

# 양 단면 반사율과 위상 조정 영역의 위상이 다중 영역 Index-Coupled DFB 레이저의 수율 특성에 미치는 영향

김태영 · 유종인 · 김부균<sup>†</sup>

송실대학교 정보통신전자공학부  
☎ 156-743 서울시 동작구 상도동 511

(2006년 10월 23일 받음, 2006년 12월 21일 수정본 받음)

양 단면 반사율과 단면 회절격자 위상, 위상 조정 영역의 위상이 두 개의 DFB 영역과, 가운데 위상 조정 영역을 가진 다중 영역 Index-Coupled DFB 레이저의 Self-Pulsation 동작 특성에 미치는 영향을 수율 관점에서 살펴보았다. 결합세기가 작을수록 양 단면 반사율이 증가할 때 양 단면과 다른 DFB 영역에서 반사되는 필드가 모드의 특성에 미치는 영향이 커져 양 단면 회절격자 위상 변화에 따른 발진 모드의 호핑이 많이 발생하고 수율이 감소한다. 결합세기가 클수록 양 단면 반사율이 증가하여도 양 단면과 다른 DFB 영역에서 반사되는 필드가 모드의 특성에 미치는 영향이 작아 양 단면 회절격자 위상 변화에 따른 모드의 호핑은 적게 발생하나 Spatial Hole Burning 효과가 증가하여 수율이 감소하는 것을 볼 수 있었다. 결합세기에 상관없이 단면 반사율이 증가 할수록 최대 수율과 수율이 40% 이상 되는 위상 조정 영역의 위상 범위가 감소함을 볼 수 있었다. 또한 결합세기가 클수록 위상 조정 영역의 위상 변화에 따른 수율의 변화가 커지고 단면 반사율의 변화에 따른 최대 수율을 주는 위상 조정 영역의 위상 값의 변화가 작음을 볼 수 있었다. 결합세기가 2와 3일 경우가 1.2와 4인 경우에 비하여 수율 특성이 좋음을 볼 수 있었다.

주제어 : Multisection DFB laser, Facet reflectivity, Facet phase, Phase of a phase tuning section, Self-Pulsation, Yield

## I 서 론

두 개의 DFB 영역과 위상 조정 영역이 집적된 다중 영역 DFB 레이저에서 두 DFB 영역에 문턱 전류 이상의 전류가 주입되면 각각의 DFB 영역에서 발진하는 두 모드의 비팅 현상으로 SP (self-pulsation) 동작이 발생한다.<sup>[1]</sup> SP 주파수는 각각의 DFB 영역에서 발진하는 모드의 파장 차이에 해당하는 주파수이다. 이러한 SP 출력은 완전 광 네트워크 구현을 위하여 필요한 광 신호 복구를 위한 완전 광 3R 재생기 구현과 초고속 광 신호 처리를 위한 핵심소자로, 또한 차세대 OTDM(optical time division multiplexing) 시스템의 광원으로, 밀리미터파 통신 시스템의 밀리미터파 신호원을 구현하기 위한 여기 광원으로 사용될 수 있기 때문에 많은 연구가 진행되고 있다.<sup>[2-4]</sup>

두 개의 DFB 영역과 위상 조정 영역이 집적된 다중 영역 DFB 레이저는 독일의 HHI(Heinrich-Hertz-Institute)를 중심으로 완전 광 3R 재생기 구현과 초고속 광 신호 처리를 위한 핵심소자로 사용하기 위하여 활발히 연구되어 왔다. 또한 사용된 DFB 영역의 회절격자 구조는 주로 IC(index-coupled) 회절격자 구조를 가진 경우이다. DFB 영역이 IC 회절격자 구조를 가지는 다중 영역 IC DFB 레이저는 두 DFB 영역의 반사 스펙트럼의 금지 대역이 서로 중첩되어 있지 않는 경우 각각의 DFB 영역의 발진 모드의 특성은 SHB(spatial hole

burning) 효과, 내부에서 반사되는 필드, 이득 분산 등에 의해 영향을 받는다.<sup>[5]</sup> 따라서 단파장 모드와 장파장 모드 사이에 모드 호핑이 쉽게 발생하여 SP 주파수의 급격한 변화가 발생한다. 반면에 두 DFB 영역의 반사 스펙트럼의 금지 대역이 서로 중첩되어 있는 경우 각각의 DFB 영역에서는 단파장 모드와 장파장 모드 중에 다른 DFB 영역의 금지 대역 내에 존재하는 모드가 안정적으로 발진하여 금지 대역이 서로 중첩되지 않는 경우에 비하여 안정된 SP 동작이 발생한다.

지금까지 연구되어진 다중 영역 IC DFB 레이저의 특성에 대한 연구는 대부분 레이저의 단면이 완전 무 반사 코팅되었다고 가정하였다. 그러나 다중 영역 IC DFB 레이저 제작 시에 양 단면을 무 반사 코팅 한다고 하여도 잔류 반사율이 존재하게 된다. 이러한 잔류 반사율에 의해 랜덤한 양 단면의 회절격자 위상이 다중 영역 IC DFB 레이저의 SP 동작 특성에 영향을 미치게 된다. 또한 실제 다중 영역 IC DFB 레이저가 제작된 후 위상 조정 영역에 주입되는 전류를 변화시켜 위상을 변화시킴으로써 다중 영역 IC DFB 레이저의 SP 동작 특성을 조정할 수 있기 때문에 본 논문에서는 단면 반사율과 단면 회절격자 위상 및 위상 조정 영역의 위상이 다중 영역 IC DFB 레이저의 SP 동작 특성에 미치는 영향에 대하여 살펴보았다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 사용한 전산 모의 방법에 대하여 간단히 살펴본다. 또한 본 논문에서 사용한 다중 영역 IC DFB 레이저의 수율에 대하여 정의한다. 3장에서는 단면 잔류 반사율과 양 단면 회절격자

