

## 가시광선 영역에서 반도체 포화흡수체를 이용한 색소레이저 펨토초 펄스발생

노영철, 이재형, 장준성, 임용식\*, 박용주\*\*, 김은규\*\*

서울대학교 물리학과, \*건국대학교 신소재과학부 응용물리전공, \*\*한국과학기술연구원  
noh@photon.snu.ac.kr

최근의 극초단 펄스의 개발의 대부분은 주로 고체 이득매질을 이용하여 근적외선 영역에서 이루어지고 있다. 그러나 가시광선인 500 ~ 700 nm 파장대역에서는 특성이 좋은 고체 이득매질의 개발이 이루어지지 않아, 가시광선 영역의 극초단 펄스의 개발에 대한 연구는 최근에는 거의 이루어지지 않고 있다. 현재로서 가능한 방법은 티타늄 사파이어 레이저를 이용하여 극초단 펄스를 발생시키고, 이를 CPA(Chirped Pulse Amplification)방법으로 증폭한 다음에 이의 제2고조파 펄스를 얻고, 이를 다시 광파라메트릭 방법으로 가시광선 파장영역의 극초단 펄스를 얻는 방법이 있는데, 이는 대규모의 설비 및 장치를 필요로 한다[1]. 639nm 파장대역에서 Pr:YLF 고체이득매질로 8 ps 펄스폭을 갖는 모드결합 레이저개발에 대한 보고는 있지만, 이득매질의 특성으로 인해 발전과장의 연속적인 가변이 불가능하다[2]. 또한 이득매질로 색소를 사용하고, Kerr-lens 모드록킹을 사용한 보고도 있지만, 이 경우 낮은 출력과 초기에 강한 모드록킹 유도를 얻기 위하여 낮은 농도의 적절한 색소 포화흡수체를 사용해야 한다[3]. 극초단 펄스의 개발 초기 이래 가시광선 파장영역에서 유효한 이득매질은 유기 색소이다. 최초의 펨토초 펄스를 얻는 CPM(Colliding Pulse Mode-locking)방식에서는 이득색소로 Rh6G(Rhodamine 590)와 포화흡수체로 DODCI(3,3'-Dithioloacarbocyanine Iodide)를 사용하였다[4]. 이 방식으로 약 30fs 의 펄스폭을 얻을 수 있다. 또한 여기광으로 모드결합 펄스를 사용한 동기형 모드결합 레이저의 경우 수 ps 에서 수 백 fs 의 펄스폭을 갖는 레이저의 개발이 이루어졌다[5]. 동기형 공진기의 내부에 색소 포화흡수체를 함께 사용하는 혼합형 모드결합 레이저의 경우 펄스폭이 수십 fs인 펄스생성이 가능하다[6]. 그러나 이와 같이 포화흡수를 사용하는 경우 흡수체의 최저 여기 에너지 준위에서 이루어지는 공명조건에서 이루어지기 때문에 발전과장이 고정되는 단점과 포화흡수체의 빠른 열화 때문에 포화흡수체의 수명이 수일 정도라는 단점으로 인하여 사용이 매우 불편하다. 이와 같은 단점과 불편을 개선하고자, 적외선 파장영역에서 공진기 내에 포화흡수체로 bulk 상태의 반도체 AlGaAs[7] 와 InGaAs[8]를 이용하여 수 백 fs 펄스폭을 얻었다.

본 연구에서는 가시광 영역에서 발전하는 색소레이저에서 반도체 포화흡수체를 이용한 모드결합 펨토초 펄스 발생에 대하여 연구하였다. 수동형 모드결합 방법과 혼합형 모드결합 방법에 대해서 각각 연구하였다. 반도체 포화흡수체는 GaAs와 Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As, 그리고 CdSSe 미세구가 포함된 RG-610 칼라필터를 사용하였다.

수동형 방법의 펨토초 펄스 발생 연구에 사용한 반도체 포화흡수체는 분자선증착 방법으로 성장시킨 Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As에 은박막을 진공증착시켜 제작한 반공명 패브리-페로 구조의 반사경이다. 이 반사경을

Ar 레이저를 여기광으로 사용한 DCM 색소레이저의 공진기 내에 장치하였다. 공진기 정렬조건에 따라 연속발전과, 다중펄스모드, 단일펄스모드로 발전하였다. 단일펄스 모드는 공진기 안정조건인 가장자리에서 가능하였다. 단일펄스 모드에서 출력광의 최소 펄스폭은 중심파장 662nm에서 66fs이었고, 출력세기는 40 mW 이었다. 펨토초 펄스의 파장가변 영역은 642nm부터 663nm까지였다. 단파장 영역에서 포화 흡수체의 흡수는 증가한다. 이로 인해 발전광이 단파장으로 이동함에 따라 펄스폭은 줄어들고, 출력은 감소하는 특성을 보였다.

