



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호

10-2013-0005737

(43) 공개일자

2013년01월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G02B 27/10 (2006.01) G02B 26/06 (2006.01)

G02B 26/02 (2006.01) G02B 6/26 (2006.01)

(21) 출원번호

10-2011-0067318

(22) 출원일자

2011년07월07일

심사청구일자

2011년07월07일

(71) 출원인

조선대학교산학협력단

광주광역시 동구 서석동 375 조선대학교 내

(72) 발명자

안태정

광주광역시 광산구 첨단중앙로68번길 100, 호반3차 312동 102호 (산월동)

정희석

광주광역시 북구 북문대로159번길 39, 103동 315호 (운암동, 일신아파트)

(74) 대리인

특허법인 누리

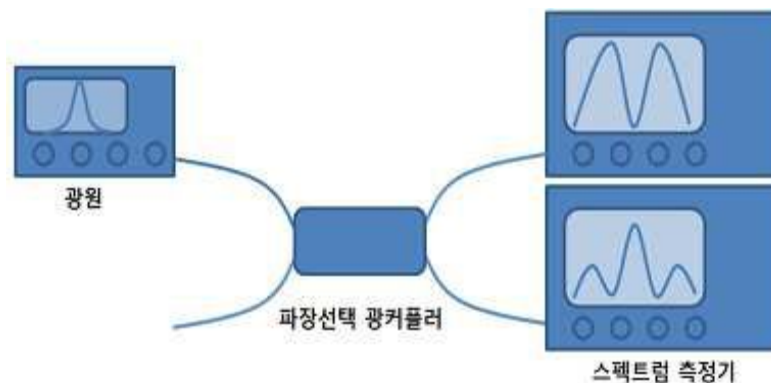
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **도파로 광커플러를 이용한 광미분기**

(57) 요약

본 발명에 따른 도파로 광커플러를 이용한 광미분기는 서로 다른 광섬유를 이용하여 비대칭 광커플러를 제작하고 각 광섬유의 코어 간 간격, 각 광섬유의 코어 사이즈, 각 광섬유의 굴절률의 변화에 따라 사용자가 원하는 파장 영역에서 커플링 되는 파장을 조절할 수 있는 파장선택 광커플러를 이용하거나, 동일 도파로로 구성된 광커플러를 제작하여 커플링 계수와 커플러 길이의 변화에 따라 사용자가 원하는 파장 영역에서 커플링 되는 파장을 조절할 수 있는 광섬유 광커플러를 이용하는 것을 특징으로 한다.

대 표 도 - 도16



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 K205671002

부처명 교육과학기술부 한국연구재단

연구사업명 신진연구과제

연구과제명 파장가변 광미분기 개발

주관기관 조선대학교

연구기간 2009.05.01 ~ 2011.04.30

특허청구의 범위

청구항 1

서로 다른 광섬유를 이용하여 비대칭 광커플러를 제작하고 각 광섬유의 코어 간 간격, 각 광섬유의 코어 사이즈, 각 광섬유의 굴절률의 변화에 따라 사용자가 원하는 파장 영역에서 커플링 되는 파장을 조절할 수 있는 파장선택 광커플러를 이용하는 것을 특징으로 하는 도파로 광커플러를 이용한 광미분기.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 비대칭 광커플러의 전달함수는

$$H_1 \approx \left[\cos(\kappa L) - j \frac{\Delta\beta}{\kappa} \sin(\kappa L) \right] \exp(-j\beta_1 L)$$

$$H_2 \approx -j \left\{ \sin(\kappa L) + \frac{\Delta\beta^2}{2\kappa^2} [\kappa L \cos(\kappa L) - \sin(\kappa L)] \right\} \exp(-j\beta_2 L)$$

인 것을 특징으로 하는 도파로 광커플러를 이용한 광미분기.

(κ : 커플링 계수, L : 커플러 길이, $\Delta\beta$: 두 광섬유의 전파상수의 차이)

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 전달함수의 κL 값이 $\pi/2$ 인 경우 상기 비대칭 광커플러는 1차 미분 기능을 하고, κL 값이 π 인 경우 상기 비대칭 광커플러는 2차 미분 기능을 하는 것을 특징으로 하는 도파로 광커플러를 이용한 광미분기.

청구항 4

제 2 항에 있어서,

상기 비대칭 광커플러의 전달함수의 대역폭은

$$\Delta\nu_{3dB} = \frac{cp}{L\eta\lambda_0^2}$$

의 식으로 나타낼 수 있으며, 상기 비대칭 광커플러의 미분 대역폭은 커플링 길이(L)와 전파상수 기울기 차(η)에 반비례하는 것을 특징으로 하는 도파로 광커플러를 이용한 광미분기.

(L : 커플링 길이, c : 자유공간에서의 광속, λ_0 : 커플러 전달함수의 중심파장, η : 커플러의 각 도파로에 해당하는 전파상수의 기울기 차(단위는 μm^{-2}), p : 커플링 길이(L)와 기울기(η)에 대해 산술적으로 계산된 3dB 대역폭을 피팅한 곡선에 의해 얻은 파라미터 값)

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 파장선택 광커플러는 코어와 클래드의 굴절률의 변화에 따라 커플링 파장을 변조할 수 있는 것을 특징으로 하는 도파로 광커플러를 이용한 광미분기.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 파장선택 광커플러는 실리콘유리계, 폴리머로 제작되는 것을 특징으로 하는 도파로 광커플러를 이용한 광

미분기.

청구항 7

동일 도파로로 구성된 광커플러를 제작하여 커플링 계수와 커플러 길이의 변화에 따라 사용자가 원하는 파장 영역에서 커플링 되는 파장을 조절할 수 있는 광섬유 광커플러를 이용하는 것을 특징으로 하는 도파로 광커플러를 이용한 광미분기.

청구항 8

제 7 항에 있어서, 광섬유 광커플러의 전달함수는

$$H_1 = \cos(CL)$$

$$H_2 = -j\sin(CL) \quad \text{이고,}$$

상기 전달함수의 광섬유 광커플러의 커플링 계수 $C(z)$ 는

$$C(z) = \frac{\sqrt{\sigma} U^2(z) K_0(Wd/a)}{b V^2(z) K_1^2(W)} \quad \text{인 것을 특징으로 하는 도파로 광커플러를 이용한 광미분기.}$$

($\sigma = -1 + (n_{\text{clad}} / n_{\text{air}})^2$, n_{clad} : 클래딩의 굴절률, n_{air} : 공기의 굴절률, a : 코어 반경, d : 두 광섬유의 간격, $U(z)$, $V(z)$, $W(z)$ 는 정규화된 주파수, K : 베셀함수, b : 커플링 영역의 반경, L : 커플러의 길이)

청구항 9

제 7 항에 있어서,

상기 광섬유 광커플러는 코어와 클래드의 굴절률의 변화에 따라 커플링 파장을 변조할 수 있는 것을 특징으로 하는 도파로 광커플러를 이용한 광미분기.

청구항 10

제 7 항에 있어서,

상기 광섬유 광커플러는 실리카유리계, 폴리머로 제작되는 것을 특징으로 하는 도파로 광커플러를 이용한 광미분기.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 광미분기에 대한 것으로서, 더욱 상세하게는 제작조건에 따라 1, 2차 미분이 가능하고 제작이 용이하며 파장선택성이 개선된 도파로 광커플러를 이용한 광미분기에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 전기신호처리기술이 발전함에 따라 컴퓨터나 IT 제품을 활용한 신호처리기술이 지속적으로 발전하고 있고 기존의 컴퓨터나 네트워크상에서 전기신호처리기술에 의해 전자 계산이 이루어지는데, 이 경우 계산 및 처리 속도의 근본적인 한계를 가진다. 최근에 새로운 신호처리기술개발을 통한 계산 및 처리속도한계를 극복하기 위해 광학 회로(all-optical circuit), 광컴퓨팅(all-optical computing), 광학회로(all-optical circuit)와 광학소자(optical component)를 결합한 광신호처리(all-optical signal processing)기술에 대한 관심이 높아지고 있다.

[0003] 저항 및 트랜지스터와 같은 전자부품을 결합하여 전기적인 미분기 또는 적분기 같은 전자계산기를 만들어 이용하듯, 다양한 광신호처리(all-optical signal processing) 기술을 이용하면 초고속 계산이 가능하다.

- [0004] 빛을 이용한 광신호처리기술은 광학회로 및 광학소자를 이용하여 전기신호처리기술과 같은 방법으로 광미분기(all-optical differentiator), 광적분기(all-optical integrator), 광펄스 모양형성(optical pulse shaping) 등을 만들어 광신호처리가 가능하다.
- [0005] 특히 광미분기는 광컴퓨팅 뿐만 아니라 입력 광펄스의 위상 측정 및 모양형성 등 다양한 분야에 응용할 수 있는 기본 단위 기술로서 최근 광섬유격자, 광간섭계, 광변조기 등 다양한 방법이 제안되었고 전기신호 대신 광신호를 사용하기 때문에 계산 및 처리속도가 전기신호처리보다 현저히 빠르다는 장점이 있다.
- [0006] 하지만 기존의 광미분기는 다음과 같은 문제점이 있다.
- [0007] 첫째로, 기존의 장주기 광섬유 격자(long period fiber grating, LPG) 기반 광미분기는 LPG 소자를 미분기로 사용하는 방식이다. 하지만 LPG 소자는 제작이 어려워 대량생산이 용이하지 않으며, 1차 광미분만 가능한 단점이 있다.
- [0008] 둘째로, 기존의 장주기 광섬유 격자(long period fiber grating, LPG)를 이용한 광미분기는 인장력을 이용해서 중심 파장을 조금 조절할 수 있지만, 근본적인 파장 가변 광미분기로는 어려움이 있다. 따라서 파장 대역폭이 서로 다른 입력 펄스에 대해서 적용이 가능한 파장 영역 가변 광미분기의 개발이 필요한 실정이다(광미분기의 가변 가능한 파장 영역 한계(wavelength tunability limitation)).
- [0009] 셋째로, 장주기 광섬유 격자(long period fiber grating, LPG)와 광간섭계 광미분기는 모두 사용 가능한 파장 대역에 고정되어 있기 때문에 입력되는 광펄스의 대역폭이 광미분기의 대역폭보다 넓을 경우 완전하게 미분되지 않는다. 따라서 입력되는 펄스의 대역폭에 맞게 대역폭 가변이 가능한 광미분기의 개발이 필요하다(광미분기의 파장 대역폭 가변의 어려움(bandwidth tunability limitation)).
- [0010] 넷째로, 광미분기의 중요한 요건 중에 하나는 광미분기의 중심 파장에서 최대 손실이 발생해야 한다는 것이다. 만약 조금이라도 빛이 존재하면 전달함수에서 잔존하는 DC성분 때문에 완벽한 미분을 얻을 수 없다. 따라서 광미분기의 중심 파장에서 최소 -50dB 이상의 광학 손실을 발생시켜야 한다. 이러한 값을 가진 장주기 광섬유 격자(long period fiber grating, LPG) 제작은 쉽지 않고, 광간섭계의 경우 완벽한 visibility를 가져야 가능한데 광간섭계는 외부 환경 변화에 민감한 불안정한 시스템이기 때문에 역시 쉽지 않다. 따라서 안정적으로 최대 손실을 발생시킬 수 있는 광미분기의 개발이 필요하다(광미분기의 중심파장에서 최소 -50dB 이상의 광학 손실을 발생시켜야 함(maximum visibility limitation)).