<sup>†</sup> E-mail: bgkim@e.ssu.ac.kr

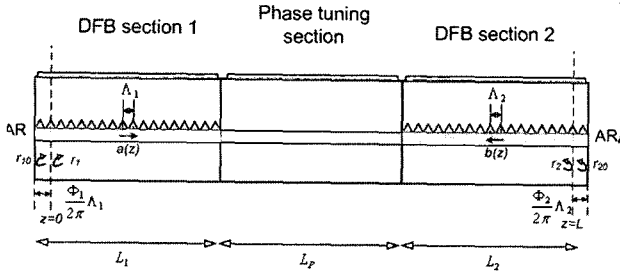


그림 1. 양 단면 반사율과 단면 격자 위상을 고려한 두 개의 DFB 영역과 위상 조정 영역으로 구성되는 다중 영역 DFB 레이저의 개념도.

위상, 위상 조정 영역의 위상이 다중 영역 IC DFB 레이저의 SP 동작 특성에 미치는 영향을 2장에서 정의한 수율의 관점에서 살펴보았다. 마지막으로 4장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

### III. 전산 모의 방법 및 수율의 정의

그림 1은 양 단면 반사율과 단면 격자 위상을 고려한 두 개의 DFB 영역과 위상 조정 영역으로 구성된 다중 영역 DFB 레이저의 개념도를 나타낸다. 각각의 DFB 영역에 문턱 전류 이상의 전류가 주입되면 각각의 DFB 영역에서 발진 모드가 존재하고, 이러한 두 모드의 비팅에 의하여 SP 동작이 발생한다.<sup>[1]</sup>

두 개의 모드를 방출하는 다중 영역 IC DFB 레이저의 동작 특성을 살펴보기 위하여 시간 영역 모델을 사용하였다. 시간 영역 모델은 순방향으로 진행되는 필드와 역방향으로 진행되는 필드의 상호 결합 현상을 나타내는 시간 의존 결합 모드 방정식과, 광자와 상호 작용을 하는 캐리어의 밀도 변화를 나타내는 비율 방정식을 시간 영역에서 해석하는 모델이다.<sup>[6]</sup>

다중 영역 IC DFB 레이저의 양 단면에 단면 반사율이 존재하는 경우 그림 1에서 보는 것 같이 순방향으로 진행되는 정규화된 필드,  $a(z,t)$ , 와 역방향으로 진행되는 정규화된 필드,  $b(z,t)$ , 는 다음과 같은 경계조건을 만족해야 한다.

$$a(0,t) = r_1 b(0,t) \quad (1)$$

$$b(L,t) = r_2 a(L,t) \quad (2)$$

여기서  $r_1$ 과  $r_2$ 는 양 단면의 격자 위상을 포함한 단면 반사 계수를 나타내며 다음과 같이 주어진다.

$$r_1 = r_{10} e^{-j\phi_1} \quad (3)$$

$$r_2 = r_{20} e^{-j\phi_2} \quad (4)$$

여기서  $r_{10}$ 와  $r_{20}$ 는 그림 1에서 왼쪽 단면과 오른쪽 단면의 단면 반사 계수를 나타낸다.  $\phi_1$ 과  $\phi_2$ 는 왼쪽 단면과 오른쪽

단면의 기준면으로부터의 격자 위상을 의미하며 이러한 격자 위상에 해당하는 길이는 그림 1에 나타난 것처럼 각각  $\frac{\phi_1}{2\pi} \Lambda_1$  와  $\frac{\phi_2}{2\pi} \Lambda_2$  이다.

다중 영역 IC DFB 레이저의 양 단면을 무 반사 코팅하여도 잔류 반사율이 존재하게 된다. 현재 개발되어 있는 기술로는 DFB 레이저의 단면 격자 위상을 정확하게 조절하기가 매우 어렵기 때문에 단면에 잔류 반사율이 존재하는 경우 양 단면의 격자 위상은 랜덤하게 발생된다고 가정하여야 한다. 따라서 본 논문에서 단면 반사율과 단면 격자 위상 및 위상 조정 영역의 위상이 다중 영역 IC DFB 레이저의 동작 특성에 미치는 영향을 수율 측면에서 살펴보기 위하여 수율을 다음과 같이 정의 하였다.

$$\frac{\text{Criterion 만족하는 위상 조합의 수}}{\text{전체 양 단면 격자 위상의 수}} \times 100 (\%) \quad (5)$$

양 단면의 회절격자 위상을 각각 16등분하여 변화시켜 전체 256가지의 단면 위상 조합을 만들어 각각의 위상 조합에 대하여 단면 반사율과 위상 조정 영역의 위상을 변화시키며 다중 영역 IC DFB 레이저의 동작 특성을 계산하였다. 이와 같이 계산된 동작 특성 중에서 참고문헌[7]에 나와 있는 3가지 조건을 만족하는 경우에 안정된 SP 동작 특성이 발생한다고 판단하였다. 즉 이러한 경우에 다중 영역 IC DFB 레이저의 특성이 우리가 설정한 criterion을 만족한다고 판단하였다. 따라서 수율은 식 (5)과 같이 256 가지의 위상 조합의 동작 특성 중 criterion을 만족하는 위상 조합의 수를 전체 위상 조합의 수로 나눈 값으로 정의하였다.

