의 조성 및 도핑 원소에 따라 bond breaking, particle precipitation, valence state change, crystallization 등 다양한 형태로 나타남이 보고되었고, 이는 광정보 저장, 광도파로, 파장변환소자 등 다양한 분야에 유용하게 적용될 수 있다 <sup>(1)</sup> Femto-second pulsed laser의 개발은 multi-photon absorption 현상에 의하여 threshold power이상의 영역만을 변화시키며, 따라서 glass의 표면뿐만 아니라, 내부 또한 focusing을 통하여 3D multi layer의 micro pattern의 형성을 가능케 하였다 또한, femto-second laser의 조사를 통하여 Sm 이온이 도핑된 glass의 형광특성을 선택적으로 변화시킴으로써 이를 정보저장에 응용할 수 있었다 이것은 3차원 정보저장 시 기존의 refractive index 변화에 의한 light scattering signal보다 높은 S/N(signal to noise ratio)을 가짐으로써 효율적인 readout을 가능케 한다.

## II. 실험방법

### 1 시편의 준비

본 연구에 사용된 Sm이 첨가된 유리는 산화물  $B_2O_3$ ,  $Na_2O$  (99.99%이상)을 사용하여 기본유리 구성하고, 사마륨 이온의 첨가를 위해서  $Sm_2O_3$ (99.99%이상)를 사용하여 sodium borate glass [ $95(0.85B_2O_3-0.15Na_2O) + 5Sm_2O_3$ ] 20g을 혼합하여 box furnace에서  $1300^\circ C$ 에서 용융시킨 후 hot plate를 이용하여  $400^\circ C$ 의 스테인리스 몰드에 급냉을 시켜 제조하였다 또한, 제조된 유리에 내제되어있는 내부응력을 제거하기 위해서 유리전이온도( $T_g$ )부근에서 사전 열처리를 수행하였으며,  $CeO_2$  파우더를 이용하여 polishing을 하여  $1cm \times 1cm \times 0.1cm$ 의 크기로 연구에 필요한 샘플을 준비하였다 이를 그림 1에 도식화 하였다

## 2. 펄스 레이저 조사에 의한 패턴 형성과 정보재생

3차원 광 정보 저장을 위해서 그림 2 에서와 같이 제조된 유리 시편에 파장이 800nm, 펄스 폭이 약 100fs, 반복주기 1kHz인 가지는 Tl sapphire(Quantronix) 레이저를 사용하여 단일층(single layer) 및 다층(multi layer)의 dot pattern을 형성 한 후 readout system을 이용하여 정보 재생시의 S/N ratio와 인접 layer간의 cross-talk을 분석하였다 Readout system은 514nm 파장의 CW 아르곤 이온(Ar<sup>+</sup>)레이저를 pump source로 사용하여 N.A=0.55 값을 갖는 대물렌즈를 이용하여 집속하였다 레이저 빔의 intensity는 ND. filter를 사용하여 0.01mW-2mW로 조절 하였고 정보를 readout하기 위해서 monochromator를 682nm에 고정시켰다