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0011] 본 발명은 상기와 같은 점을 감안하여 안출된 것으로서, LPG(장주기 광섬유 격자) 소자보다 제작이 쉽고 대량생산이 가능하며, 제작조건에 따라 1, 2차 미분이 가능하며 파장선택성이 좋은 도파로 광커플러를 이용한 광미분기를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0012] 상기와 같은 목적을 달성하기 위해 제공되는 본 발명의 일 실시 예에 따른 도파로 광커플러를 이용한 광미분기는 서로 다른 광섬유를 이용하여 비대칭 광커플러를 제작하고 각 광섬유의 코어 간 간격, 각 광섬유의 코어 사이즈, 각 광섬유의 굴절률의 변화에 따라 사용자가 원하는 파장 영역에서 커플링 되는 파장을 조절할 수 있는 파장선택 광커플러를 이용하는 것을 특징으로 한다.

[0013] 여기서, 상기 비대칭 광커플러의 전달함수는

$$H_1 \approx \left[\cos(\kappa L) - j \frac{\Delta\beta}{\kappa} \sin(\kappa L) \right] \exp(-j\beta_1 L)$$

$$H_2 \approx -j \left\{ \sin(\kappa L) + \frac{\Delta\beta^2}{2\kappa^2} [\kappa L \cos(\kappa L) - \sin(\kappa L)] \right\} \exp(-j\beta_2 L)$$

[0014]

[0015] 인 것이 좋다. (k : 커플링 계수, L : 커플러 길이, $\Delta\beta$: 두 광섬유의 전파상수의 차이)

[0016] 또한, 상기 전달함수의 kL값이 $\pi/2$ 인 경우 상기 비대칭 광커플러는 1차 미분 기능을 하고, kL값이 π 인 경우 상기 비대칭 광커플러는 2차 미분 기능을 하는 것이 바람직하다.

[0017] 그리고, 상기 비대칭 광커플러의 전달함수의 대역폭은

$$\Delta\nu_{3dB} = \frac{cp}{L\eta\lambda_0^2}$$

[0018]

[0019] 의 식으로 나타낼 수 있으며, 상기 비대칭 광커플러의 미분 대역폭은 커플링 길이(L)와 전파상수 기울기 차(η)에 반비례하는 것이 바람직하다. (L : 커플링 길이, c : 자유공간에서의 광속, λ_0 : 커플러 전달함수의 중심파장, η : 커플러의 각 도파로에 해당하는 전파상수의 기울기 차(단위는 μm^{-2}), p : 커플링 길이(L)와 기울기(η)에 대해 산술적으로 계산된 3dB 대역폭을 피팅한 곡선에 의해 얻은 파라미터 값)

[0020] 또한, 상기 파장선택 광커플러는 코어와 클래드의 굴절률의 변화에 따라 커플링 파장을 변조할 수 있으며, 상기 파장선택 광커플러는 실리카유리계, 폴리머로 제작되는 것이 바람직하다.

[0021] 상기와 같은 목적을 달성하기 위해 제공되는 본 발명의 다른 실시 예에 따른 도파로 광커플러를 이용한 광미분기는 동일 도파로로 구성된 광커플러를 제작하여 커플링 계수와 커플러 길이의 변화에 따라 사용자가 원하는 파장 영역에서 커플링 되는 파장을 조절할 수 있는 광섬유 광커플러를 이용하는 것을 특징으로 한다.

[0022] 여기서, 광섬유 광커플러의 전달함수는

$$H_1 = \cos(CL)$$

$$H_2 = -j\sin(CL) \quad \text{이고,}$$

[0023]

[0024] 상기 전달함수의 광섬유 광커플러의 커플링 계수 C(z)는

$$C(z) = \frac{\sqrt{\sigma} U^2(z) K_0(Wd/a)}{b V^2(z) K_1^2(W)}$$

인 것이 바람직하다.

[0025]

[0026] ($\sigma = -1 + (n_{\text{clad}} / n_{\text{air}})^2$, n_{clad} : 클래딩의 굴절률, n_{air} : 공기의 굴절률, a : 코어 반경, d : 두 광섬유의 간격, U(z), V(z), W(z)는 정규화된 주파수, K : 베셀함수, b : 커플링 영역의 반경, L : 커플러의 길이)

[0027] 또한, 상기 광섬유 광커플러는 코어와 클래드의 굴절률의 변화에 따라 커플링 파장을 변조할 수 있으며, 상기 광섬유 광커플러는 실리카유리계, 폴리머로 제작되는 것이 바람직하다.

발명의 효과

[0028] 본 발명에 따른 도파로 광커플러를 이용한 광미분기에 의하면, 파장선택 광커플러 광미분기의 경우 제작 조건에 맞춘 설계 구조에 따라 1차 미분과 2차 미분의 기능을 가지며, 광커플러의 제작이 용이하고 대량생산이 쉬우며 기존 광미분기에 비해 파장선택성이 좋은 장점이 있다.

[0029] 또한, 광섬유 광커플러 광미분기의 경우 일반적인 광커플러로서 대중적으로 사용되고 있고 광커플러 제작 시 미

분의 기능을 가지도록 변수를 설정하여 제작하게 되면 용이하게 광미분기 소자로 사용이 가능한 장점이 있으며, 기존 광미분기에 비해 제작이 쉬우며 파장선택성이 좋기 때문에 광미분기로서 다양하게 응용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0030]

- 도 1은 광미분(optical differentiation)의 개념을 나타낸 도면,
- 도 2는 광미분기의 전달함수(TF)을 나타낸 도면,
- 도 3은 광미분(optical differentiation)의 원리를 나타낸 도면,
- 도 4는 파장선택 광커플러(2×2) 개요를 나타낸 도면,
- 도 5는 광커플러 미분기의 개념을 나타낸 도면,
- 도 6은 R-SOFT를 이용하여 설계된 파장선택 광커플러를 나타낸 도면,
- 도 7은 R-SOFT 파장선택 광커플러 전달함수를 나타낸 도면,
- 도 8은 R-SOFT 파장선택 광커플러 광분포 wireframe모드(좌), slice모드(우)를 나타낸 도면,
- 도 9는 입력되는 Super Gaussian 펄스를 나타낸 도면,
- 도 10은 광커플러 미분기의 1차 미분을 나타낸 도면,
- 도 11은 광커플러 미분기의 2차 미분을 나타낸 도면,
- 도 12는 Super Gaussian 펄스(점선), 1차미분(실선), 수학적1차미분(○)을 나타낸 도면,
- 도 13은 Super Gaussian 펄스(점선), 2차미분(실선), 수학적2차미분(○)을 나타낸 도면,
- 도 14는 1차 및 2차 광미분기에서 커플링길이(L)에 따른 대역폭변화를 나타낸 도면,
- 도 15는 1차 및 2차 광미분기의 커플링기울기에 따른 대역폭변화를 나타낸 도면,
- 도 16은 파장선택 광커플러를 이용한 미분기실험 개요를 나타낸 도면,
- 도 17은 CL 980-20, SMF-28e+를 이용하여 제작된 이중파장선택 광커플러를 나타낸 도면,
- 도 18은 측정된 파장선택 광커플러의 스펙트럼, 입력펄스 스펙트럼(빨강), 출력펄스 스펙트럼(검정), 입력펄스-출력펄스(녹색)를 나타낸 도면,
- 도 19는 파장선택 광커플러의 스펙트럼 특성을 나타낸 도면,
- 도 20은 파장선택 광커플러의 스펙트럼 변화를 나타낸 도면,
- 도 21은 파장선택 광커플러의 굴절률 변화에 따른 파장변화를 나타낸 도면,
- 도 22는 R-SOFT로 설계된 광섬유 광커플러 디자인을 나타낸 도면,
- 도 23은 설계된 광미분기용 광커플러의 전달함수를 나타낸 도면,
- 도 24는 Super Gaussian 펄스를 나타낸 도면,
- 도 25는 광커플러 미분기의 1차 미분 전달함수(검정), Super Gaussian 펄스의 스펙트럼(빨강)을 나타낸 도면,
- 도 26은 확대된 광커플러 미분기의 1차 미분 전달함수(검정), Super Gaussian 펄스의 스펙트럼(빨강)을 나타낸 도면,
- 도 27은 광커플러를 이용한 1차 미분(실선), 수학적 미분(○)을 나타낸 도면,
- 도 28은 R-SOFT로 설계한 광섬유 광커플러의 광분포 wireframe 모드(좌), slice 모드(우)를 나타낸 도면,
- 도 29는 광섬유 광커플러를 이용한 미분기실험 개요를 나타낸 도면,
- 도 30은 SMF-28e+를 이용하여 제작된 광섬유형 광커플러를 나타낸 도면,