### III. 다중 영역 DFB 레이저에서 양 단면 반사율과 단면 회절격자 위상 및 위상 조정 영역의 위상 변화에 따른 수율 특성

다중 영역 IC DFB 레이저의 각 영역의 길이는 300  $\mu\text{m}$ 로 동일하게 설정하였다. 두 DFB 영역의 브래그 파장 차이,  $\Delta\lambda_B$ , 는 발진하는 두 모드의 비팅에 의한 SP 주파수가 60 GHz 근처가 되도록 설정하였다. DFB 영역의 주입전류는 결합세기에 상관없이 다중 영역 IC DFB 레이저의 왼쪽 단면에서 약 13 mW의 출력 파워가 나오도록 설정하였다. 전산 모의에 사용한 다중 영역 IC DFB 레이저의 단면 반사율은 양 단면이 동일하고 0.1%, 0.5%, 1%, 2%, 와 5%로 정하였다. 또한 각 DFB 영역의 결합세기는 같고 결합세기가 각각 1.2, 2, 3, 과 4일 때 전산 모의를 수행하였다. 전산 모의에 사용한 나머지 구조 및 물질 파라미터 값은 표 1과 같다.

양 단면이 완전 무 반사 코팅 되어있는 경우 여러 가지 결합세기에 대하여 위상 조정 영역의 위상을 0에서  $2\pi$ 까지 0.1  $\pi$  간격으로 변화시키며 다중 영역 DFB 레이저의 동작 특성을 살펴보았다. 결합세기가 1.2인 경우 전체 위상 조정 영역

의 위상 영역 중 65%에서 criterion을 만족하였고, 결합세기가 2인 경우 75%, 3인 경우 55%, 4인 경우 40%에서 criterion을 만족하였다. 결합세기가 2인 경우 가장 안정된 SP 동작 특성을 보였다. 그 이유는 다음과 같다고 생각된다. 결합세기가 1.2인 경우 단일 IC DFB 레이저에서 SHB 효과가 가장 작아 수율이 크고, 양 단면 무 반사 코팅을 하여 두 DFB 영역의 발진 모드가 잘 유지되나<sup>[8]</sup> 결합세기가 작아 위상 조정 영역의 위상 변화에 의한 다른 DFB 영역에서 반사되어 들어오는 필드의 영향을 결합세기가 2일 때보다 많이 받아 결합세기가 2일 때보다 criterion을 만족하는 위상 영역의 범위가 작게 나온 것으로 생각된다. 결합세기가 커질수록 위상 조정 영역의 위상 변화에 의한 다른 DFB 영역에서 반사되어 들어오는 필드의 영향을 DFB 영역의 발진 모드가 적게 받으나 SHB 효과의 증가로 인하여 criterion을 만족하는 위상 조정 영역의 위상 영역의 범위가 작아진다고 생각된다. 따라서 결합세기가 2일 때 적절한 결합세기와 적절한 SHB 효과로 인하여 criterion을 만족하는 위상 조정 영역의 위상 범위가 가장 넓게 나왔다고 생각되어 진다.

표 2는 단면 반사율이 0.1%, 0.5%, 1%, 2%, 와 5% 일 때 DFB 영역의 여러 가지 결합 세기에 대하여 다중 영역 IC

DFB 레이저의 동작 특성을 전산 모의 하기위하여 사용한 DFB 영역에 주입한 전류 값과 최대 수율을 주는 위상 조정 영역의 위상을 보여준다.

그림 2는 여러 가지 결합세기에 대하여 단면 반사율이 0.1% 일 때 최대 수율을 보이는 위상 조정 영역의 위상 값에서 양 단면 회절격자의 위상 변화에 따른 다중 영역 IC DFB 레이저에서 발진하는 두 모드의 비탕에 의한 SP 주파수를 보여준다. 그림에서 짙게 표시된 부분이 criterion을 만족하지 못하는 부분을 나타낸다. 그림 2(a)는 결합세기가 1.2인 경우로 수율은 87%이고, SP 주파수 값의 범위는 63 GHz에서 68 GHz 이며 criterion을 만족하지 못하는 부분이 랜덤하게 발생함을 볼 수 있다. 그림 2(b)는 결합세기가 2인 경우로 양 단면 회절격자 위상의 전 영역에서 안정된 SP 동작을 보여 수율이 100%이고 SP 주파수 값의 범위는 59 GHz에서 63 GHz 임을 볼 수 있다. 그림 2(c)는 결합세기가 3인 경우로 그림 2(b)인 경우와 마찬가지로 양 단면 회절격자 위상의 전 영역에서 안정된 SP 동작을 보이고 SP 주파수 값의 범위는 51 GHz에서 55 GHz임을 볼 수 있다. 그림 2(d)는 결합세기가 4인 경우로 89%의 수율을 보이며, 회절격자 위상의 특정 영역에서 스퓨리어스 성분과의 차이가 25 dB보다 작아 불안정한 동작 특성을 보였다. 나머지 영역에서는 안정된 특성을 보이며 SP 주파수는 50 GHz에서 55 GHz까지 발생함을 볼 수 있다. 결합세기가 커질수록 발생하는 SP 주파수는 약간 감소하였으며, 결합세기가 2와 3일 때 양 단면 회절격자 위상조합 전체에서 안정된 SP 동작을 보였다. 결합세기가 1.2인 경우에는 결합세기가 작아 양 단면과 다른 DFB 영역에서 반사되는 필드의 영향을 크게 받아 87%의 수율이 발생하였다고 생각된다. 반면에 결합세기가 2와 3인 경우는 양 단면과 다른 DFB 영역에서 반사되는 필드의 영향을 적게 받아 수율이 100% 발생하였고 결합세기가 4인 경우는 SHB 효과로 인하여 수율이 89% 발생하였다고 생각되어진다.

