

리득매질공진기를 리용한 방향성결합기의 동작특성

리철성, 임성진

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《물리학을 선차적으로 발전시켜야 합니다. 물리학을 선차적으로 발전시켜야 나라의 과학기술도 빨리 발전시켜나갈수 있습니다.》(《김정일전집》 제4권 410페이지)

본문에서는 리득매질공진기가 가운데 놓인 두 플라즈몬도파관사이의 간접결합을 리용한 나노방향성결합기의 동작특성을 밝혔다. 나노공진기에 의한 두 플라즈몬도파관의 강한 결합으로 하여 필요한 결합길이가 나노대역으로 작아진다.

먼저 방향성결합기의 물리적모형(그림 1)을 제안하였다. 2개의 은-공기-은도파관과 측면결합된 InGaAsP[1]를 채운 직각형공동구조를 연구대상으로 하고 초과손실보상결합상태가 $(\gamma_g - \gamma_0)/\gamma_e = 2$ 를 만족하도록 하였다.

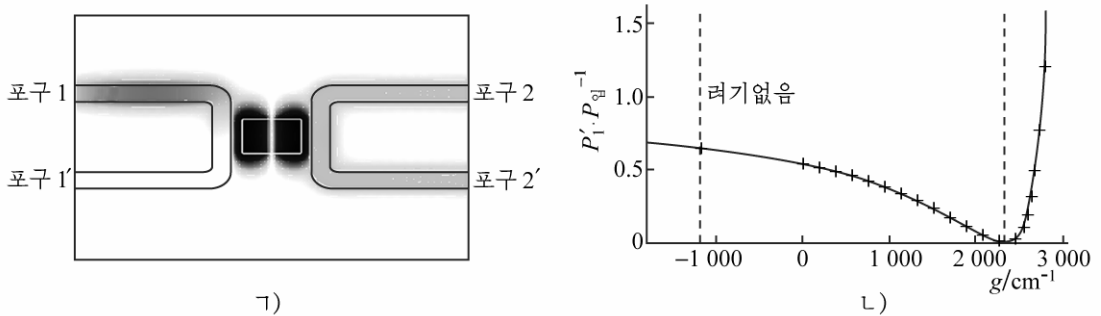


그림 1. 방향성결합기의 물리적모형에서 자기마당분포(ㄱ)와 리득결수 g 에 따르는 입사파의 세기 $P_{\text{입}}$ 으로 규격화한 포구 1'로의 출력파의 세기 P'_1 (ㄴ))

그림 1에서 공명파장이 $\lambda_0 = 1585\text{nm}$ 인 단색신호는 포구 1로만 들어온다.

진동수의준리득이행감수율 χ_g 는 두준위근사에서 다음과 같이 표시된다.[2]

$$\chi_g = g_{21} \frac{c\sqrt{\epsilon_d}}{\omega_{21}} \frac{(\omega - \omega_{21})/\Gamma_{12} - i}{1 + (\omega - \omega_{21})^2/\Gamma'^2} \quad (1)$$

여기서 ω_{21} 은 리득이행선중심진동수, Γ_{12} 는 리득매질이행선폭, g_{21} 은 선중심리득결수, Γ' 는 강한마당리득이행선폭이다.

충분히 센 전기마당인 경우 g_{21} , Γ' 는 다음과 같이 표시된다.

$$g_{21} = \frac{g_{21}^0}{1 + |E|^2/|E_0^s|^2}, \quad \Gamma' = \Gamma_{12}(1 + |E|^2/|E_0^s|^2)^{1/2} \quad (2)$$

여기서 E_0^s 는 선중심포화마당세기, g_{21}^0 은 약한 전기마당에서 선중심리득결수이다.

모형에서는 리득매질이행선폭을 $\Gamma_{12} = 5 \times 10^{13}\text{s}^{-1}$ 으로 하고 신호가 충분히 약하므로 $\Gamma' = \Gamma_{12}$ 로 가정하였다. 러기가 없는 경우는 InGaAsP에 흡수된 경우이고 리득결수는

$g = -\omega \text{Im} \varepsilon / c \sqrt{\text{Re} \varepsilon}$ [3]으로부터 유전률 $\varepsilon = 11.38 + 0.1i$ 에 대응하는 $g_{12} = -1230 \text{cm}^{-1}$ 으로 설정하였다.