도 31은 광섬유 광커플러 스펙트럼 Test-1(좌), Test-2(우)를 나타낸 도면,
 도 32는 광섬유 광커플러 스펙트럼 Test-3(좌), Test-4(우)를 나타낸 도면,
 도 33은 광섬유 광커플러 스펙트럼 Test-1(좌), Test-2(우)를 나타낸 도면,
 도 34는 광섬유 광커플러 스펙트럼 Test-3(좌), Test-4(우)를 나타낸 도면,
 도 35는 광섬유 광커플러의 스펙트럼 변화를 나타낸 도면, 및
 도 36은 광섬유 광커플러의 굴절률 변화에 따른 파장변화를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0031] 본 발명의 상기와 같은 목적, 특징 및 다른 장점들은 첨부도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 예를 상세히 설명함으로써 더욱 명백해질 것이다. 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시 예에 따른 도파로 광커플러를 이용한 광미분기를 상세히 설명하기로 한다.
- [0032] 광미분기에 대한 기본적인 동작 원리는 다음과 같다. 수학적으로 미분(differentiation)은 임의의 함수($f(x)$)의 각 변위(x)에 대한 기울기(df/dx)로 정의된다. 광미분기(optical differentiator)는 시간 상에서 짧은 폭을 가진 광펄스(optical pulse)의 전기장(electric field)을 미분한다. 도 1은 광미분의 개념을 설명한 것이다. 입력된 광펄스는 광미분 기능을 가진 특정한 광학 소자 또는 시스템인 광미분기(all-optical differentiator)를 통과한 후 미분된 전기장(electric field)과 위상(phase)을 가진 광펄스로 출력된다. 시간상의 미분을 주파수 영역(frequency domain)에서 보면 미분된 전기장은 광미분기의 전달함수(transfer function, TF)와 입력된 광펄스 스펙트럼의 전기장의 곱으로 나타낼 수 있다. 수학적 유도를 통해 최종적으로 얻은 전달함수는 도 2의 왼쪽 그림과 같이 광주파수(optical frequency, ω)의 1차 함수로 표현된다. 따라서 입력 광펄스를 광주파수 1차 함수 형태의 전달함수를 가진 광미분기를 지나면 미분된 형태의 전기장을 가진 광펄스를 얻게 된다.
- [0033] 일반적으로 광소자의 특성을 실제 측정하면 전기장이 아닌 빛의 세기(intensity)로 표현된다. 얻어진 전달함수의 제곱의 형태로 광미분 기능을 가진 광미분기의 특성을 확인할 수 있으며, 이것은 포물선 함수(parabolic function)로 나타낸다(도 2의 오른쪽 그림 참조). 따라서 파장영역에서 투과 특성이 중심파장에서 0(zero)이 되며, 파장(wavelength) 또는 광주파수(optical frequency) 영역에서 포물선 함수 형태인 광학필터(optical filter)가 광미분기로 역할을 할 수 있다. 여기서 광미분기는 광컴퓨팅, 입력 광펄스의 위상 측정 및 모양성형에 사용하는 기본 단위 기술을 의미한다.
- [0034] 이렇게 특정한 전달함수를 가진 광필터에 임의의 스펙트럼을 가진 광펄스를 통과시키면 미분된 스펙트럼을 가진 시간상에서 미분된 광펄스를 얻을 수 있다(도 3 참조).
- [0035] 본 발명에서 광커플러는 두개의 광도파로가 서로 근접할 경우 일부 빛이 다른 도파로로 넘어가게 하는 광소자를 의미한다.
- [0036] 여기서 파장선택 광커플러는 실리카유리계, 폴리머 등으로 제작되는 것이 바람직하다.
- [0037] 본 발명에 일 실시 예에 따른 파장선택 광커플러(wavelength-selective directional coupler)는 상기의 광학 선형필터로서 기능한다. 파장선택 광커플러는 서로 다른 광섬유를 가지고 제작되며 도 4에서처럼 두 광섬유의 코어간 간격(d_0)과 광섬유의 코어 사이즈, 굴절률 등 광섬유 특성에 따라 커플링 효과가 바뀌게 된다. 이러한 여러 가지 변수를 이용하여 원하는 영역에서 커플링되는 파장을 바꿀 수 있으며 본 실험에서는 1550nm에서 커플링되는 파장선택 광커플러를 제작하였다. 제작된 광섬유를 광도파로 설계 프로그램인 R-SOFT를 이용하여 시뮬레이션을 통해 광미분기 설계 연구를 수행하였다.
- [0038] 하기 식 (1)은 비대칭 광커플러(2×2)의 전달함수식이고 도 5는 그 개념도이다. k 와 L 은 커플링 계수와 커플러 길이이고, $\Delta\beta$ 는 두 광섬유의 전파상수의 차이를 나타낸다. kL 값은 $\pi/2$ 또는 π 에 따라서 1차 미분 또는 2차 미분 기능을 한다.

$$H_1 \approx \left[\cos(\kappa L) - j \frac{\Delta\beta}{\kappa} \sin(\kappa L) \right] \exp(-j\beta_1 L)$$

$$H_2 \approx -j \left\{ \sin(\kappa L) + \frac{\Delta\beta^2}{2\kappa^2} [\kappa L \cos(\kappa L) - \sin(\kappa L)] \right\} \exp(-j\beta_2 L) \quad (1)$$

[0039]

[0040] 시뮬레이션 실험은 광학 특성을 확인할 수 있는 R-SOFT 프로그램을 이용하여 진행하였으며, 코어와 클래드의 길이, 굴절률, 간격 등 변수를 지정하여 비대칭 광커플러를 디자인하여 광커플러의 전달함수를 얻어 미분기로 사용하였다.

[0041] 도 6은 R-SOFT 프로그램을 이용하여 비대칭 광커플러를 디자인하였다. 각각의 변수를 지정하여 1550nm 파장에서 커플링 효과를 가지도록 설계하였다.

[0042] 도 7처럼 디자인된 비대칭 광커플러를 이용하여 전달함수를 구하였다. 첫 번째 광섬유(빨강)와 두 번째 광섬유(검정) 전달함수가 1550nm에서 광커플러로 작용 됨을 확인할 수 있었고 이 전달함수를 이용하여 미분기를 시뮬레이션 할 수 있다.

[0043] 도 8은 파장선택 광커플러 시뮬레이션 광 분포 결과이다. 왼쪽은 wireframe 모드로 나타낸 것이며, 입력 파이버에서 들어온 빔이 반대쪽 파이버로 커플링되는 것을 확인할 수 있다. 오른쪽은 slice 모드를 나타낸 것이며, Gaussian 펄스가 커플링영역에서 반대쪽 파이버로 커플링되는 것을 확인할 수 있다. 또한 커플링 영역의 길이에 따라 커플링과 오버커플링이 순차적으로 발생하는 것을 확인할 수 있으며, 커플링영역 길이조정을 통해 커플러 효과를 조절할 수 있다. 위에서 설명한 바와 같이 kL 값은 $\pi/2$ 또는 π 에 따라서 1차 미분 또는 2차 미분 기능을 한다. 미분기 시뮬레이션은 광커플러의 전달함수와 입력된 광펄스 스펙트럼의 전기장의 곱으로 나타낼 수 있다.

[0044] 도 9와 같은 입력된 Super Gaussian 펄스로 가정하여 시뮬레이션을 통해 얻은 전달함수와 곱하여 미분기 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션에서 사용한 Super Gaussian 광펄스는 도 10과 도 11에서처럼 가정하여 사용하였다.

[0045] R-SOFT 시뮬레이션을 통해 얻은 전달함수와 Super Gaussian 펄스를 곱하여 시뮬레이션 적으로 1차, 2차 미분된 결과를 얻었다.

[0046] 도 12는 파장선택 광커플러의 1차 미분(실선)과 입력 펄스의 수학적 1차 미분(○)을 나타낸다. 파장선택 광커플러 1차 미분과 수학적 1차 미분의 최대 오차는 ~1.98%이다.

[0047] 도 13은 파장선택 광커플러의 2차 미분(실선)과 입력 펄스의 수학적 2차 미분(○)을 나타낸다. 파장선택 광커플러 2차 미분과 수학적 2차 미분의 최대 오차는 ~2.67%이다. 여기서 광미분기로 사용되는 광커플러의 다른 쪽 출력에서는 미분되지 않은 초기 입력 펄스가 출력되며, 이것은 추후 광신호 회로에서 재활용될 수 있어 에너지 활용 측면에서 큰 장점을 가지는 기술이라 판단된다. 커플링 계수 k 는 길이의 공간 좌표에 독립적으로 가정 되어졌다. 또한 커플링 계수 k 는 파장에 대한 의존도가 전파상수의 큰 파장 의존도에 비례하여 무시되어졌다. 광미분기는 커플러 공진 주파수 ω_0 근처에서 제한된 대역폭이 달성되는지 주목한다. 구체적으로 제한된 광 미분기의 작동 대역폭은 대략 3dB로 주어진다.

[0048] 도 14와 도 15는 각각 1차 미분기(원형)와 2차 미분기(사각형) 전달함수의 대역폭을, 커플링 길이에 따른 그래프($n = 0.02\mu m^{-2}$)와 커플링 기울기 η 에 따른 그래프($L = 8mm$)를 나타내었다. 파장선택 광커플러에서 THz단위에서의 스펙트럼 반응의 3dB 대역폭은, 도 14, 도 15에 표시된 데이터들을 피팅한 비선형 곡선으로부터 근사적으로 다음의 식 2과 같이 표현될 수 있다.

$$\Delta\nu_{3dB} = \frac{cp}{L\eta\lambda_0^2} \quad \text{---(2)}$$

[0049]

[0050] 여기서 L 은 커플링 길이, c 는 자유공간에서의 광속, λ_0 는 커플러 전달함수의 중심파장, 커플링 기울기 η 는 커

플러의 각 도파로에 해당하는 전파상수의 기울기 차이(단위는 μm^{-2}), p 는 커플링 길이(L)와 기울기(n)에 대해 산술적으로 계산된 3dB 대역폭을 피팅한 곡선에 의해 얻은 파라미터 값이다. 그림에 보여진 결과를 보면 제안된 커플러 장치의 미분 대역폭은 커플링 길이(L)와 전파상수 기울기 차(n)에 반비례한다. 상기 식의 커플링 길이와 커플링 기울기에 따른 $p = 3.5$ 의 1차 미분과 $p = 6.5$ 의 2차 미분의 계산된 대역폭 또한 도 14에 실선으로 표시했다. 커플러들이 L , n , λ_0 에 대해 같은 파라미터를 가졌다고 가정했을 때, 2차 미분기의 대역폭이 1차 미분기의 것보다 약 1.86배 더 크다. 이러한 결과들로 증명됐듯이, 가장 좋은 케이스인 LPFG 기반 미분기가 제공할 수 있는 수 THz 작동 대역폭(sub-ps 영역)과 비교하여, 커플러 기반 미분기는(펨토초 영역에 대응되는) 수십 THz 범위에서의 작동 대역폭을 쉽게 제공할 수 있다.

[0051] 실제 미분기능이 있는 파장선택 광커플러를 제작하여 시뮬레이션 데이터와 일치하는지 실험을 진행하였다. 이중 파장선택 광커플러는 두 광섬유의 전파상수(propagation constant)가 같을 경우 커플러로 사용할 수 있으며, 전파상수가 같은 싱글모드 광섬유 조합을 가지고 제작할 수 있다. 본 실험에서는 시중에 판매하는 CL980-20, SMF-28e+, HI 1060 Flex, 1060-XP 총 4종류의 광섬유를 구입하여 알맞은 전파상수 조합을 고려하여 이중 파장선택 광커플러를 제작하였다. 미분기 실험은 광원과 미분기능이 있는 파장선택 광커플러, 스펙트럼 측정기(OSA)를 도 16과 같이 구성하여 진행하였다. 광원에서 입력된 펄스가 파장선택 광커플러를 통과한 후 양쪽 광섬유로 미분된 결과가 나오게 되는데 이 결과를 스펙트럼 측정기(OSA)를 이용하여 측정하면 미분결과를 확인할 수 있다. kL 값에 따라 1차 미분된 결과와 2차 미분된 결과를 얻을 수 있다.

[0052] 도 17은 실험에 사용한 파장선택 광커플러의 모습이다. 일반 싱글모드 광섬유인 CL 980-20, SMF-28e+를 가지고 제작하였으며 1550nm에서 커플링효과를 가지게 된다.

[0053] 파장선택 광커플러를 제작하여 스펙트럼을 측정해 보았다. 도 18에서 입력펄스의 스펙트럼(빨강)은 가우시안 형태의 펄스를 사용하였다.

[0054] 도 19는 일반 싱글모드 광섬유인 CL 980-20, SMF-28e+를 이용해 제작한 파장선택 광커플러의 스펙트럼 특성이다. Isolation이 약 45dB로 측정되었다. 이것은 목표로 한 50dB에는 5dB정도 모자라지만 광미분기로 사용하기에는 충분한 손실이다.