그림 3은 여러 가지 결합세기에 대하여 단면 반사율이 1% 일 때 최대 수율을 보이는 위상 조정 영역의 위상 값에서 양 단면 회절격자의 위상 변화에 따른 다중 영역 IC DFB 레이저에서 발진하는 두 모드의 비탕에 의한 SP 주파수를 보여 준다. 그림에서 짙게 표시된 부분이 criterion을 만족하지 못하는 부분을 나타낸다. 그림 3(a)는 결합세기가 1.2인 경우로 57%의 수율을 가져 양 단면 반사율이 0.1%인 경우에 비하

표 1. 계산에 사용된 파라미터

파라미터	값	단위	의미
$d$	0.2	$\mu\text{m}$	활성층 영역의 두께
$w$	2	$\mu\text{m}$	활성층 영역의 폭
$n_e$	3.32		유효 굴절율
$n_g$	3.7		군 굴절율
$A$	1	$10^8 \text{ s}^{-1}$	선형 재결합 계수
$B$	1	$10^{16} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$	자발 재결합 계수
$C$	0.75	$10^{40} \text{ m}^6 \text{ s}^{-1}$	오제(Auger) 캐리어 재결합 계수
$\alpha_H$	4		선폭 증가 계수
$N_0$	1.5	$10^{24} \text{ m}^{-3}$	투명 캐리어 밀도
$\Gamma$	0.3		도파로 구속 계수
$\alpha_0$	$20 \times 10^2$	$\text{m}^{-1}$	손실
$g_N$	2.5	$10^{-20} \text{ m}^{-2}$	미분 이득
$\epsilon$	4	$10^{-23} \text{ m}^3$	비선형 이득 억제 계수

표 2. 전산모의에 사용한 여러 가지 단면 반사율과 결합세기에서 주입 전류와 최대 수율을 주는 위상 조정 영역의 위상

AR-AR	$\kappa L=1.2$		$\kappa L=2$		$\kappa L=3$		$\kappa L=4$	
	주입 전류	$\phi_p (\Phi/2\pi)$	주입 전류	$\phi_p (\Phi/2\pi)$	주입 전류	$\phi_p (\Phi/2\pi)$	주입 전류	$\phi_p (\Phi/2\pi)$
AR(0.1%)	72mA	0.25	74mA	0.7	69mA	0.9	78mA	0.15
AR(0.5%)		0.3		0.7		0.9		0.15
AR( 1%)		0.4		0.7		0.9		0.15
AR( 2%)		0.5		0.65		0.85		0.15
AR( 5%)		0.55		0.8		0.9		0.15

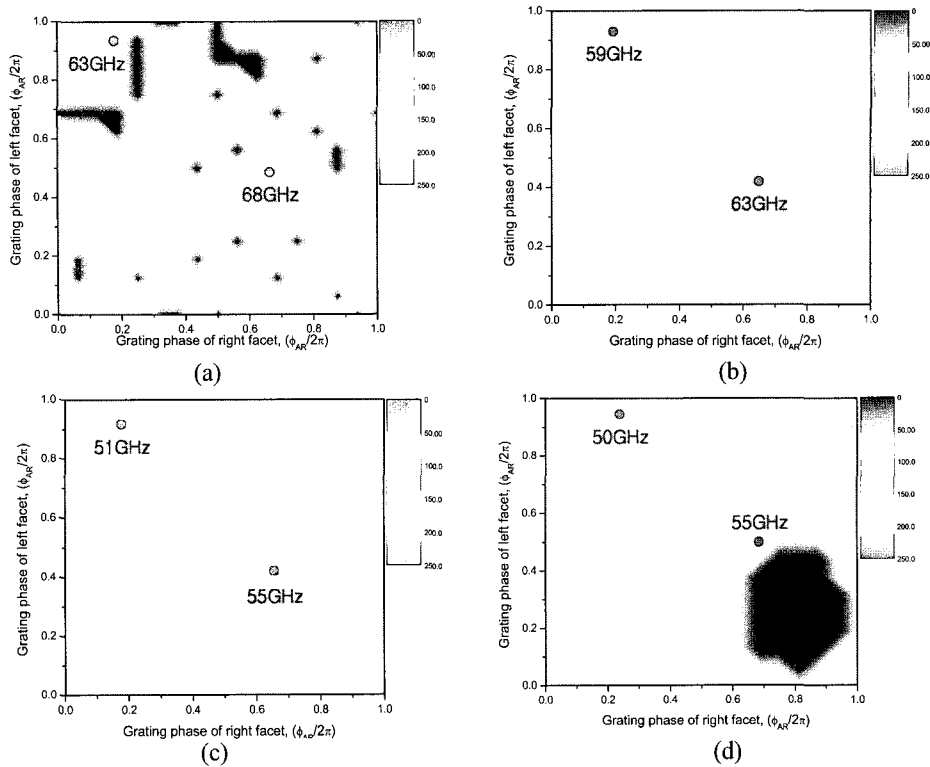


그림 2. 여러 가지 결합세기에 대하여 단면 반사율이 0.1%이고 최대 수율을 나타내는 위상 조정 영역의 위상을 가질 때 양 단면 회절격자 위상을 변화시켜 구한 다중 영역 IC DFB 레이저의 SP 주파수. 짙게 표시된 부분이 criterion 을 만족하지 못하는 부분을 나타낸다. (a)  $\kappa L=1.2$ , (b)  $\kappa L=2$ , (c)  $\kappa L=3$ , (d)  $\kappa L=4$ .

