

다중벽 탄소 나노튜브 현탁액에서의 흡수형 광쌍안정 현상

Optical Bistability

of Multi-walled Carbon Nanotube Suspension

문정호, 유효정, 김석원

울산대학교 물리학과

jhmun7803@naver.com

광쌍안정(optical bistability)이란 하나의 입력광의 세기에 대하여 두 개의 안정된 출력상태가 존재하는 것을 말하고 이 현상은 크게 분산형(dispersive type)과 흡수형(absorptive type)으로 구분된다.⁽¹⁾

광쌍안정을 연구하는 목적은 광신호를 처리하는 기본소자의 개발과 그 응용에 있으며 본 연구에서는 차세대 신물질로 각광받고 있는 다중벽 탄소나노튜브 현탁액에서의 흡수형 광쌍안정 현상을 관측하였다.

실험에 사용된 다중벽 탄소나노튜브 현탁액의 용매로는 증류수를 사용하였고 초음파분쇄기(sonicator)로 약 2시간 동안 분쇄하여 제작되었다. 광원으로 파장이 532 nm인 DPSS(diode pumped solid state) Nd:YVO₄ 레이저를 사용했고 입사광의 변조를 위해 chopper를 사용하였고, 입사광과 투과광의 세기를 측정하기 위해 실리콘 포토다이오드를 detector로 사용하였다. 탄소나노튜브 현탁액의 농도는 cell의 두께가 10 mm 일때 UV-Visible spectro photometer로 측정한 선형투과율이 30%가 되도록 고정하였으며 cell의 두께를 달리하면서 측정하였다.

흡수형 광쌍안정은 시료의 광흡수의 온도의존성으로 설명할 수 있는데, 이는 곧 시료의 에너지 밴드 끝의 열적인 편이에 의해 지배된다. 이러한 열적편이는 온도에 관계하므로 시료의 흡수계수 $\alpha = \alpha_0 \exp(\Delta T/T_0)$ 로 기술할 수 있다(α_0 : 초기의 흡수계수, ΔT : 시료의 온도증가량, T_0 : 온도상수와 매질의 에너지 밴드 끝의 모양이나 상태에 따른 초기 온도값).⁽²⁾ 또한 시료의 온도는 에너지 흡수율에 따라서 $\Delta T = AI_0[1 - \exp(-\alpha L)]$ 로 증가한다. 여기서 A는 열상수로서 흡수된 광에 의한 온도의 증가율이고, L은 시료의 두께를 나타낸다.⁽²⁾ 시료를 투과한 투과광의 세기는 $I_T = I_0 \exp(-\alpha L)$ 로 표현되고, 여기서 $J = (1 - R_F)(1 - R_B)$ 이며, 이때 R_F, R_B 는 cell 앞면과 뒷면의 반사율이다.⁽²⁾ 위의 식들을 이용해 I_0 와 I_T 를 $\Delta T/T_0$ 의 함수로 표현하면,

$$I_0 = \left[\frac{\Delta T/T_0}{1 - \exp[-\alpha_0 L \exp(\Delta T/T_0)]} \right] \frac{T_0}{A}, \quad I_T = \left[\frac{-\Delta T/T_0}{1 - \exp[\alpha_0 L \exp(\Delta T/T_0)]} \right] \frac{JT_0}{A} \quad \text{이 된다.}^{(2)}$$

여기서 I_0 와 I_T 를 임의의 단위로 계산한 것이 그림 1이며, $\alpha_0 L$ 값(detuning value)에 따라 입력과 출력사이의 특성곡선이 달라짐을 볼 수 있고, $\alpha_0 L = 0.2$ 인 경우 어떤 단일 입력에 대해 출력해가 세 개 존재하게 되는 영역이 생기게 된다.⁽²⁾ 입력세기를 증가시키게 되면 출력은 점선을 따라 이동하게 되고 이들 해 가운데 하나의 해는 불안정한 해라고 간주한다.⁽³⁾ 따라서 $\alpha_0 L = 0.2$ 인 경우에는 쌍안정현상이 일어난다고 볼 수 있다.⁽²⁾

