

초고밀도 광자료 저장을 위한 광학적 초해상

Optical Super-resolution for Ultrahigh Density Optical Data Storage

김명준*
아주대학교 분자과

광학 현미경의 분해능이 파장에 따른 회절에 의해 결정된다. 이것을 극복하기 위해서 나노미터까지 분해능을 향상시키기 위해서 근접장 광학이 각광을 받고 있다. 본 보고에서는 흡수 에지 근처의 위상변화 특성에 기인한 초해상을 보고한다.

이준위 근사 전자 밀도 재배치효과 계산

전기 감수율 χ 는 이 준위 근사에서 다음과 같이 주어진다.

$$\chi = c\alpha_{00}(i-T_2\Delta)/\omega_{eg}[1+(T_2\Delta)^2+|E/E_s^0|^2] \quad (1)$$

여기서 $\alpha_{00} = 2\pi\omega_{eg}|\mu_{eg}|^2T_2\Delta N^{eq}/\epsilon_0ch$

$$|E_s^0|^2 = \hbar^2/16\pi^2|\mu_{eg}|^2T_1T_2$$

T_1 : 밀도반전 반감기

T_2 : 쌍극자 위상 반감기

μ_{eg} : 천이 쌍극자 모멘트

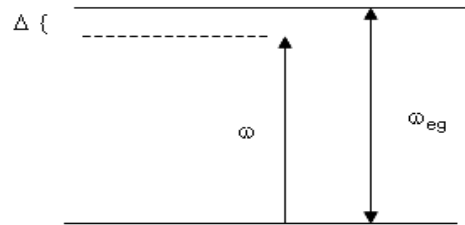


Fig. 1. 이 준위 근사의 체계도.

3차 분극은 다음과 같이 주어진다.

$$P^{(3)} = 3 \epsilon_0\chi|E|^2 E \quad (2)$$

그러므로 (1)식에서 포화 광 밀도는

아래 식으로 주어진다.

$$I\Delta s = 2\epsilon_0n_0|E_s^\Delta|^2 \quad (3)$$

여기서 $|E_s^\Delta|^2 = |E_s^0|^2 [1+(T_2\Delta)^2]$

분극은 다음과 같이 주어진다.

$$P = N\Omega |\mu_{eg}|/2[\Delta^2+T_2^2]^{1/2} \quad (4)$$

여기서 래비 주파수 $\Omega=2\pi|\mu_{eg}E|/\hbar$ 이다. 비선형 매질로서의 반도체는 밴드 갭을 지니며 전자밀도 재배치 효과를 계산하기 위한 비율 방정식은 다음과 같다.

$$dN_e/dt = -\alpha(I/h\nu)N_e - (N_e - N_e^{eq})/\tau_R \quad (5)$$

그리고

$$dI/dt = \alpha IN_e - I/\tau_p \quad (6)$$

여기서 포화 광밀도 $I_s = \epsilon_0n_0cm_eE_g\Gamma_{cv}/(e^2\tau_R)$ 는 약 $\sim KW/cm^2$ 정도이며 Γ_{cv} :는 천이선평이다.

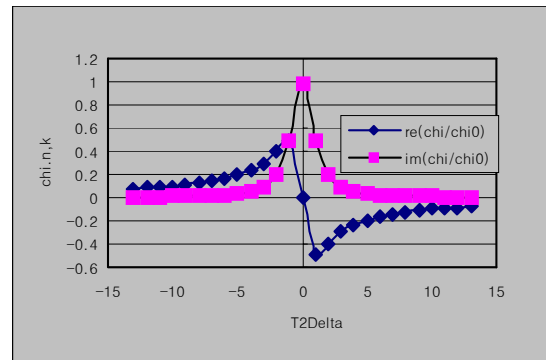


Fig. 2. 전기 감수율 χ $I/I_s=0.01$

쌍입자 광자모델

광자는 빛의 양자이며 파동의 특성을 지닌 입자로 알려져 있다. 맥스웰 방정식으로 대표되는 빛의 파동이론이 20세기의 지배적인 방정식으로 광학 연구에 활용되어 왔다.

입자 모델들은 두입자로 구성된 쌍입자 모델이 주류를 이루고 있으며 두 입자가 전기력에 의해 결속되어 있다는 전기 쌍극자 모델과 벡터 방식인 자전기 쌍극자 모델 등이 있으며 그 차이는 근본적인 힘의 연구의 차이에 불과한 상태이다. 스칼라 방식의 전기력으로는 굴절을 설명하는데 한계를 보이게 된다. 실제로 쌍극자 광자 모델이 보는 이차 조화파 발생의 근본 메카니즘은 쌍입자간 간격이 줄어들면서 주파수가 증가한다.

원편광은 전기장 벡터가 입사평면에서 두 성분의 벡터합이 원형으로 계속 변화하는 경우로 두 성분의 진폭이 정확히 같고 위상차가 90°일 경우이다. 이때 y성분의 위상이 x성분보다 90° 앞설 경우 편광상태는 시계방향으로 회전하고 이것을 좌원편광(left-circular polarization)이라고 하며, 반대로 x성분의 위상이 y성분보다 90° 앞설 경우 편광상태는 반시계방향으로 회전하며 이를 우원편광(right-circular polarization)이라고 한다. 다음 그림 3은 쌍극자 원편광 광자 모델이다.