여 수율이 크게 감소할 수 있다. 왼쪽 단면의 회절격자 위상이  $1.6\pi$  에서  $1.9\pi$  인 영역에서는 오른쪽 단면의 모든 회절격자 위상에 대하여 criterion을 만족시키지 못하는 SP 동작 특성을 보였다. 발생하는 SP 주파수의 범위도 모드 호핑에 의하여 59 GHz에서 73 GHz 와 133 GHz에서 135 GHz로 나누어짐을 볼 수 있었다. 결합세기가 작아서 외부에서 반사되는 필드에 의해 발진 모드의 호핑이 쉽게 발생되어서 SP 주파수 대역이 2개로 나누어진 것으로 생각된다. 그림 3(b)는 결합세기가 2인 경우로 89%의 수율을 보여 양 단면 반사율이 0.1%인 경우보다 수율이 약간 감소하였다. SP 주파수의 범위는 발진 모드 호핑에 의하여 51 GHz에서 70 GHz 와 203 GHz에서 207 GHz로 나누어짐을 볼 수 있었다. 그림 3(a)인 경우보다 결합세기가 커서 외부에서 반사되는 필드의 영향을 적게 받아 수율이 크고 발진 모드의 호핑도 적은 영역에서 발생하는 것을 볼 수 있다. 그림 3(c)는 결합세기가 3인 경우로 결합세기가 2인 경우보다 결합세기가 커 외부에서 반사되는 필드의 영향을 거의 받지 않아 양 단면 회절격자 위상 조합의 거의 모든 영역에서 모드 호핑 없이 안정되게 46 GHz에서 61 GHz의 SP 주파수를 가지고 수율이 거의 100%인 SP 동작이 발생함을 볼 수 있었다. 그림 3(d)는 결합세기가 4인 경우로 결합세기가 커서 외부에서 반사되는 필드의 영향을 거의 받지 않아 모드 호핑이 발생하지

않아 SP 주파수가 46 GHz에서 59 GHz까지 연속적으로 변하였지만 SHB 효과의 증가로 인하여 수율은 57%로 작고 전체적으로 불안정한 SP 동작 특성을 보였다. 그림 3(a), (b)와 (d)에서 불안정한 특성을 보이는 양 단면 회절격자 위상 조합 영역에서는 기본 발생 SP 주파수 성분과 스퍼리어스 성분과의 크기 차이가 25 dB 보다 작았다.

그림 2 와 3 을 통해 결합세기가 작을수록 양 단면 반사율이 증가할 때 양 단면과 다른 DFB 영역에서 반사되는 필드가 모드 특성에 미치는 영향이 커져 양 단면 회절격자 위상 변화에 따라 발진 모드의 호핑이 많이 발생하고 수율이 감소하며 전체적으로 불안정한 SP 동작 특성을 보였다. 결합세기가 커질수록 양 단면 반사율이 증가하여도 양 단면과 다른 DFB 영역에서 반사되는 필드가 모드 특성에 미치는 영향이 작아져 양 단면 회절격자 위상 변화에 따른 모드의 호핑은 적게 발생하나 SHB 효과가 증가하여 수율이 감소하는 것을 볼 수 있었다.

그림 4는 여러 가지 결합세기에 대하여 단면 반사율과 위상 조정 영역의 위상 변화에 따른 다중 영역 IC DFB 레이저의 수율을 정리한 것이다. 다중 영역 IC DFB 레이저의 위상 조정 영역의 위상을 0에서  $2\pi$ 까지  $0.1\pi$ 간격으로 변화시키며 양 단면 회절격자의 위상 조합 256 가지에 대하여 전산모의를 통해 수율을 구하였다. 그림 4(a)는 결합세기가 1.2인 경

