

다중 진공 여과 방식으로 제작된 탄소나노튜브 포화 흡수체 기반의 Er-doped mode-locking fiber laser 의 펄스 특성에 관한 연구

The study on the Er-doped mode-locking fiber laser based SWNT-SA film manufactured by multi-filtration

*류성윤¹, #김수현¹, 김경수¹, 김진환¹, 이협¹, 조승환¹

*S. Y. Ryu¹, #S. H. Kim(soohyun@kaist.ac.kr)¹, K. S. Kim¹, J. H. Kim¹, H. Lee¹, S. H. Kim¹

¹ 한국과학기술원 기계공학과

Key words : mode-locking, SWNT, Saturable absorber, multi-filtration

1. 서론

탄소나노튜브(Carbon nanotube, CNT)는 1991년 Iijima 교수에 의해서 처음 발견된 이래로 CNT 자체의 뛰어난 물리 화학적 성질 때문에 이와 관련된 많은 연구가 수행되었는데, 최근에는 탁월한 광 물리학적 성질로 인해 광학 부품 군에서 응용될 수 있는 신소재로서의 가치가 재조명 되고 있다.

그 중에서도 연구자들은 타 재료에 비해 1000 배나 높은 CNT 의 광학적 비선형성에 주목하여 2004년 M. Jablonski 팀의 연구를 필두로 다양한 형태를 지닌 광 포화 흡수체(Saturable absorber, SA)의 재료로서의 연구가 진행되고 있다. SA는 입사 빛의 세기가 증가하면 흡수가 감소하는 비선형 광학 매질로써, 이를 이용할 경우 펄스폭이 짧은 극초단의 광 펄스를 생성할 수 있다. CNT는 sub-picosecond의 반응자 완화시간을 가지며 기존 SA로 많이 사용되던 타재료들에 비해 높은 광학적 비선형성을 가지고 있다. 또한 기계적 강도가 크기 때문에 포화 SA로의 응용이 기대되고 있다[83,94,95,96,97].

본 연구에서는 CNT가 가지는 SA로서의 우수한 성질을 적극 활용하기 위하여 host polymer를 진공 여과 방식을 통해 제작된 순수 CNT 필름에 코팅하는 방법을 이용하여 탄소나노튜브 포화 흡수체(CNT-SA)를 제작하였다. 또한, 제작된 CNT-SA를 어븀이 도핑된 파이버 증폭기 안에 삽입하여 포화

흡수체로서의 특성을 분석하였다.

다양한 흡광도를 가지는 CNT-SA를 제작하여 흡광도에 따른 출력 펄스의 변화 양상을 살펴보았다. 특히 높은 흡광도를 가지는 균질한 CNT-SA를 제작하기 위하여 다중 진공 여과 방식을 제안하였다.

2. CNT-SA film

본 실험에서는 총 5 종류의 서로 다른 흡광도를 가지는 CNT-SA 필름을 제작하였다. CNT-SA 필름은 CNT 합성법 선택, 분산제, 개별화, 농도, 진공 여과 횟수 등에 따라 그 특성이 달라질 수 있다. 실험에 사용된 각 필름은 Table 1의 조건에 따라 제조되었다. 제조된 5 종류의 CNT 필름은 PDMS (polydimethylsiloxane)를 이용하여 스핀 코팅된 후 80°C의 오븐에 1시간 가량 열처리하여 제작되었다.

Table 1 Comparison of manufactured CNT-SA film

	SA 1	SA 2	SA 3	SA 4	SA 5
Selection	HiPCO	LA	HiPCO	HiPCO	HiPCO
Dispersion	SDS	.	CTAB	SDS	SDS
Ultra centrifuge	30,000rpm /3hr	.	30,000rpm /1.5hr	30,000rpm/ 1.5hr	30,000rpm/ 1.5hr
Volume	18mL	15mL	24mL	40mL	63mL
# of filtration	1	1	1	3	7
Absorbance (@ 1550nm)	0.377	0.622	0.647	0.845	2.048