[0055] 파장선택 광커플러의 코어와 클래드의 굴절률 변화를 주면 커플링 파장을 변조할 수 있다. 첫 번째 광섬유의 초기 코어 굴절률은 1.45이고 두 번째 광섬유의 초기 코어 굴절률은 1.44이며 두 광섬유의 클래드 굴절률은 1.43으로 설정하여 -2%에서 2%까지 1%씩 변화를 주어 측정을 하였다. 위 도 20에서 나타난 것처럼 굴절률 변화를 통해 스펙트럼 변조가 가능한 것을 확인하였다.

[0056] 광섬유의 코어와 클래드의 굴절률 변화에 따라 파장 변조가 가능한 것을 확인하였고, 굴절률 변화에 따라 사용하는 파장을 자유롭게 변화시키는 것이 가능하다. 도 21에서 나타난 바와 같이, 여기서 약 60nm까지 변화되는 것을 확인하였다.

[0057] 상기의 연구결과로부터, 설계 구조에 따라 1차 및 2차 광미분을 선택할 수 있는 혁신적인 광미분기로 서로 다른 굴절률 및 코어 반경을 가진 비대칭 광섬유를 이용해서 만든 파장선택 광커플러가 광미분기로 구현이 가능함을 보였다.

[0058] 본 발명의 다른 실시 예에 따른 광섬유 광커플러(Fused fiber coupler)도 광 신호처리 기술의 여러 방법 중 광미분기에 적용할 수 있다. 파장선택 광커플러를 이용한 광미분기는 서로 다른 굴절률과 크기를 가진 두 도파로(광섬유)로 구성된 광커플러를 이용한 것인 반면, 본 실시 예에서 제안하는 것은 기존 광통신의 핵심 부품 중 하나인 동일 도파로로 구성된 광커플러를 광미분기에 적용한 것이다.

[0059] 여기서 광섬유 광커플러는 실리카유리계, 폴리머 등으로 제작되는 것이 바람직하다.

[0060] 시뮬레이션을 통해 광섬유 광커플러가 광미분기로 사용 가능한지 확인하였다.

$$C(z) = \frac{\sqrt{\sigma} U^2(z) K_0(Wd/a)}{b V^2(z) K_1^2(W)} \quad (3)$$

$$H_1 = \cos(CL)$$

$$[0061] \quad H_2 = -j \sin(CL) \quad (4)$$

[0062] 상기 식 3은 광섬유 광커플러의 커플링 계수이고, 여기서 $\sigma = -1 + (n_{\text{clad}} / n_{\text{air}})^2$, n_{clad} 와 n_{air} 는 각각 클리딩과 공기의 굴절률을 나타낸다. 그리고 a와 d는 코어 반경, 두 광섬유의 간격이다. $U(z)$, $V(z)$, $W(z)$ 는 정규화된 주파수이고, K와 b는 각각 베셀함수와 커플링 영역의 반경이다. 위의 식 4는 광섬유 광커플러(2×2)의 전달함수이며, C와 L은 커플러의 커플링 계수와 커플러의 길이이다. 커플링 계수와 커플러의 길이의 변화를 주어 시뮬레이션으로 특정파장에서 광커플러를 만들 수 있다.

[0063] 도 22는 R-SOFT 프로그램을 이용하여 설계한 광미분기용 광커플러의 디자인이다. 커플링 계수와 커플러 길이의 변화를 주어 1550nm 파장에서 커플링 효과를 가지도록 설계하였다.

[0064] 도 23처럼 디자인된 광커플러를 이용하여 전달함수를 구하였다. 파장이 1550nm인 지점(약 193THz)에서 광커플러로 작용됨을 확인할 수 있었고, 이 전달함수를 이용하여 미분기를 시뮬레이션 할 수 있다. 위에서 설명한 바와 같이 광커플러의 전달함수와 입력된 광펄스 스펙트럼의 전기장의 곱으로 나타낼 수 있다. 입력 펄스를 Super Gaussian 형태를 가진 광펄스로 가정하여 시뮬레이션을 통해 얻은 전달함수와 곱하여 미분기 시뮬레이션을 진행하였다.

[0065] 시뮬레이션에서 사용한 Super Gaussian 광펄스는 도 24에서처럼 가정하여 진행하였다. R-SOFT 시뮬레이션을 통해 얻은 광커플러 전달함수와 Super Gaussian 광펄스를 도 25과 같이 곱하였다.

[0066] 도 25는 광커플러의 1차 미분 전달함수와 Super Gaussian 펄스의 중심파장을 일치하게 위치시킨 모습이다. Super Gaussian 펄스는 시간 영역에서 Fourier 변환을 통해 주파수 영역으로 변환하였다. 도 26은 도 25를 확대한 모습이며, 광커플러의 전달함수가 Super Gaussian 펄스의 중심파장을 통과하는 것을 확인하였다. 이처럼 입력 펄스와 미분기능이 있는 광커플러의 전달함수가 곱해지면 1차 미분이 가능하게 된다.

[0067] 입력 펄스의 스펙트럼을 미분기의 전달함수와 곱한 후 역 Fourier 변환을 통해 시간함수를 얻어 미분된 결과를 나타냈다. 도 27은 광커플러를 이용한 시뮬레이션 1차 미분(실선)과 수학적 미분(○)은 입력펄스를 수학적으로 미분한 모습이다. 본 결과를 통해 입력된 펄스의 수학적 미분과 광커플러를 이용한 광미분을 비교한 결과, 두 미분 결과가 잘 일치하는 것을 확인하였다.

[0068] 또한 도 28은 광커플러 시뮬레이션 광 분포 결과이다. 왼쪽은 wireframe 모드로 나타낸 것이며, 입력 파이버에서 들어온 빔이 반대쪽 파이버로 커플링되는 것을 확인할 수 있다. 오른쪽은 slice 모드를 나타낸 것이며, Gaussian 펄스가 커플링 영역에서 반대쪽 파이버로 커플링되는 것을 확인할 수 있다. 커플링 영역의 길이에 따라 커플링과 오버커플링이 순차적으로 발생하는 것을 확인할 수 있으며 커플링영역 길이조정을 통해 커플러 효과를 조정할 수 있다. 시뮬레이션으로 광커플러가 1차 미분이 가능한 미분기로 사용될 수 있음을 확인하였고 광 커플러를 제작하여 미분기 실험을 진행하였다.

[0069] 도 29는 광커플러를 이용한 미분기 특성 평가 실험 개요도이다. 광미분 기능이 있는 광커플러에 펄스를 통과시키면 미분된 펄스를 얻을 수 있고 이 펄스 스펙트럼을 스펙트럼 측정기(OSA)로 측정하게 된다.

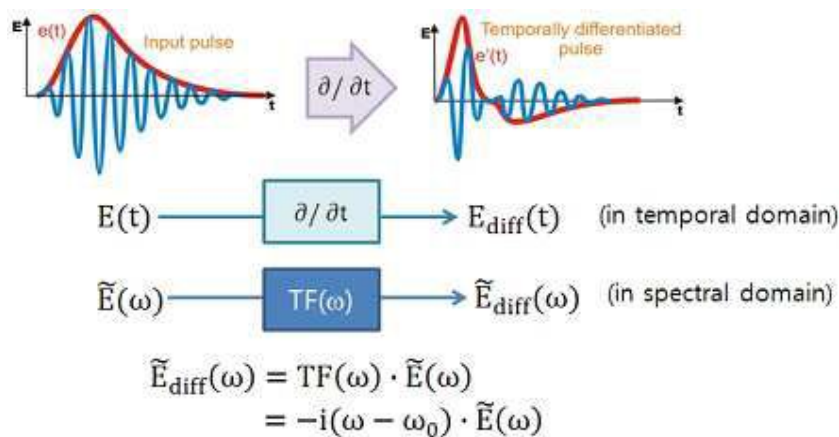
[0070] 도 30과 같이 본 실험에서 사용한 커플러는 양쪽 파이버가 동종인 형태로 일반 싱글모드 파이버(SMF-28e+)를 사용하여 광섬유 광커플러 방식으로 제작하였으며, 1550nm 영역에서 WDM 커플러로 작동하게 된다. 입력 파이버는 한쪽 부분만 사용하게 되므로 반대쪽 부분은 제거하여 1×2 형태로 제작하였다. 제작된 광 커플러에 광원을 이용하여 입력펄스를 넣어주고 통과된 광펄스를 스펙트럼 측정기로 측정하게 된다. 측정결과는 도 31과 도 32에 나타내었다.

[0071] 도 31과 도 32에서 나타난 바와 같이, 광섬유 광커플러를 제작하여 스펙트럼을 측정해 보았다. 가우시안 형태의 입력펄스(빨강)를 사용하여 제작된 광섬유 광커플러를 이용하여 테스트를 진행하였다.

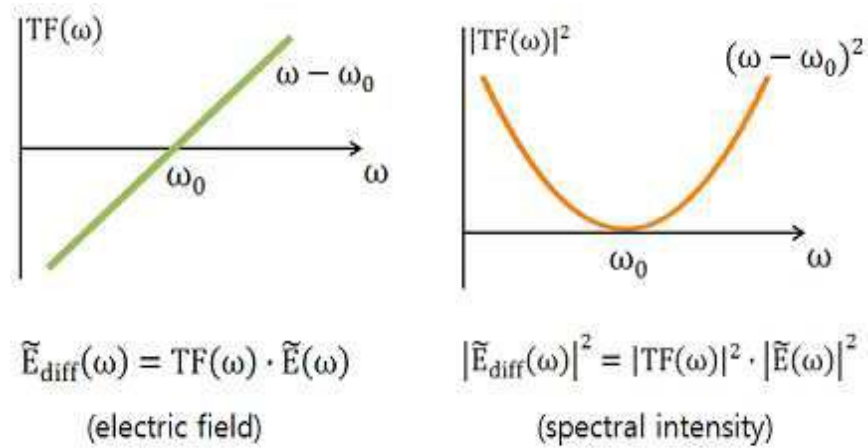
- [0072] 도 33과 도 34에서 나타난 바와 같이, 광섬유 광커플러 Isolation 은 약 28dB 정도로 측정되었으며 과장선택 광섬유에 비하여 Isolation이 적은 것으로 나타났다. 이 부분은 향후 추가시험과 개선을 통해 보완해야 할 필요성이 있다.
- [0073] 광섬유 광커플러의 코어와 클래드의 굴절률 변화를 주면 커플링 과장을 변조할 수 있다. 광섬유의 초기 코어 굴절률은 1.46이며, 클래드 굴절률은 1.45으로 설정하여 -2% 에서 2% 까지 1% 씩 변화를 주어 측정을 하였다. 도 35에서 나타난 바와 같이 굴절률 변화를 통해 스펙트럼 변조가 가능한 것을 확인하였다.
- [0074] 도 36에서 나타난 바와 같이, 광섬유의 코어와 클래드의 굴절률 변화에 따라 과장 변조가 가능한 것을 확인하였고, 굴절률 변화에 따라 사용하는 과장을 자유롭게 변화할 수 있음을 알 수 있다.
- [0075] 상기 연구결과로부터 광통신용 광도파로 또는 광섬유 광커플러가 광미분기 기능을 할 수 있음을 알 수 있다. 광섬유 광커플러는 기존 광미분기에 비해 제작이 쉬우며 과장선택성이 좋기 때문에 광미분기로서 다양하게 응용될 수 있을 것으로 기대된다.
- [0076] 본 발명에 따른 과장선택 광커플러 광미분기는 제작시 조건에 따라 1차 미분과 2차 미분의 기능을 가지며, 광커플러 제작이 용이하고 대량생산이 쉽다는 장점이 있고, 광섬유 광커플러 광미분기는 일반적인 광커플러로서 대중적으로 쉽게 사용될 수 있고, 광커플러 제작 시 미분의 기능을 가지도록 변수를 설정하여 제작하면 광미분기 소자로 사용이 가능하여 접근 용이성이 뛰어난 장점이 있다.
- [0077] 이상에서 본 발명의 바람직한 실시 예에 대하여 설명하였으나, 본 발명은 상술한 특징의 실시 예에 한정되지 아니한다. 즉, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가지는 자라면 첨부된 특허청구범위의 사상 및 범주를 일탈함이 없이 본 발명에 대한 다수의 변경 및 수정이 가능하며, 그러한 모든 적절한 변경 및 수정의 균등물들도 본 발명의 범위에 속하는 것으로 간주되어야 할 것이다.