이때 출력파세기는 진동수구역에서 막스웰방정식을 수값적으로 풀어 계산하였다.

그림 1의 ㄱ)에 자기마당분포에서 적당한 러기속도-리득결수 $g = 1230 \text{cm}^{-1}$ 에서의 방향성결합기의 물리적모형과 자기마당분포를 보여주었다. 만일 포구 1'로 출력신호를 받으면 이때 그 신호는 포구 2 혹은 2'에서의 입력신호에 의한것이다. 이것은 광학망에서 쓰이는 4포구방향성결합기특성의 하나인 강제투과와 접수를 보여준다.

그림 1의 ㄴ)에 리득결수 g 에 따르는 입사파의 세기 $P_{\text{입}}$ 으로 규격화한 포구 1'로의 출력파의 세기 P_1' 를 보여주었다. 이때 리득결수는 러기속도의 변화로 조절할수 있다. 러기가 없는 경우(그림 1의 ㄴ)에서 왼쪽 점선) 상당히 큰 P_1' 는 금속의 강한 흡수와 러기가 없는 InGaAsP사이의 약한 결합에 의한것이다. 초과손실보상결합상태 $(\gamma_g - \gamma_0)/\gamma_e = 2$ 에 대응한 리득결수 $g = 2230 \text{cm}^{-1}$ 에서 P_1' 는 령으로 된다.(그림 1의 ㄴ)에서 오른쪽 점선) 완전모의결과(십자선)와 시간결합모드리론에 기초하여 한번수함수로 맞춘 곡선(실선)이 완전히 일치한다.

다음으로 초과손실보상결합상태에서 계의 시간응답을 보면 임펄스폭이 2, 1ps인 경우 포구 2를 통한 초단플라즈몬임펄스의 방향성결합은 효과적으로 나타나며 포구 1'로의 불필요한 결합은 거의나 존재하지 않는다. 2ps인 경우에 포구 2를 통한 출력임펄스는 입력임펄스와 모양과 출력이 거의 일치한다. 1ps의 경우에는 출력임펄스와 입력임펄스의 모양이 약간 차이하며 500fs인 경우에는 그 차이가 상당해진다. 이것이 바로 공명방향성결합의 극한대역이다.

입력임펄스에 대한 물리적모형의 시간응답은 그림 2와 같다.

그림 2에서 ㄱ), ㄴ), ㄷ)의 점선은 포구 1'로 나오는 출력임펄스를, ㄴ), ㄹ), ㄷ)는 포구 2로 나오는 출력임펄스를 보여준다. 실선은 포구 1로 들어가는 입력임펄스를 보여준다.

공명방향성결합의 띠폭은 유일한 파라메터감쇠율 γ_e 에 의해서만 결정되며 그것은 나

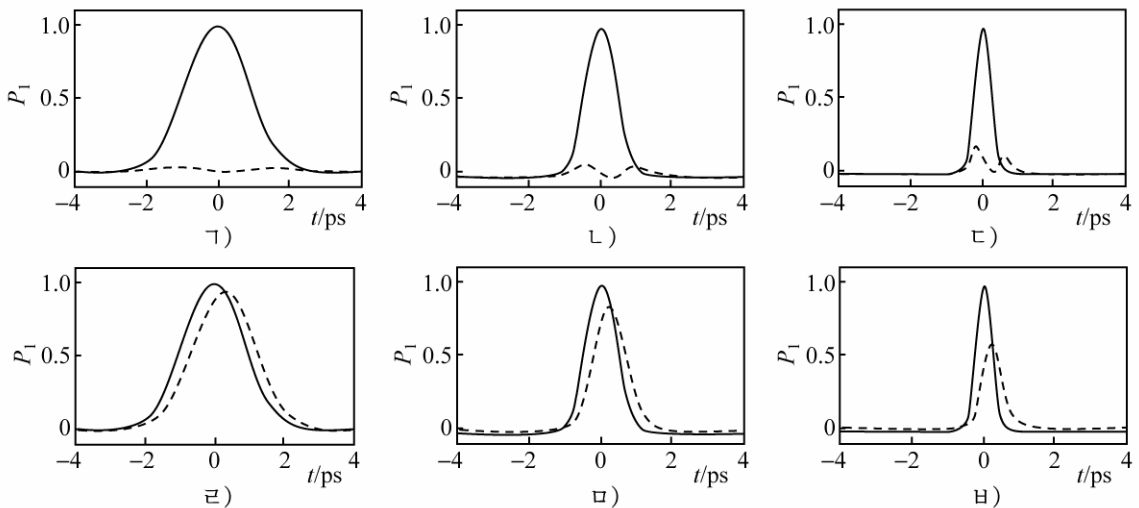


그림 2. 입력임펄스에 대한 물리적모형의 시간응답($\lambda_0 = 1585 \text{nm}$)