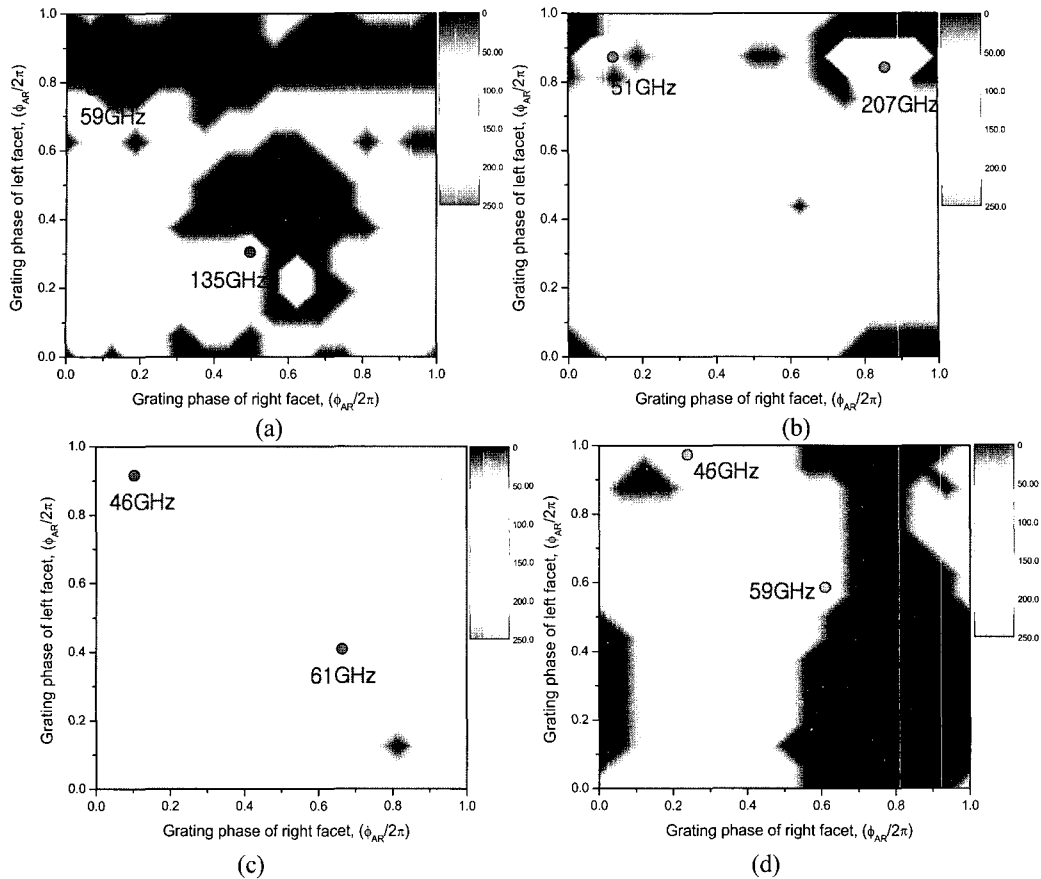


그림 3. 여러 가지 결합세기에 대하여 단면 반사율이 1%이고 최대 수율을 나타내는 위상 조정 영역의 위상을 가질 때 양 단면 회절격자 위상을 변화시켜 구한 다중 영역 IC DFB 레이저의 SP 주파수. 짙게 표시된 부분이 criterion 을 만족하지 못하는 부분을 나타낸다. (a)  $\kappa L=1.2$ , (b)  $\kappa L=2$ , (c)  $\kappa L=3$ , (d)  $\kappa L=4$ .

우로 단면 반사율이 증가할수록 예상대로 위상 조정 영역의 전 위상에 걸쳐 수율이 감소하는 것을 볼 수 있었다. 단면 반사율이 0.1%에서 1%로 증가할 경우 최대 수율은 87%에서 57%로 크게 감소하였다. 또한 수율이 40% 이상 되는 위상 영역 범위도 85%에서 35%로 크게 감소함을 볼 수 있었다. 단면 반사율이 2% 와 5%인 경우는 최대 수율이 각각 40% 와 17% 이고 전 위상에 걸쳐 매우 낮은 수율 특성을 보였다. 위상 조정 영역의 위상이  $1.6\pi$  부근에서는 모든 단면 반사율에 대하여 10% 이하의 매우 낮은 수율을 보였다. 최대 수율을 가지는 위상 값은 단면 반사율에 따라 달라지는 것을 볼 수 있었다.

그림 4(b)는 결합세기가 2인 경우로 단면 반사율이 0.1%인 경우 위상 조정 영역의 위상 값이  $\pi$ 에서  $1.7\pi$ 인 넓은 영역에서 100%의 수율을 보였으며 수율이 40% 이상 되는 위상 영역 범위도 75%로 매우 넓음을 볼 수 있었다. 단면 반사율이 0.5% 와 1%인 경우 최대 수율은 각각 99% 와 89% 이고 수율이 40% 이상 되는 위상 조정 영역의 위상 범위는 각각 60% 와 50% 임을 볼 수 있었다. 단면 반사율이 2%인 경우는 최대 수율이 62%로 앞의 세 단면 반사율에 비하여 매우 낮아졌고 수율이 40% 이상 되는 위상 조정 영역의 위상 범

위도 30%로 작아졌다. 단면 반사율이 5%인 경우는 최대 수율이 26%이고 전 위상에 걸쳐 매우 낮은 수율 특성을 보였다. 최대 수율을 나타내는 위상 조정 영역의 위상은 단면 반사율에 관계없이 거의 일정한 값을 가짐을 볼 수 있었다. 그림 4(a)와 비교하면 위상 조정 영역의 위상 변화에 따른 수율 변화가 크음을 볼 수 있었다.

그림 4(c)는 결합세기가 3인 경우로 단면 반사율이 0.1%, 0.5%, 와 1%인 경우 최대 수율은 100%로 같으나 단면 반사율이 커질수록 100%의 수율을 나타내는 위상 조정 영역의 위상 범위가 작아짐을 볼 수 있었다. 수율이 40% 이상 되는 위상 조정 영역의 위상 범위는 단면 반사율이 0.1%, 0.5%, 와 1%인 경우 각각 50%, 50%, 와 45%임을 볼 수 있었다. 단면 반사율이 2%인 경우는 최대 수율이 85%로 앞의 세 단면 반사율에 비하여 작아졌고 수율이 40% 이상 되는 위상 조정 영역의 위상 범위도 35%로 작아졌다. 단면 반사율이 5%인 경우는 최대 수율이 26% 이고 전 위상에 걸쳐 매우 낮은 수율 특성을 보였다. 최대 수율을 나타내는 위상 조정 영역의 위상은 단면 반사율에 관계없이  $1.8\pi$  근처에서 발생하였다. 위상 조정 영역의 위상이  $0.3\pi$ 에서  $\pi$ 까지는 수율이 거의 0%로 매우 낮게 나타나 앞의 두 결합세기에 비하여 수