도면

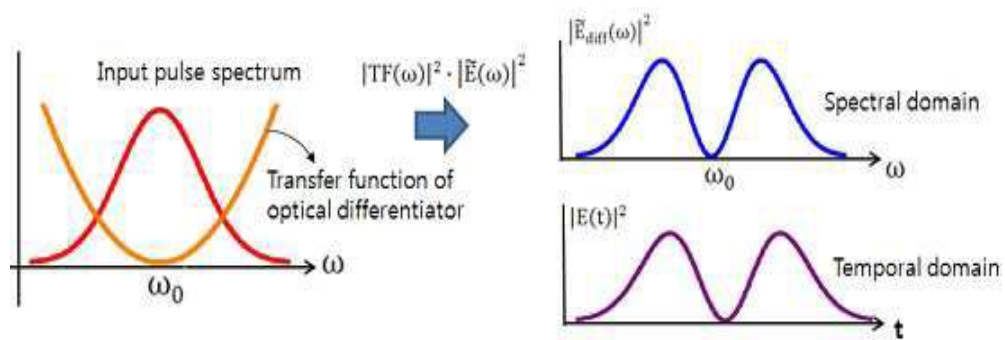
도면1



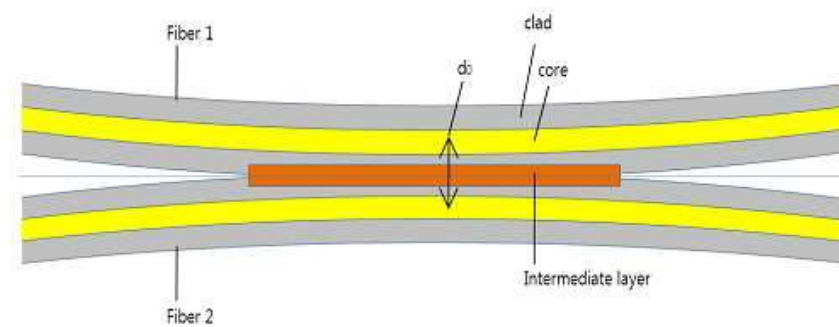
도면2



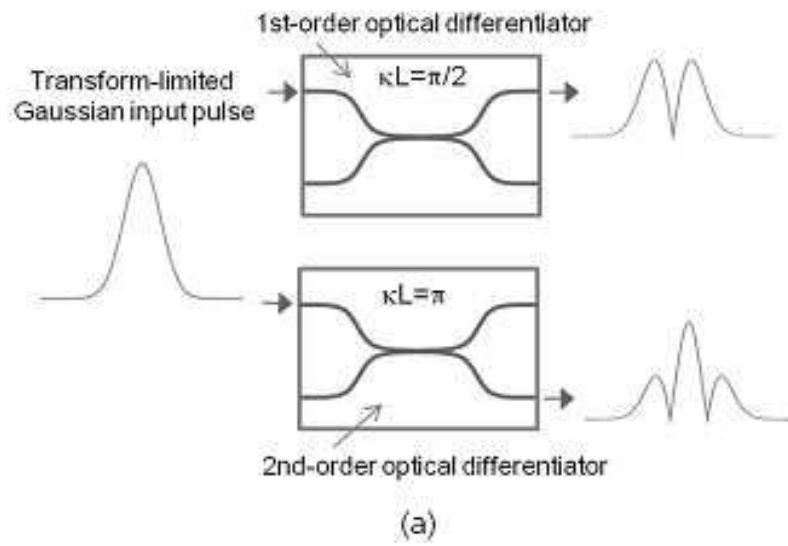
도면3



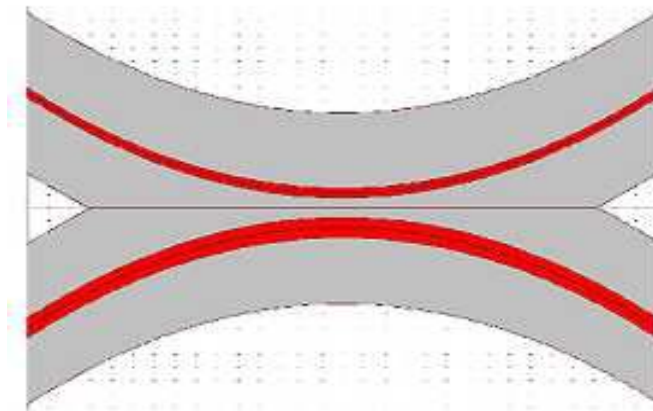
도면4



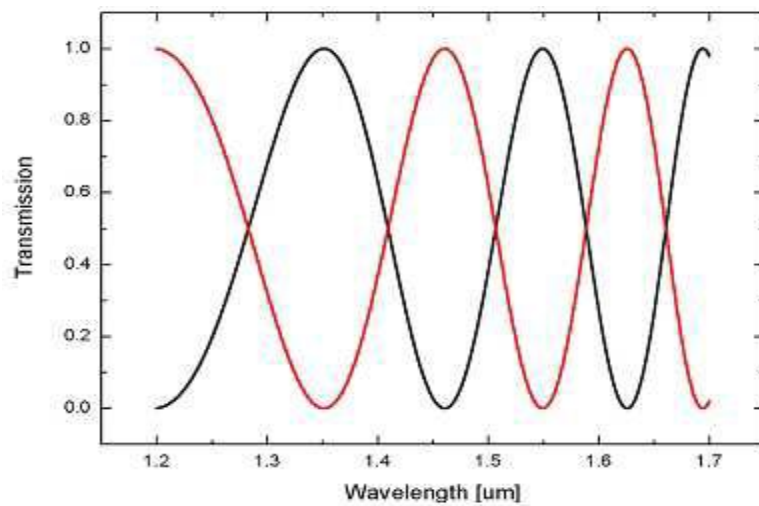
도면5



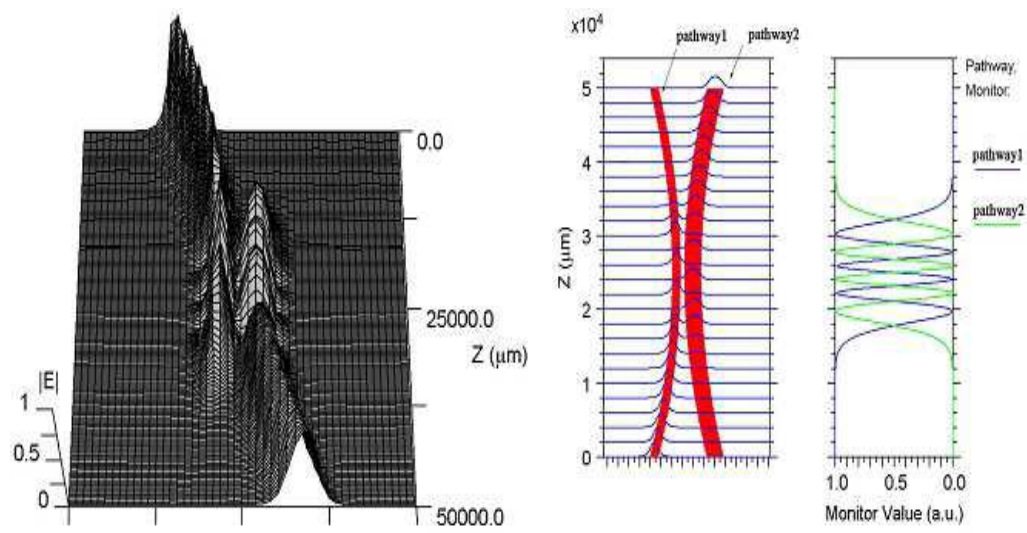
도면6



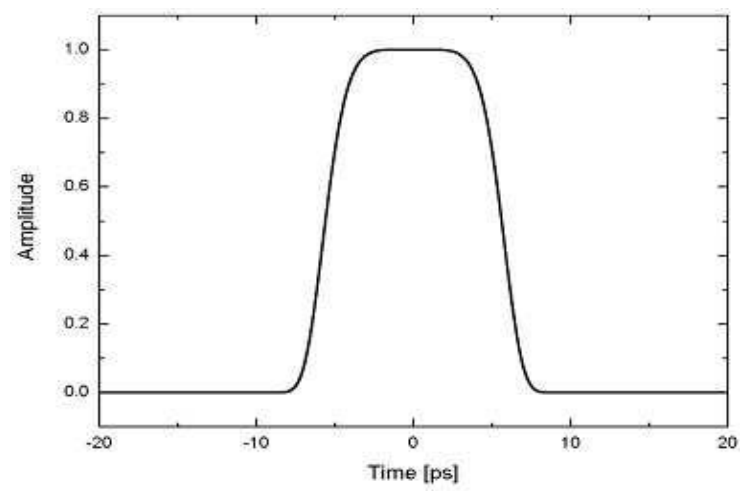
도면7



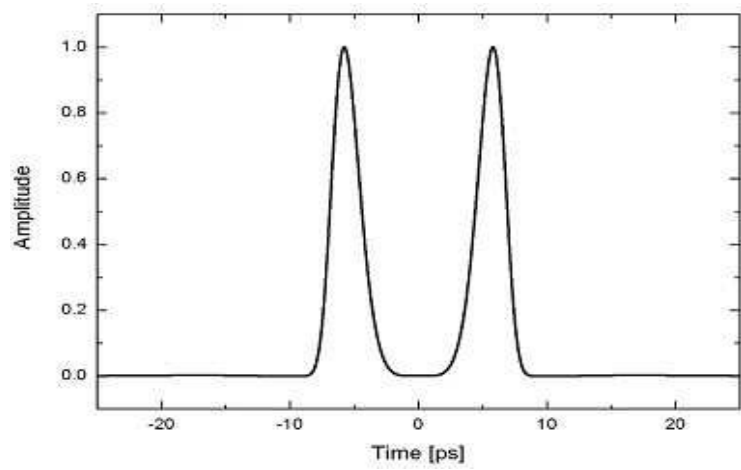
도면8