혼합형 모드결합 펄스 발생 실험에는 Rh6G 색소를 이득매질로 사용하고, 연속 발전 모드결합 Nd:YAG 레이저의 제2고조파를 여기광으로 사용하였다. 포화 흡수체를 장치하지 않았을 때 피코초 펄스가 발생하였다. RG-610 칼라필터를 포화흡수체로 사용한 경우 수십초 동안 지속되는 500fs 펄스를 얻었지만 포화흡수체의 열적손상으로 인해 안정적인 펨토초 펄스의 발생이 불가능하였다. 또한 위의 수동형 모드결합 레이저에서와 같이 반공명 패브리페로형 반도체 반사경을 포화흡수체로 사용하여 펨토초 펄스 생성 실험을 하였다. 이 경우 반사경 내의 흡수층은 GaAs 반도체이다. 레이저 발전파장 580 nm에서 58 fs의 펄스폭을 갖는 펄스가 발생하였다(그림 1). 공진기내의 발전광의 세기를 증가시켜 GaAs 반도체 포화흡수체의 광손상세기를 측정하였다. 광손상 세기는  $1 \text{ mJ/cm}^2$ 로 나타났다.

참고문헌

- [1] A. Shirakawa and T. Kobayashi, Appl. Phys. Lett. 72, 1(1998).
- [2] S. Ruan, J. M. Sutherland, P. M. French, J. R. Taylor and B. H. T. Chai, Opt. Lett. 20, 1041 (1995).
- [3] Y. F. Chou, K. L. Deng and J. Wang, Opt. Lett. 18, 1247 (1993).
- [4] J. A. Valdmanis, R. L. Fork and J. P. Gordon, Opt. Lett. 10, 131 (1985).
- [5] E. K. Jain and J. P. Heritage, Appl. Phys. Lett. 32, 41 (1978).
- [6] H. T. Sizer and G. A. Mourou, Opt. Commun. 57, 47 (1982).
- [7] J. Q. Bi, W. Hodel, P. Beaud, J. Schutz, H. P. Weber, M. Proctor, M. A. Dupertuis, D. Martin, F. Morier-Genoud and F. K. Reinhart, Opt. Commun. 89, 245 (1992).
- [8] C. E. Soccolich, M. N. Islam, M. G. Young and B. I. Miller, Appl. Phys. Lett. 56, 2177 (1990).

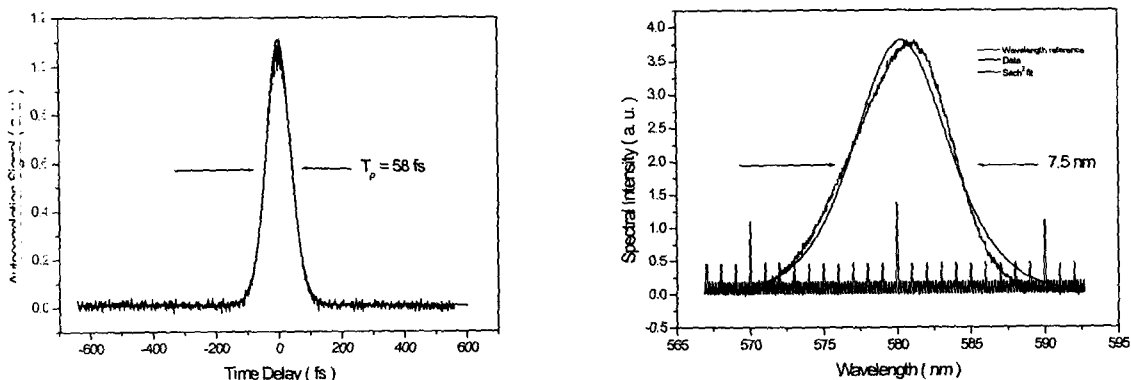


그림 1. 혼합형 모드결합레이저에서 펄스폭과 선폭.