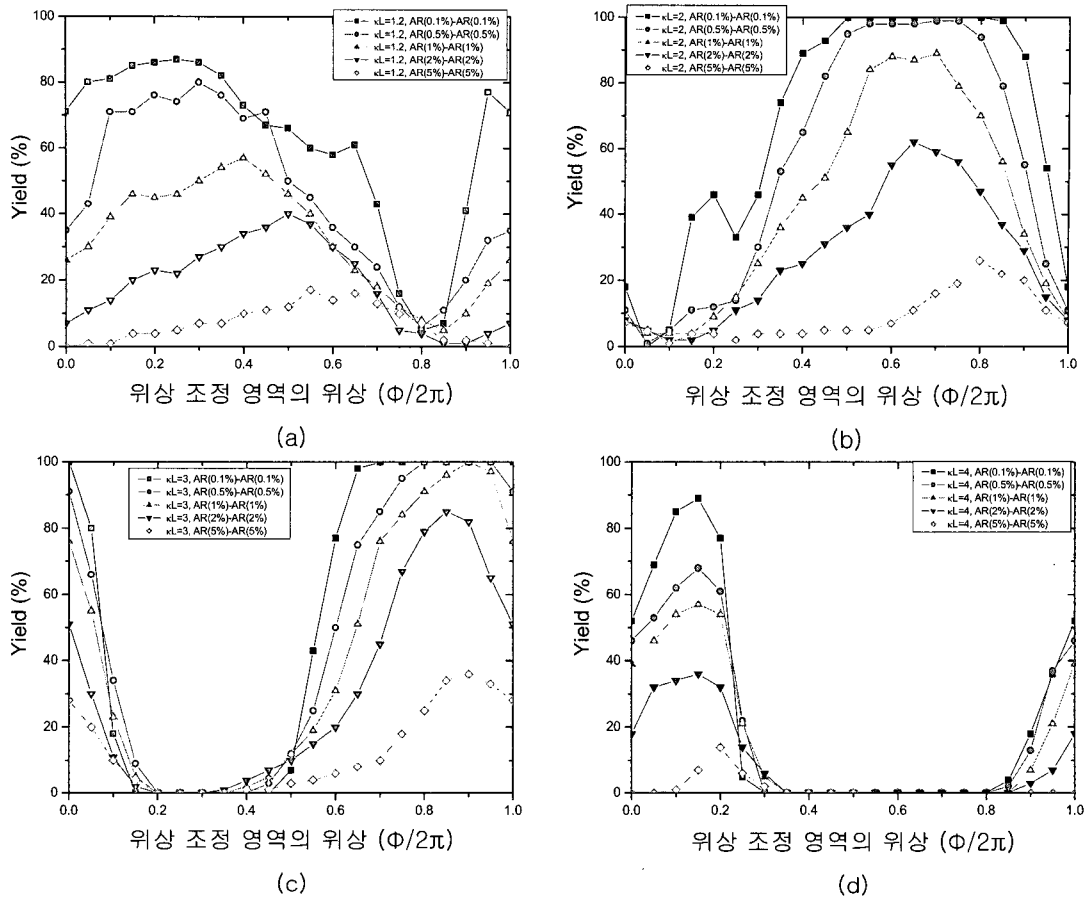


그림 4. 여러 가지 결합세기에 대하여 단면 반사율과 위상 조정 영역의 위상 변화에 따른 다중 영역 IC DFB 레이저의 수율. (a)  $\kappa L=1.2$ , (b)  $\kappa L=2$ , (c)  $\kappa L=3$ , (d)  $\kappa L=4$ .

율이 매우 낮게 나타나는 위상 조정 영역의 위상 범위가 넓어짐을 볼 수 있었다.

그림 4(d)는 결합세기가 4인 경우로 여러 결합세기 중 가장 좋지 않은 수율 특성을 보였다. 단면 반사율에 관계없이 수율이 0%인 위상 조정 영역의 위상 범위도  $0.6\pi$ 에서  $1.7\pi$ 로 가장 넓게 나타났다. 단면 반사율이 0.1%, 0.5%, 와 1%인 경우 최대 수율은 각각 89%, 68%, 와 57%이며 수율이 40% 이상 되는 위상 조정 영역의 위상 범위는 각각 25%, 25%, 와 20%임을 볼 수 있었다. 단면 반사율이 2%와 5%인 경우는 최대 수율이 각각 36%와 25%이며 전 위상에 걸쳐 매우 낮은 수율 특성을 보였다. 최대 수율을 나타내는 위상 조정 영역의 위상 값은 양 단면 반사율에 관계없이  $0.3\pi$  근처에서 발생하였다.

전체적으로 결합세기에 상관없이 단면 반사율이 증가 할수록 최대 수율과 수율이 40% 이상 되는 위상 조정 영역의 위상 범위가 감소함을 볼 수 있었다. 또한 결합세기가 커질수록 위상 조정 영역의 위상 변화에 따른 수율의 변화가 커지고 단면 반사율의 변화에 따른 최대 수율을 주는 위상 조정 영역의 위상 값의 변화가 작음을 볼 수 있었다. 결합세기가

2와 3일 경우가 1.2와 4인 경우에 비하여 수율 특성이 좋을 수 있었다. 여러 가지 결합세기에 대하여 각각의 단면 반사율에서 발생하는 최대 수율과 수율이 40% 이상 되는 위상 조정 영역의 위상 범위를 표 3에 정리하였다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 다중 영역 IC DFB 레이저의 각 DFB 영역의 결합세기가 1.2, 2, 3,과 4일 때 양 단면 잔류 반사율과 회절격자 위상 및 위상 조정 영역의 위상이 SP 동작 특성에 미치는 영향을 수율 관점에서 살펴보았다.

결합세기가 작을수록 양 단면 반사율이 증가할 때 양 단면과 다른 DFB 영역에서 반사되는 필드가 모드의 특성에 미치는 영향이 커져 양 단면 회절격자 위상 변화에 따른 발진 모드의 호핑이 많이 발생하고 수율이 감소하며 전체적으로 불안정한 SP 동작 특성을 보였다. 결합세기가 커질수록 양 단면 반사율이 증가하여도 양 단면과 다른 DFB 영역에서 반사되는 필드가 모드의 특성에 미치는 영향이 작아져 양 단면 회절격자 위상 변화에 따른 모드의 호핑은 적게 발생하나

표 3. 여러 가지 결합세기에 대하여 각각의 단면 반사율에서 발생하는 최대 수율과 수율이 40% 이상 되는 위상 조정 영역의 위상 범위

결합세기 \ 단면 반사율	최대 수율(%)					수율이 40% 이상 되는 위상 조정 영역의 위상 범위				
	0.1%	0.5%	1%	2%	5%	0.1%	0.5%	1%	2%	5%
$\kappa L=1.2$	87%	80%	57%	40%	17%	85%	55%	35%	5%	0%
$\kappa L=2$	100%	99%	89%	62%	26%	75%	60%	50%	30%	0%
$\kappa L=3$	100%	100%	100%	85%	36%	50%	50%	45%	35%	0%
$\kappa L=4$	89%	68%	57%	36%	25%	25%	25%	20%	0%	0%

SHB 효과가 증가하여 수율이 감소하는 것을 볼 수 있었다. 결합세기에 상관없이 단면 반사율이 증가 할수록 최대 수율과 수율이 40% 이상 되는 위상 조정 영역의 위상 범위가 감소함을 볼 수 있었다. 또한 결합세기가 커질수록 위상 조정 영역의 위상 변화에 따른 수율의 변화가 커지고 단면 반사율의 변화에 따른 최대 수율을 주는 위상 조정 영역의 위상 값의 변화가 작음을 볼 수 있었다. 결합세기가 2와 3일 경우가 1.2와 4인 경우에 비하여 수율 특성이 좋음을 볼 수 있었다.