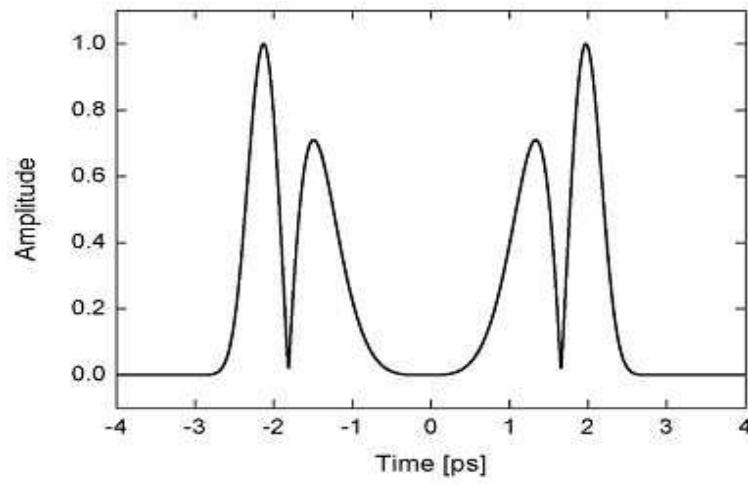
도면9



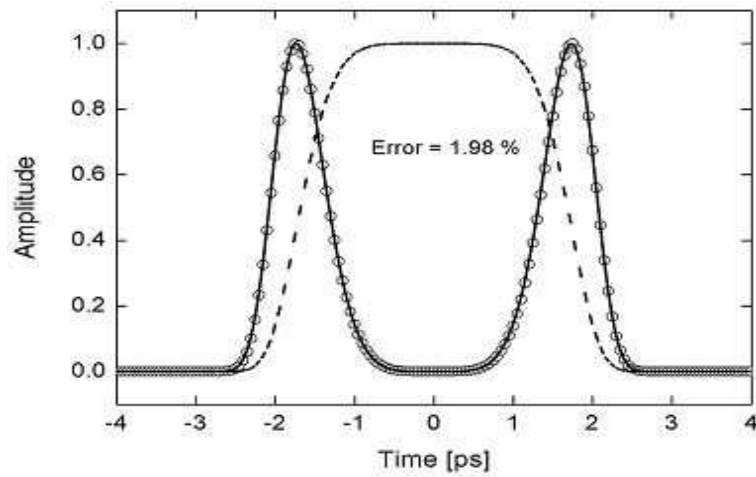
도면10



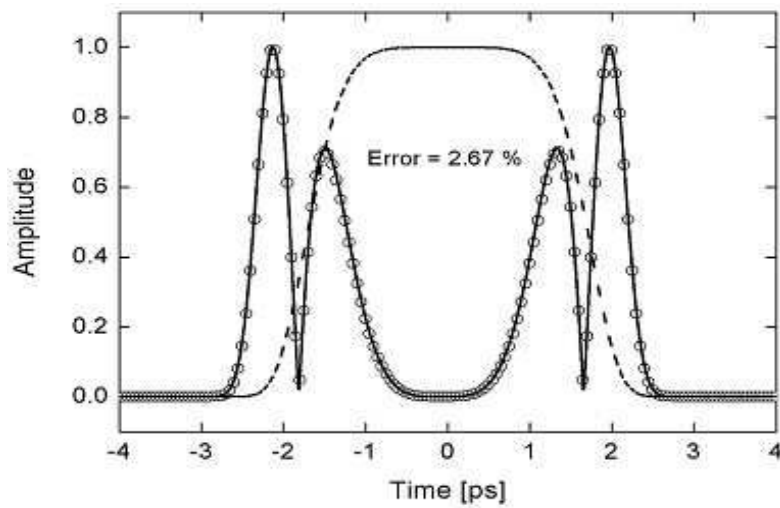
도면11



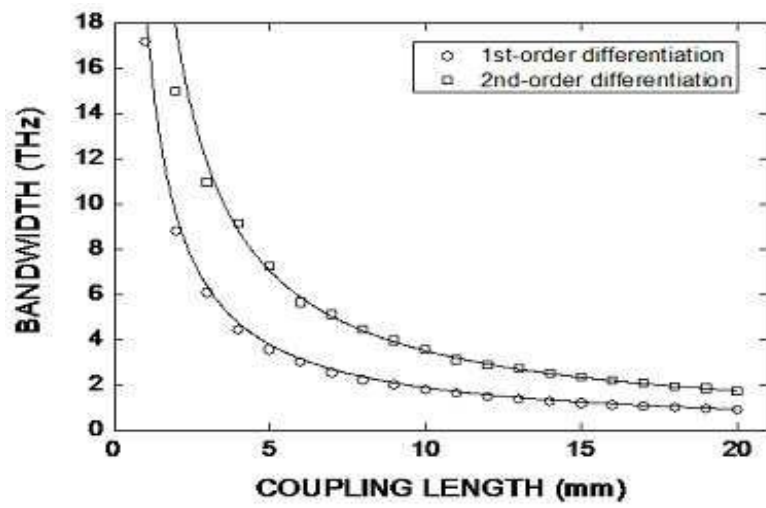
도면12



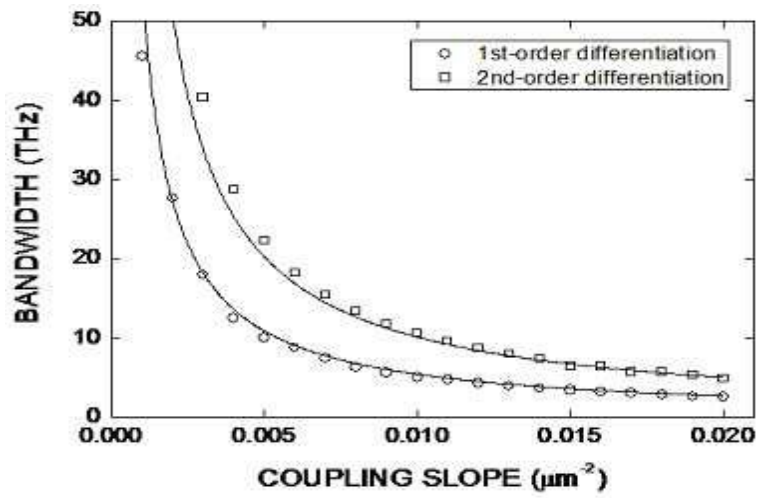
도면13



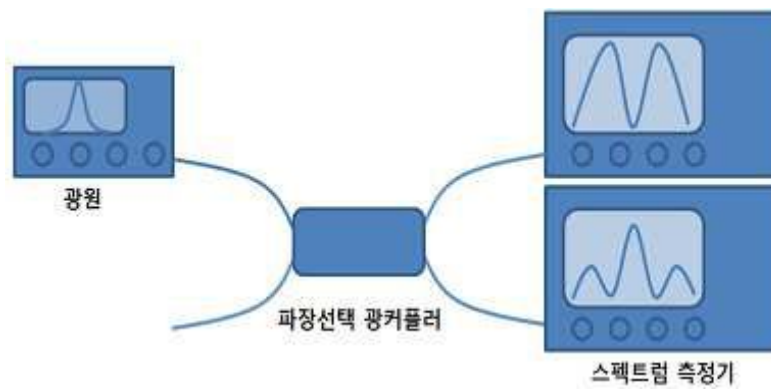
도면14



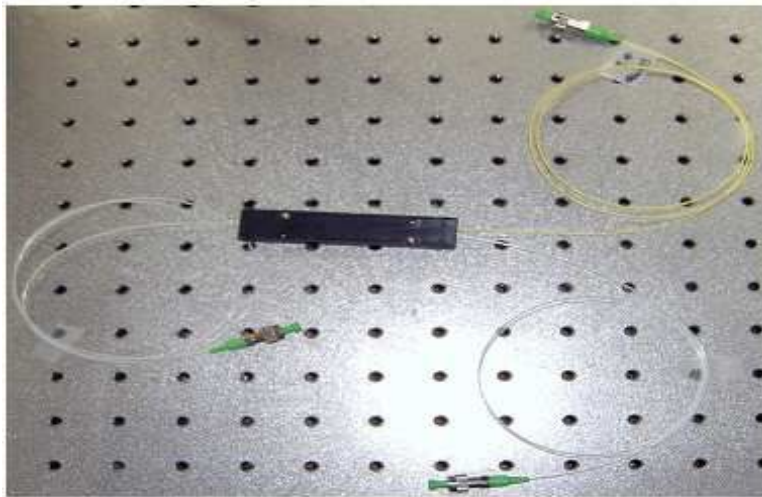
도면15



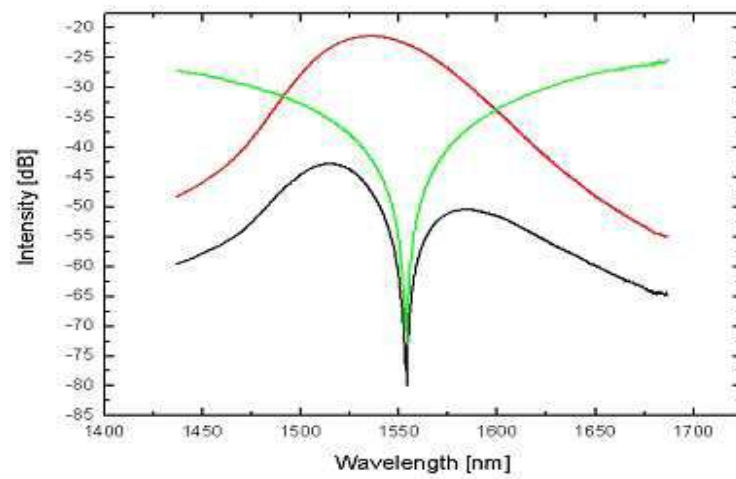
도면16



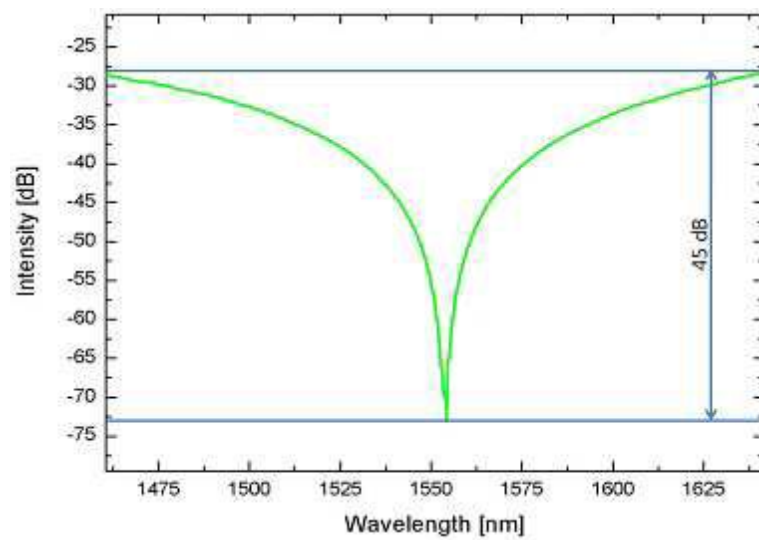