그림 3은 10 mm 두께의 cell에 선형투과율이 30%인 탄소나노튜브 현탁액을 담고 chopping frequency를 100 Hz 로 하였을때의 입력광에 대한 출력광의 파형특성을 보여주는 것이고, 그림 4는 입력광을 x축, 출력광을 y축으로 하였을때의 오실로스코프상의 화면을 컴퓨터로 출력한 것으로, 각 축은 입력광과 출력광의 세기를 나타낸다. 그림 4에서 입력광의 세기가 증가함에 따라 출력광의 세기가 비례하여 증가하다가 입사광의 세기가 일정하게 유지될 때 출력광의 세기가 급격히 감소하여 그 상태를 유지한다. 또한 입력광이 감소하려할 때 출력광이

원래 경로로 회복되지 못하고 다른 경로로 감소함을 볼 수 있다.

그림 4에서는 뚜렷한 hysteresis loop를 확인할 수 있는데 이는 흡수형 광쌍안정 현상에서 볼 수 있는 입사광과 출력광의 전형과 일치한다.

본 연구에서는 신물질로 각광받고 있는 탄소나노튜브에서의 광쌍안정 현상을 확인할 수 있었고, 본 연구결과는 탄소나노튜브를 이용한 광스위칭 개발 연구의 기반이 될 것이다.

참고문헌

1. 이범구, 비선형광학(아르케, 서울, 2002), pp. 195-201.
2. B. S. Wherrett, F. A. P. Tooley and S. D. Smith, Opt. Comm. 52, 301 (1984).
3. G. P. Agrawal, H. J. Carmichael, Phy. Rev. A19, 2074 (1979).

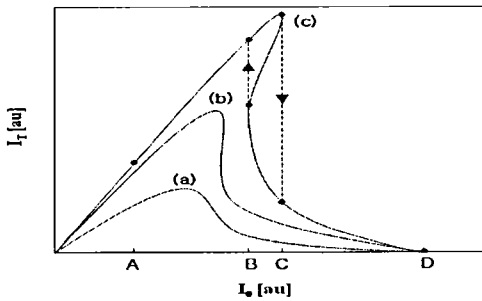


Fig. 1 Numerical calculation of the input-output characteristics of samples with detuning value of 0.06(a), 0.1(b), 0.2(c), respectively.

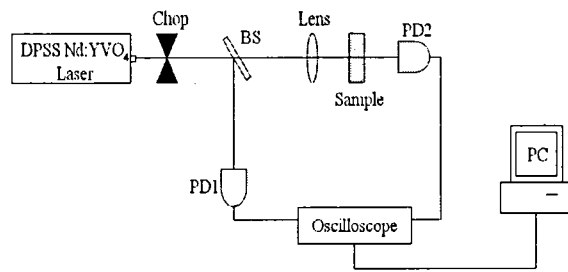


Fig. 2 The experimental setup for detecting the optical bistability in MWNT's suspension.

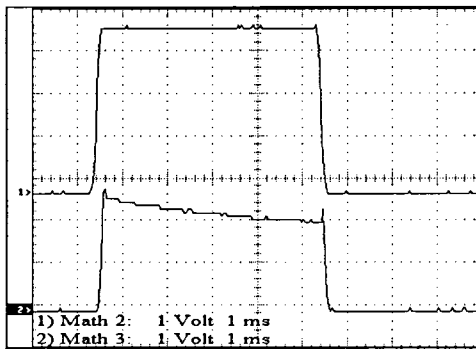


Fig. 3 The characteristic waveform of input and output in absorptive optical bistability. (1) Input, (2) Output.

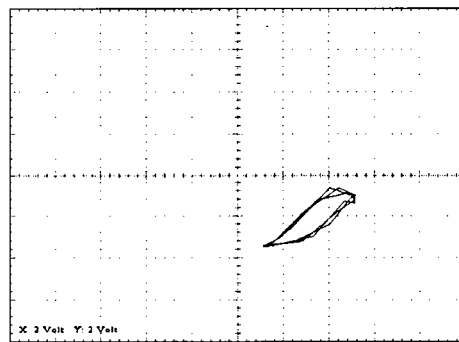


Fig. 4 The view of monitoring of the absorptive optical bistability in oscilloscope screen.