여러 가지 결합세기에 대하여 단면 반사율이 0.1%인 경우에는 양 단면을 완전 무 반사 코팅한 경우와 비교하여 특성이 거의 달라지지 않음을 볼 수 있었다. 결합세기가 4인 경우에는 다른 결합세기에 비하여 수율이 40% 이상 되는 위상 조정 영역의 위상 범위가 매우 작게 나타났다. 결합세기가 가장 작은 1.2 인 경우에는 단면 반사율이 증가할수록 수율 특성이 급격히 나빠져 단면 반사율이 1%인 경우에도 최대 수율이 57% 이고 수율이 40% 이상 되는 위상 조정 영역의 위상 범위도 35% 로 작게 나타났다. 반면에 결합세기가 2와 3인 경우에는 DFB 영역의 발진 모드가 외부의 영향을 적게 받고 SHB 효과도 크지 않아 단면 반사율이 1% 인 경우에도 최대 수율과 수율이 40% 이상 되는 위상 조정 영역의 위상 범위가 큼을 볼 수 있었다.

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2006-000-11342-0)와 송실대학교 교내연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

[1] M. Möhrle, B. Sartorius, C. Bornholdt, S. Bauer, O. Brox, A. Sigmund, R. Steingrüber, M. Radziunas, and H.-J. Wünsche, "Detuned grating multisection-RW-DFB lasers for high-speed optical signal processing," *IEEE J. Select. Topics on Quantum Electron.*, vol. 7, no. 2, pp. 217-223, 2001.

[2] R.-P. Braun, G. Grosskopf, H. Heidrich, C. V. Helmolt, R. Kaiser, K. Kruger, U. Kruger, D. Rohde, F. Schmidt, R. Stenzel, and D. Trommer, "Optical microwave generation and transmission experiments in the 12- and 60-GHz region for wireless communications," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 46, no. 4, pp. 320-330, 1998.

[3] M. Saruwatari, "All-optical signal processing for terabit/second optical transmission," *IEEE J. Select. Topics on Quantum Electron.*, vol. 6, no. 6, pp. 1363-1374, 2000.

[4] M. Al-Mumin, X. Wang, W. Mao, S. A. Pappert, and G. Li, "Optical generation and sideband injection locking of tunable 11-120 GHz microwave/millimeter signals," *Electron. Lett.*, vol. 36, no. 18, pp. 1547-1548, 2000.

[5] H.-J. Wünsche, M. Radziunas, S. Bauer, O. Brox, and B. Sartorius, "Modeling of mode control and noise in self-pulsating PhaseCOMB lasers," *IEEE. J. Select. Topics Quantum Electron.*, vol. 9, no. 3, pp. 857-864, 2003.

[6] J. Carroll, J. Whiteaway, and D. Plumb, "Distributed feedback semiconductor lasers", London: SPIE Optical Engineering Press, 1998.

[7] 김부균, 김태영, 김상택, 김선호, 박경현, "매우 넓은 영역의 Self-Pulsation 주파수와 높은 변조지수를 가지는 다중 영역 복소 결합 DFB 레이저," *한국광학회지*, vol. 17, no. 2, pp. 191-197, 2006.

[8] 김상택, 전재두, 김부균, "Index-coupled DFB 레이저의 여러 가지 양 단면 반사율 조합에 따른 문턱 전류 이상에서 단일 모드 수율 해석," *한국광학회지*, vol. 14, no. 3, pp. 298-305, 2003.

## Effect of the Reflectivity of Both Facets and the Phase of a Phase Tuning Section on the Yield Characteristics of a Multisection Index-Coupled DFB Laser

Tae-Young Kim, Jong-In Ryu and Boo-Gyoun Kim<sup>†</sup>

*School of Electronic Engineering, Soongsil University, Seoul 156-743, KOREA*

<sup>†</sup>*E-mail: bgkim@e.ssu.ac.kr*

(Received October 23, 2006, Revised manuscript December 21, 2006)

We investigate the effect of the reflectivity of both facets and the phase of a phase tuning section on the self-pulsation (SP) characteristics of multisection index-coupled (IC) DFB lasers composed of two index-coupled DFB sections and a phase tuning section between them in terms of yield. In the case of weak coupling strength, as the reflectivity of both facets increases, the effect of reflected fields from both facets and the other DFB section on the mode characteristics of one DFB section increases. Thus the number of mode hopping increases and yield decreases for the variation of phases of both facets. In the case of strong coupling strength, as the reflectivity of both facets increases, the spatial hole burning effect increases, so that the yield decreases. The maximum yield and the range of the phase of a phase tuning section with yield more than 40% decrease as the facet reflectivity increases irrespective of coupling strength. As the coupling strength increases, the variation of yield for the variation of the phase of a phase tuning section increases and the variation of the phase of a phase tuning section with the maximum yield for the variation of the reflectivity of both facets decreases. The yield characteristics of the cases with the coupling strengths of 2 and 3 are better than those with the coupling strengths of 1.2 and 4.

OCIS code : 140.2020, 140.3490, 140.5960.