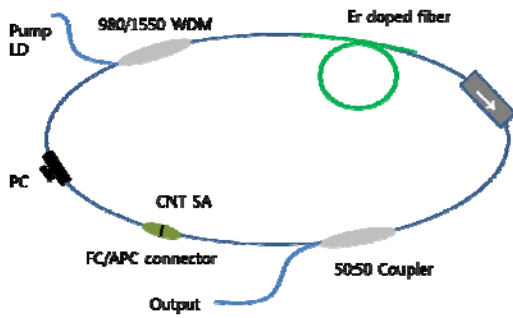


Fig. 1 Schematic of an Er-doped mode-locking fiber laser

3. Er-doped mode-locking fiber laser

본 연구에서는 정상 분산(nominal dispersion)을 가지는 EDF(erbium doped fiber)와 비정상 분산(anomalous dispersion)을 가지는 SMF(single mode fiber)를 이용하여 Fig. 1 과 같은 모드 잠금 광파이버 레이저를 구축하였다. 비정상 분산을 가지는 SMF 파이버 부분에 탄소나노튜브 포화 흡수제를 삽입하기 위하여 FC/APC connector 를 연결하였다. 2mm×2mm 크기로 잘라 낸 탄소나노튜브 포화 흡수제를 FC/APC 의 한 끝단 면에 위치시킨 후 두 connector 를 연결함으로써 포화 흡수제를 쉽게 cavity 내에 위치시킬 수 있다.

4. 실험 결과

제작된 5 종류의 CNT-SA 필름을 이용하여 흡광도 변화에 따른 파장 반치폭의 변화 양상을 측정해 보았다. 실험 결과 흡광도 값이 커질수록 발생 펄스의 파장 반치폭이 커지는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 2.048 의 흡광도를 가지는 필름 5 의 경우 흡광도 값이 너무 큼에 따라 모드 잠금이 일어나지 않는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 2 는 모드 잠금에 성공한 필름 1 ~ 필름 4 에 대하여 펌핑 레이저의 파워 변화에 따른 파장 반치폭의 변화 양상을 나타낸다. 그림에서 확인할 수 있듯이 같은 펌핑 파워를 가지는 빛이 입사되었을 때, 필름의 흡광도가 클수록 넓은 파장 반치폭을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 또한 모든 필름에 대하여 펌핑 파워가

증가할수록 파장 반치폭이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

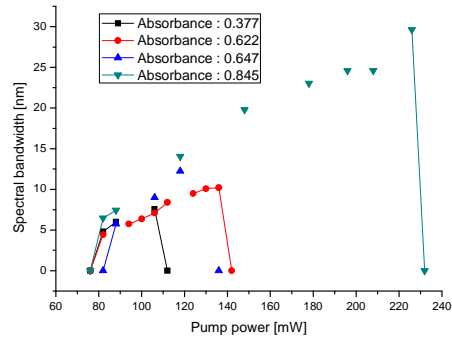


Fig. 2 Alteration aspect of a spectral bandwidth by change of an absorbance

5042-869-6823. 결론

본 실험을 통해 CNT-SA 필름의 흡광도 변화에 따른 출력 펄스의 특성 변화를 살펴보았다. 3 번의 여과 과정을 통해 제작된 0.845 의 흡광도를 가지는 필름 4 를 이용하였을 때 모드 잠금 성능이 가장 우수하게 나타났으며 이 때 발생한 펄스는 29.64nm 의 파장 반치폭을 가지며 70MHz 의 반복율, 약 300fs 의 펄스폭, 13mW 의 파워를 가지는 것을 확인할 수 있었다.

후기

본 연구는 교과부 2010 년 중견연구지원사업 (도약연구:도전) 과제의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. V. Scardaci, Z. Sun, F. Wang, A. G. Rozhin, T. Hasan, F. Hennrich, I. H. White, W. I. Milne, A. C. Ferrari, "L-band ultrafast fiber laser mode locked by carbon nanotubes", Adv. Mater. 2008, 20, 4040.
2. G. Della Valle et al, "Passive mode locking by carbon nanotubes in a femtosecond laser written waveguide laser", Appl. Phys. Lett. 2006, 89, 231115.