도면17



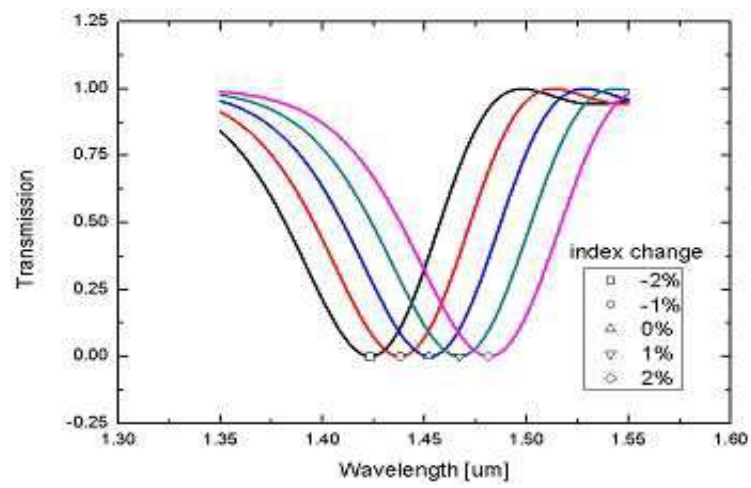
도면18



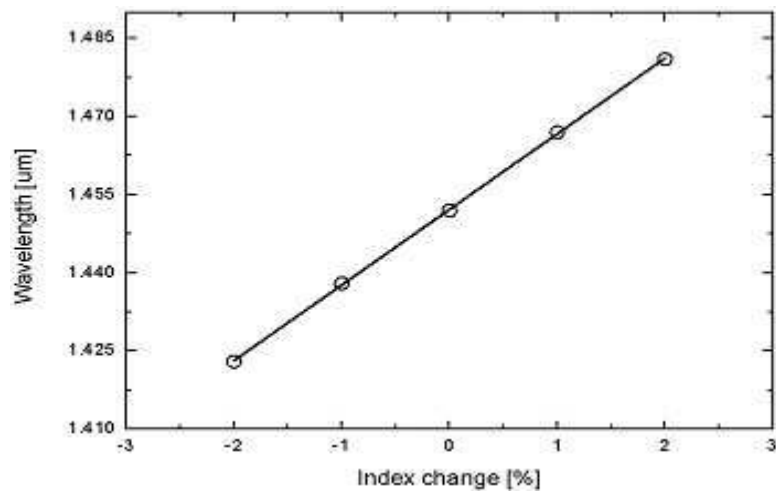
도면19



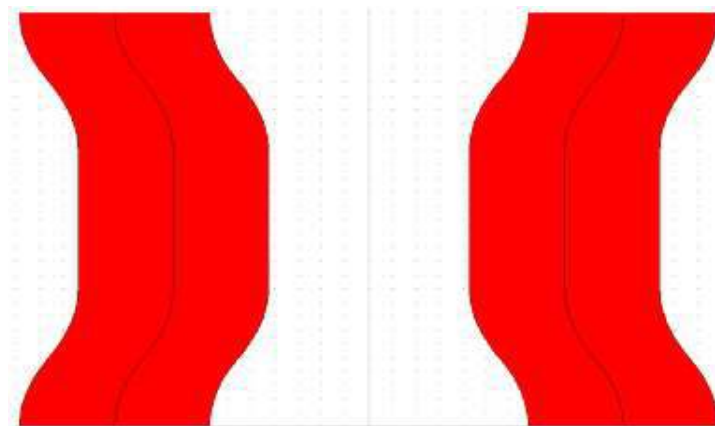
도면20



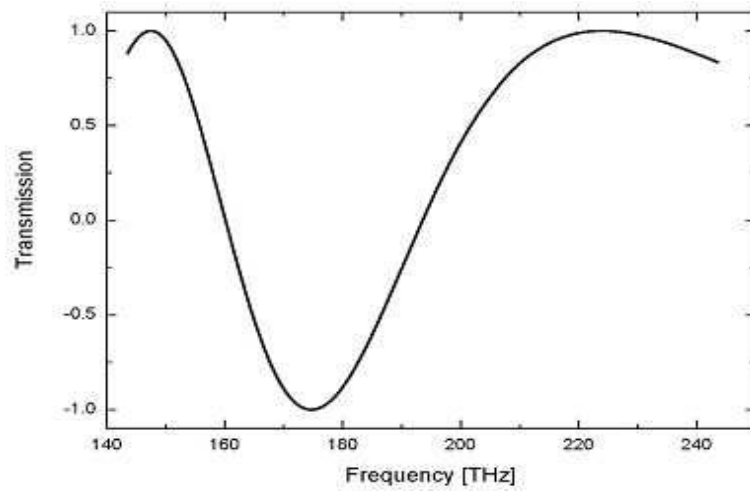
도면21



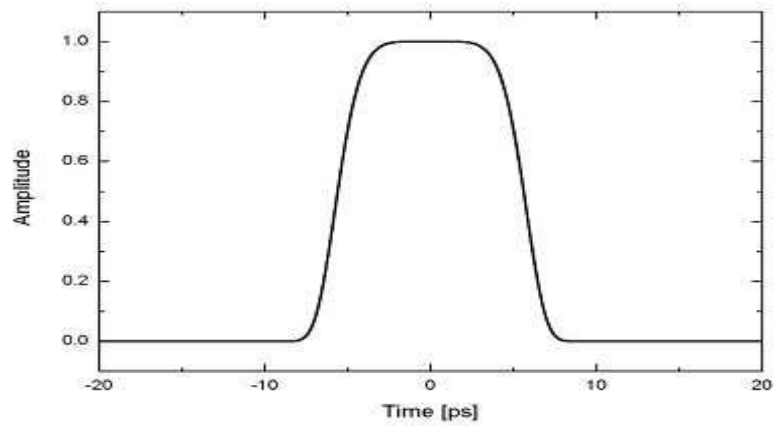
도면22



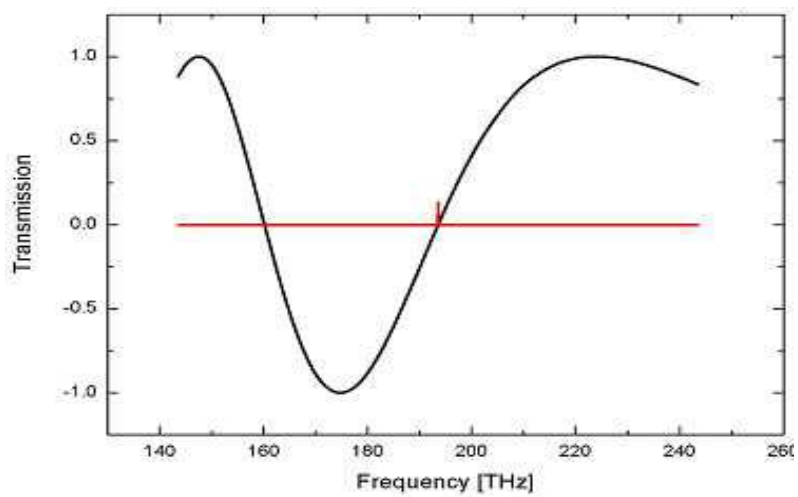
도면23



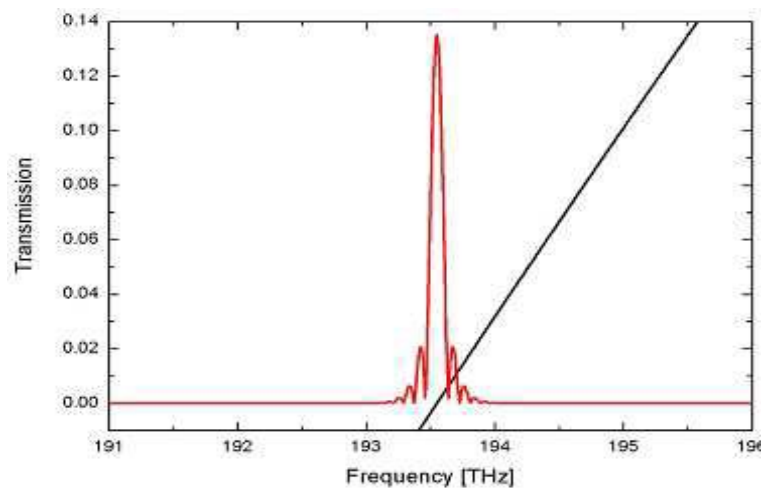
도면24



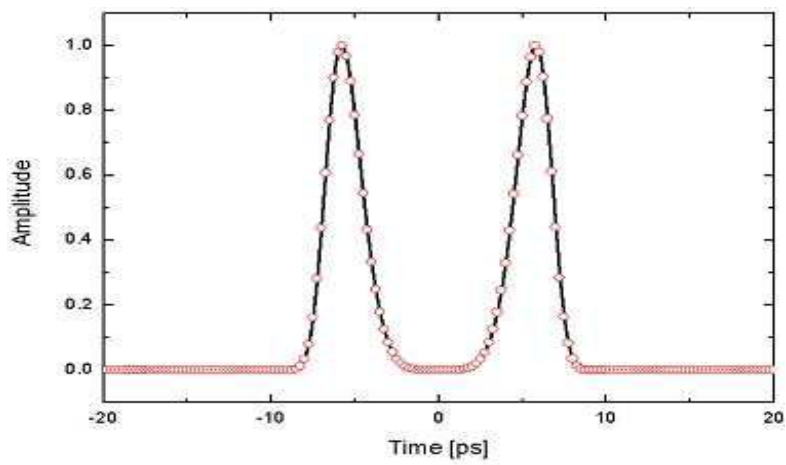
도면25