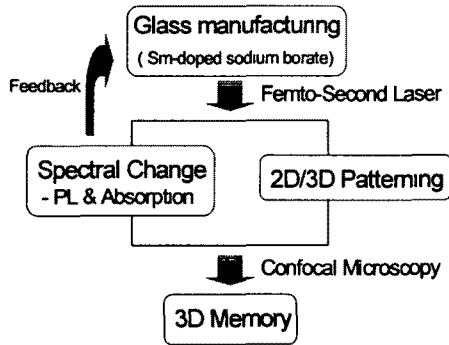


그림 1 Experimental procedure

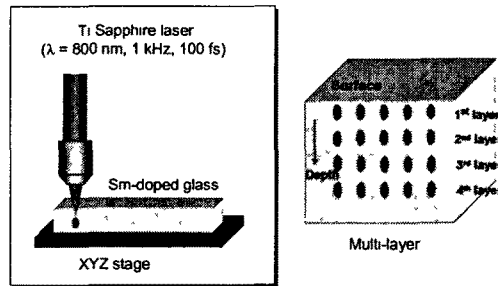


그림2 펄스 레이저에 의한 패턴 형성

## III. 결과 및 고찰

레이저 조사 후 682 nm 부근에서 새로운 약한 형광 peak이 발견되었다 그림 3 에서 보는 바와 같이 682nm의 새로운 peak은 Sm<sup>2+</sup>의 <sup>5</sup>D<sub>0</sub>→<sup>6</sup>F<sub>0</sub>의 에너지 전이에 의한 것으로 알려져 있는데 이것은 Femto-second laser에 의하여 국부적인 구조가 유발되어 Sm<sup>3+</sup> 이온의 일부가 Sm<sup>2+</sup>로 변환 (Sm<sup>3+</sup> + e<sup>-</sup> → Sm<sup>2+</sup>) photoreduction이 이루어졌기 때문이라 여겨진다 [2] 따라서 bit의 저장 유무를 이러한 PL signal의 감지여부로 판단할 수 있게 된다

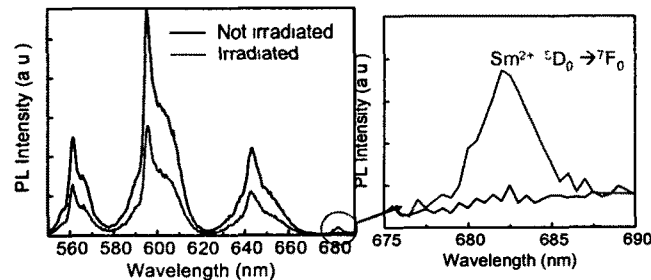


그림3 펄스 레이저 조사 전 후의 glass의 photoluminescence peak의 비교

Single layer는 average power는 520mW, layer간격은 30 $\mu$ m, bit size는 4 $\mu$ m, dot 간격은 15 $\mu$ m 로 하였고 패턴 형성 후 514nm의 pump beam으로 재생하였는데 그림 4 에서처럼 비교적 뚜렷한 신호를 보이면서 정보를 읽어 낼 수 있었다. 또 비교적 아주 낮은 출력에서도 정보의 효율적인 readout이 가능하고 readout power가 클수록 더 높은 S/N ratio값을 가짐을 알 수 있었다

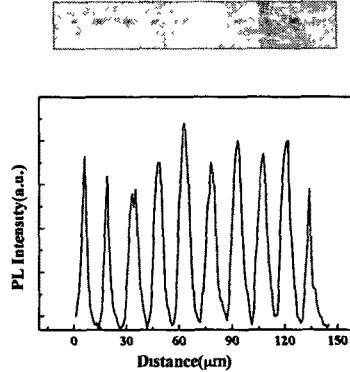


그림 4. PL변화를 이용 single layer readout( readout source power 2mW)

Multi-layer의 readout은 인접한 layer사이에서의 신호 간섭, 즉 cross-talk가 발생하는 문제가 있다. 따라서 우리는 그림 5과 같은 multi-layer의 first layer와 second layer를 zigzag로 형성 시킨 후 readout을 해본 결과 first layer와 second layer 사이에서 서로 분리 가능한 good signal이 검출되었다

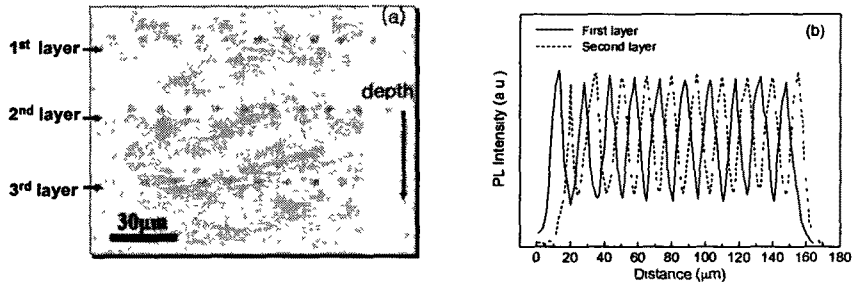


그림5 PL 변화를 이용한 multi-layer( zigzag)의 readout

(a) 펄스초에 의한 zigzag multi-layer

(b) Readout signal of 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> layer bit in multi-layer(zigzag)