ㄱ)와 ㄴ), ㄴ)와 ㄹ), ㄷ)와 ㄷ)는 각각 임펄스폭이 2ps, 1ps, 500fs 인 경우

노공동과 도파관사이의 틈크기 d 로만 변화시킬수 있다. 보다 작은 틈크기는 보다 큰 락을 결정한다. 여기서 우리는 1nm아래의 틈크기에서의 랑자효과와 10nm아래의 틈크기에서 현저히 나타나는 화학적면감쇠를 언급하지 않았다. 왜냐하면 틈크기는 기술적인 문제로 하여 크게 제한받기때문이다. 초과손실보상결합상태 $(\gamma_g - \gamma_0)/\gamma_e = 2$ 를 만족시키기 위한 리득 결수값은 틈크기를 작게 할수록 점점 커지며 기술적으로 실현할수 있는 값을 넘게 된다.

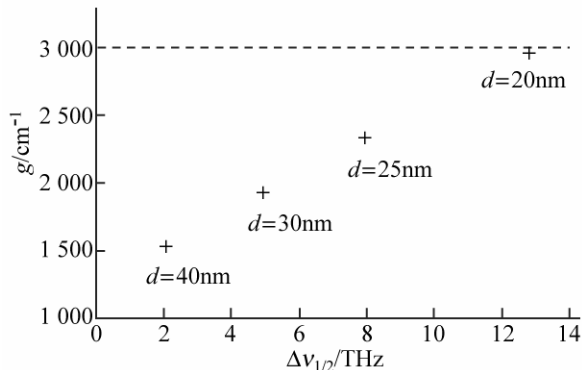


그림 3. 서로 다른 틈크기 d 에 따르는 공명방향성 결합의 대역폭과 초과손실보상상태리득결수

서로 다른 틈크기 d 에 따르는 공명방향성결합의 대역폭과 초과손실보상상태리득결수사이의 관계는 그림 3과 같다.

그림 3에서 보는바와 같이 공명방향성결합에서 대역폭의 증가와 함께 초과손실보상의 리득결수도 함께 증가한다.

현재 기술적한계인 3000cm^{-1} 이하에서 가능한 틈크기는 20nm이다. 위의 모형에서는 리득결수 2230cm^{-1} 에 해당하는 틈크기를 25nm로 설정하였다.

맺 는 말

나노공동을 통한 두 도파관의 간접결합은 리득매질의 러기를 통하여 능동적으로 조종할수 있다. 적당한 러기속도의 초과손실보상결합상태에서 이 구조는 나노크기의 초고속방향성결합특성을 나타낸다. 모형은 $300\text{nm} \times 300\text{nm}$ 의 광학파장이하의 크기를 가지고 THz대역폭과 매 임펄스당 0.1fJ정도의 저에너지손실을 나타낸다. 모두 실제적파라미터를 리용하였고 이 방법의 현실성은 현재의 재료 및 기술적요구에 부합된다.

참 고 문 헌

- [1] Z. F. Veronis et al.; Appl. Phys. Lett., **92**, 041117, 2008.
- [2] S. Maier; Plasmonics Fundamentals and Applications., Springer, 73~77, 2007.
- [3] K. S. Ho et al.; Opt. Express, **41**, 3739, 2016.

주제107(2018)년 6월 5일 원고접수

The Operating Characteristics of a Directional Coupler Using a Gain Material Resonator

Ri Chol Song, Im Song Jin

We analyzed the dynamic characteristics of a new directional coupler by using indirect coupling between two waveguides via an in-between loss-overcompensated state nanoresonator.

Key words: nanostructure, loss-overcompensated state, resonant directional coupling