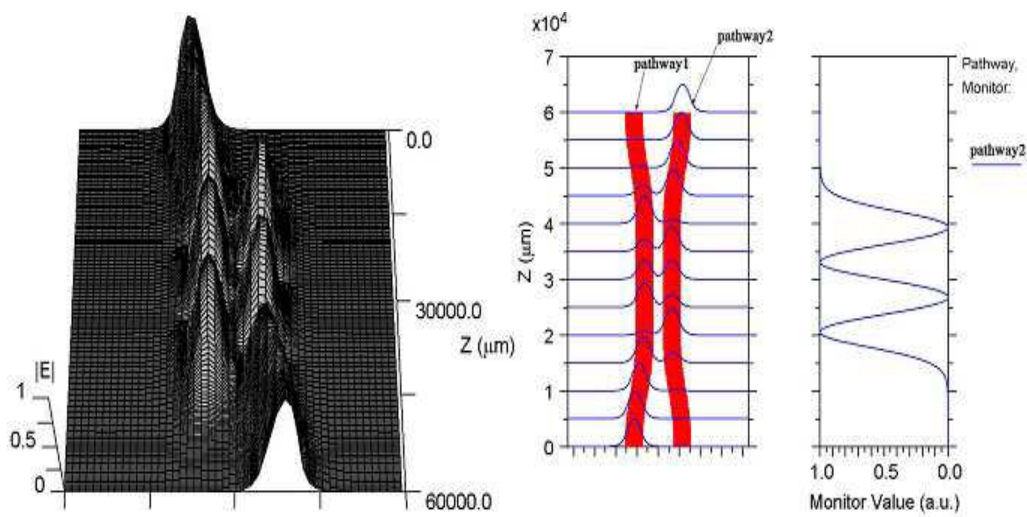
도면26



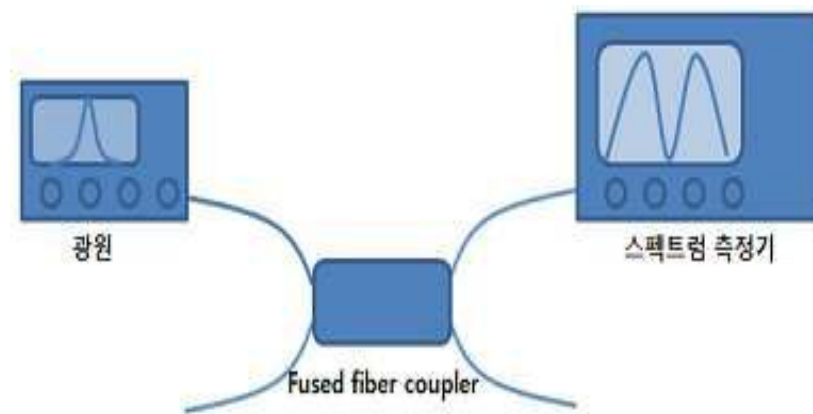
도면27



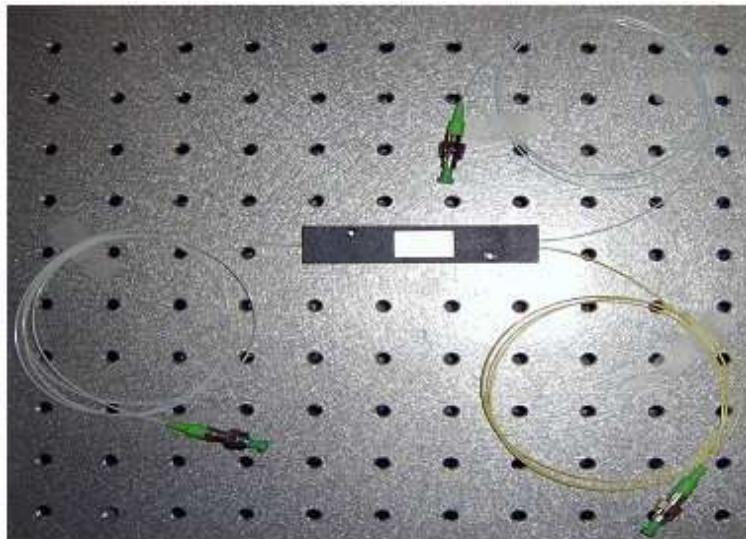
도면28



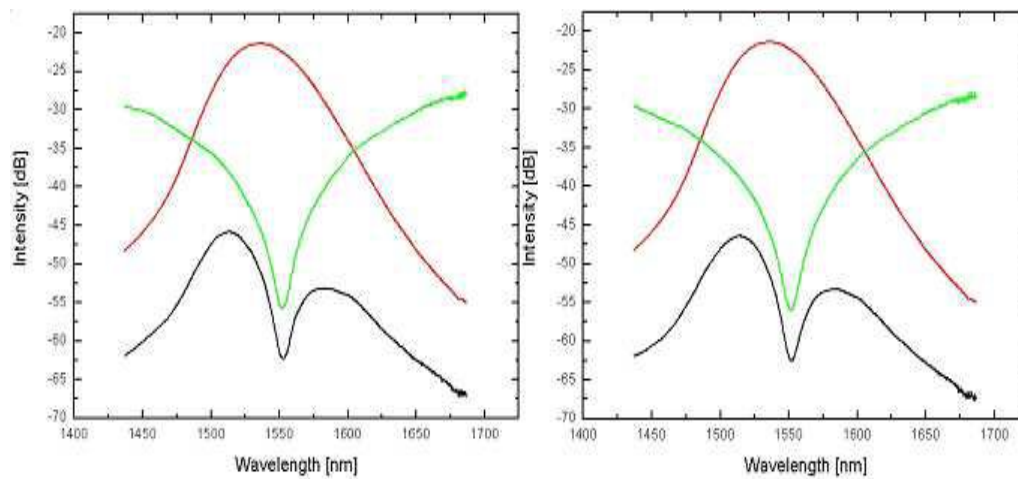
도면29



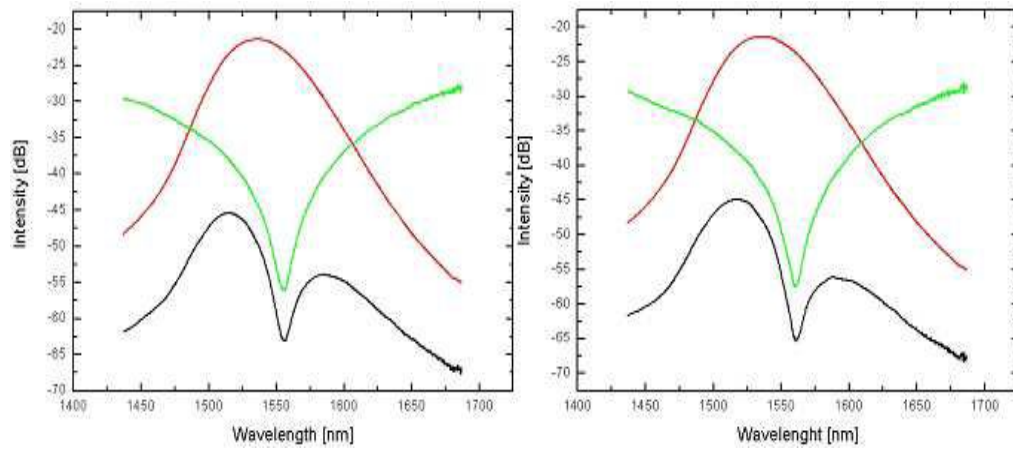
도면30



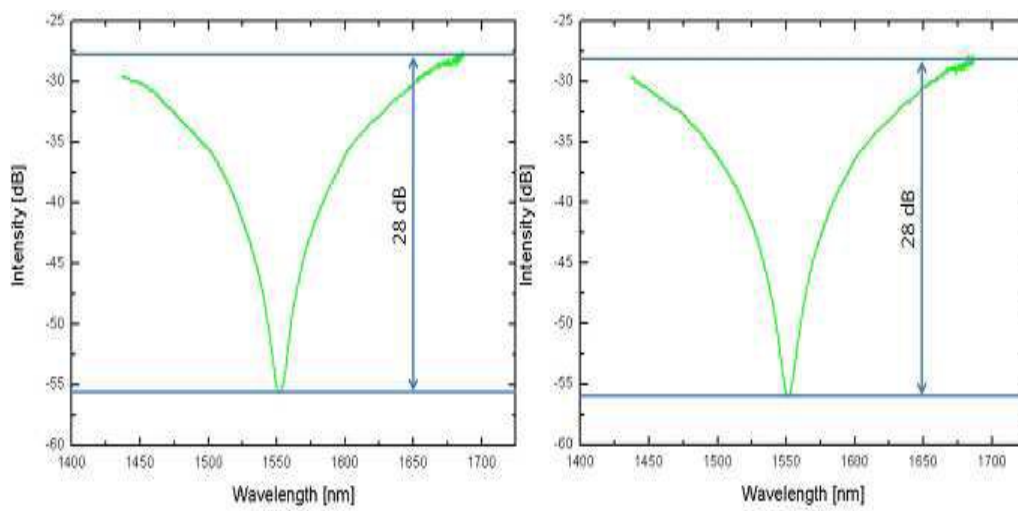
도면31



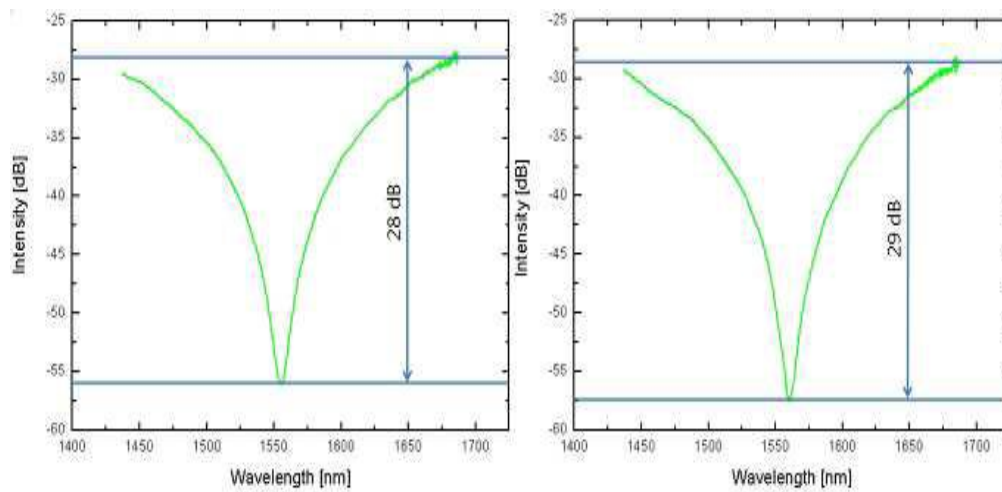
도면32



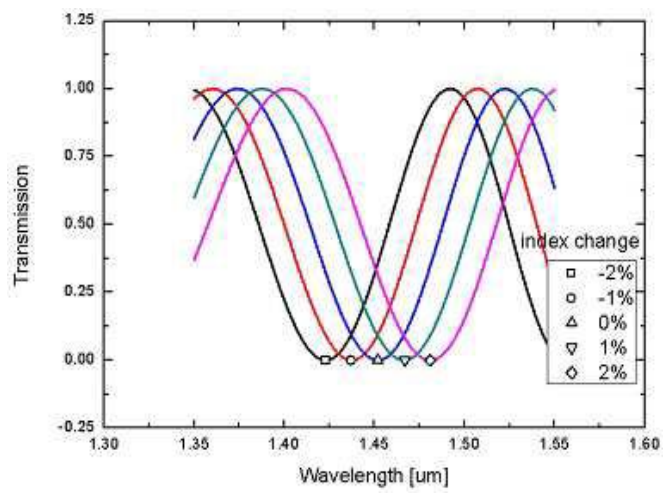
도면33



도면34



도면35



도면36