저장 용량을 증가 시키기 위해서는 pattern size을 줄이는 것이 필요한데 현재 연구에서 사용된 PL system은 500nm size의 dot에서 발광하는 형광 signal을 효과적으로 detect하지 못했다 이에 보다 정밀한 depth resolution을 갖고 인접 layer와의 cross-talk을 막는 공초점 현미경(confocal laser scanning microscope)을 사용하였다 이에 1  $\mu$ m의 bit 크기, 3  $\mu$ m의 bit 사이의 거리, 8  $\mu$ m의 layer 사이의 간격으로 한 multi-layer pattern를 형성시켰다 그림 5는 인접한 3개의 layer를 반사형 공초점 현미경으로 읽은 결과를 보여주고 있다. 일반적인 공초점 현미경에서의 contrast의 근원은 굴절률변화에 따른 산란이므로 펄스초 레이저가 조

사된 영역에서 굴절을 또한 미세하게 변했음을 알 수 있다. 각 layer 사이에 cross-talk이 없는 선명한 image를 보여주고 있으나, 그림의 직선을 따라 측정된 signal 분포에서 보듯이 S/N ratio는 그렇게 높지 않다 그림 6은 동일한 패턴의 PL image를 보여주고 있는데 이를 위해 현미경의 detector 앞에 band pass filter (centered at 682 nm)를 설치하였다 PL signal 분포에서 보는바와 같이 굴절률변화를 이용하는 것에 비해서 훨씬 증가된 contrast를 나타내고 있다 이러한 PL signal은 상온에서 2주간 경과한 후에도 인지할만한 감쇠는 관찰되지 않았는데 저장된 패턴의 열적안정성에 대해서는 좀 더 자세한 측정이 필요하다

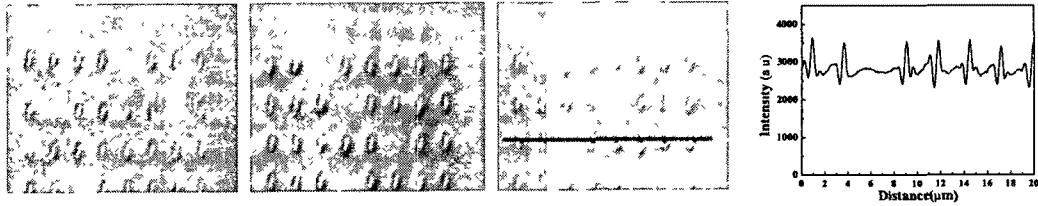


그림 5 반사형 공초점현미경에 의한 저장패턴의 재생

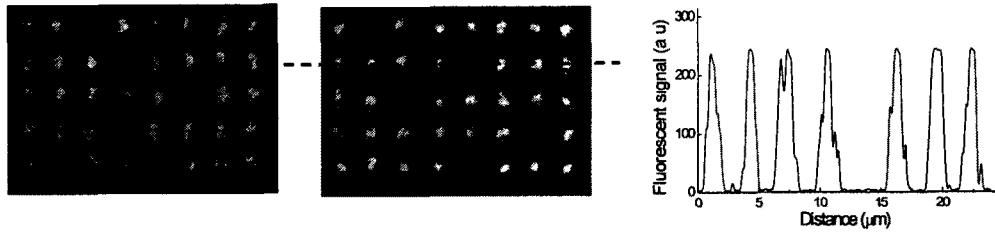


그림 6. 재생된 fluorescent image pattern

Nano-scale의 고밀도 정보 저장을 위하여 dot size, dot distance, layer separation (dot size=500nm, dot distance=2μm, layer separation=4μm)을 줄이고 layer수를 4개로 증가 시킨 multi-layer를 형성시켜 readout을 해보았다 그림 7 은 4개의 인접한 layer를 confocal microscope으로 scanning 한 것으로 역시 cross-talk이 없는 선명한 image를 보여주고 있다 그림 8 은 682nm를 투과시키는 band pass filter를 사용하여 관찰한 layer의 PL image와 3 차원 signal profile이다 Dot size가 1μm일 때 보다는 선명하진 않지만 pattern에 맞는 signal이 검출되었다. Confocal microscope에 의한 형광 signal은 본 연구의 결과처럼 신호의 검출이 용이하며, light scattering 에 의한 경우보다 더 높은 S/N ratio를 갖는 것으로 예상할 수 있다