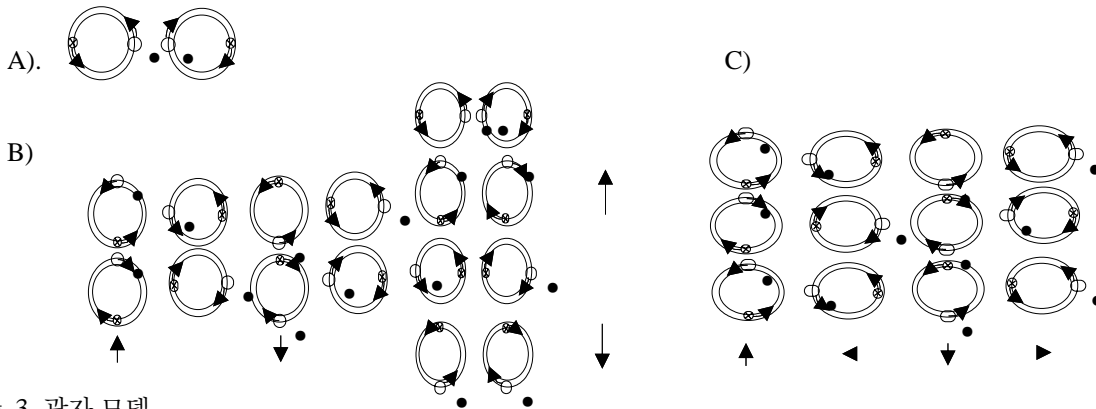


Fig. 3. 광자 모델

- A. 쌍극자 원편광 광자 모델
- B. 두쌍(복쌍) 입자 선편광 광자 모델
- C. 세쌍(삼쌍) 입자 양자 타원 편광 광자 모델

직선편광(linear polarization)은 전기장 벡터가 입사평면 내에서 특정한 방향의 직선을 그리는 경우이며 이 직선의 방향은 두 성분의 벡터합에 따라 결정한다, 타원편광(elliptical polarization)은 직선편광과 원편광이 아닌 다른 모든 경우이며 즉 합성된 전기장 벡터가 회전하면서 크기도 변하는 경우 편광상태는 타원을 그리게 되는데 이것을 타원편광이라고 한다. 사실 직선편광이나 원편광은 타원편광의 특수한 형태라 할 수 있으며, 타원편광이 편광현상의 가장 일반적인 형태이다.

광스핀 효과

태양 빛이 지구와 같은 혹성에 비스듬하게 입사하여 혹성 표면에서 빛이 반사될 때, 표면의 전자들이 스핀을 취득하는 정전기 현상을 광 스핀 효과라 합시다. 이 효과는 두 번째의 광전 효과라 할 수 있겠습니다. 특히, 일반적인 매질 계면의 굴절 현상이 이 효과 때문에 생성된 표면 자기장 때문에 빛이 휘는 현상으로 판단되며 빛의 굴절을 동력학적으로 해석하기 위해서는 MEL 방정식으로 계산하는 것이 바람직합니다.

즉, Fig. 2에서와 같이 광 계면 굴절의 근본 메카니즘이 표면(계면) 특수 강자성에 의한 자기장과 광자가 상호 작용하는 것으로 해석될 수 있습니다. 표면의 궤도 각운동 자기장이 표면 수직으로 존재하지만 실제로 굴절에 관련된 자성은 빛에 의해 표면의 전자가 스핀을 얻고 발생된 자기장입니다. 입사하는 광자는 표면자기장의 영향으로 스핀을 얻어 하전되고 MEL 방정식에 따라 감속됩니다. 표면의 자화를 델타함수를 사용하여 $M\delta(z)$ 라 할 때 자기장(자속밀도) 힘 F 는 $E = v \mu_0 M\delta(z)$ 로 주어집니다. 유효전하를 e_0 광자의 질량을 m_0 라 하면 광자의 질량과 비전

하의 결정이 필요한 대목입니다. 그것은 진동 잔류 스핀의 오프셋과 관련 있으며 자기 통일장 이론적으로는 전하는 스핀에 비례할 것입니다. 계면에서 수직입사 어노말리가 예상됩니다. Fig. 3은 자기 굴절에 따르는 계면에서의 광자의 비전하와 굴절률의 관계를 나타낸 그림으로 대부분의 투명 매질의 굴절률을 커버할 것으로 보입니다.

Fig. 4에는 표면 스핀과 굴절률의 관계 그래프가 도시되었는데 굴절률이 클수록 표면스핀이 클수록 계산의 편차를 보이고 있다.

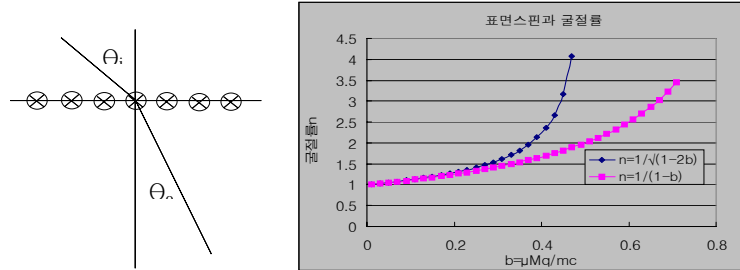


Fig. 4. 광 스핀 효과 $n = 1/\sqrt{1-2b}$ 또는 $1/(1-b)$ 여기서, $b = e_0 \mu M_0 / m_0 c$.

이러한 광스핀 효과에 기초한 비선형 굴절률의 해석은 표면스핀의 포화와 관련되고 있다. 광의 강도가 강해질수록 굴절률이 하락한다. 흡수예지 근처에서는 빛이 에너지를 표면으로 흐르는 포논에 잃는 경우에 굴절이 커질 수 있다고 본다.

1. 참고문헌

- [1] 이범구, *비선형 광학*(2000).
- [2] 김명준, OSK Summer, TP-II11, 215-216 (2008).
- [3] 김명준, 김상열, T2E5, 단양 Photonics Conference (2004).
- [4] 김명준, 김진홍, 신성철, C13, 충남대 KoMag Spring Conference, pp.146-148 (1992).