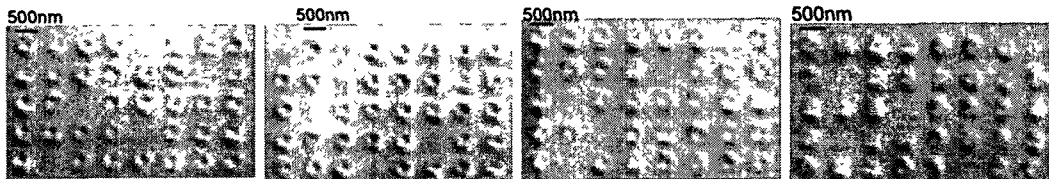


그림 7 . Nano scale pattern의 재생

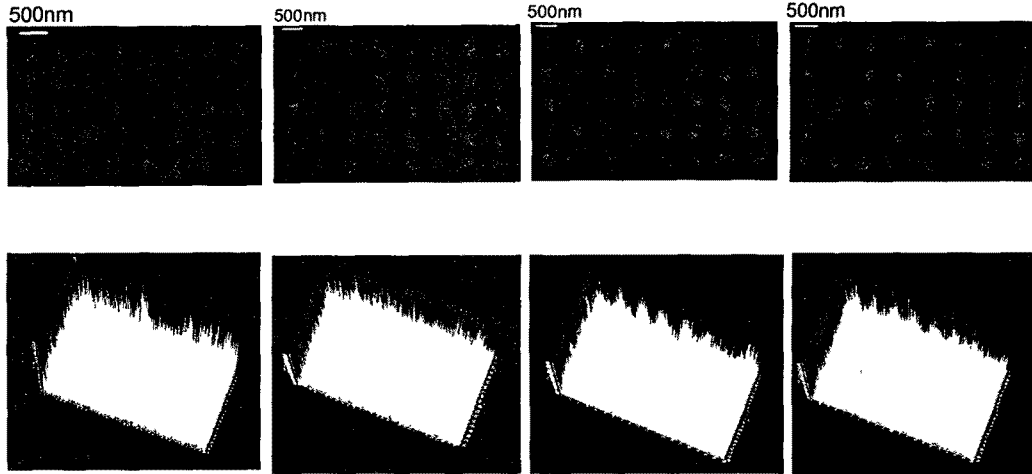


그림 8 재생된 fluorescent image pattern 과 3D signal profile

#### IV. 결론

Sm이 첨가된 glass에 펨토초 레이저의 조사에 의한 광 특성 변화를 이용하여 3차원 정보 저장의 가능성을 보였다 실험결과 light scattering 에 의한 방법보다 높은 S/N ratio를 갖는 single layer 및 multi-layer 의 정보를 readout 할 수 있었다 Cross-talk을 방지하는데 충분한 최소한의 bit 크기와 layer 간격에 대해서는 현재 연구가 진행 중에 있는데, 이러한 요소들은 재생방식 뿐 아니라 재료자체의 물성, 특히 PL 스펙트럼의 변화정도에 따라 달라질 수 있다 분석한 샘플에서 관찰된 새로운 PL peak은 Sm이 첨가된 fluoride glass에서 보고된 것에 비해서 약한 편이지만 fluoride glass에 비해 제조공정이 단순하고 높은 안정성을 가지는 oxide glass를 이용한 정보저장의 가능성을 확인한 것은 중요한 의미를 가지며 현재 호스트 물질과 도핑원소의 변화에 따른 형광특성의 변화에 대한 연구가 진행 중에 있다

#### V. 참고문헌

- [1] " Active glass for photonic devices" K Hirao, T Mitsuyu, J Si, J Qu
- [2] " Permanent photoreduction of  $\text{Sm}^{3+}$  to  $\text{Sm}^{2+}$  inside a sodium aluminoborate glass by an infrared femtosecond pulsed laser" Appl Phys Lett 74, (1), 10 (1999)