

論文94-31A-5-10

## 굴절을 도파 어레이의 모드 선별성, 방사빔폭 및 모드 안정성에 관한 연구

(A study on the supermode discrimination, radiation angles, and modal stability of index-guided laser arrays)

權 奇 英\*, 權 寧 世\*\*

(Kee Young Kwon and Young Se Kwon)

### 要 約

Coupled mode theory를 이용하여, 6 개의 채널을 갖는 굴절을 도파 레이저 어레이에서 채널폭과 채널간 간격을 chirping해 줄 때, 각 supermode의 near field 및 near field intensity pattern과 modal gain, 그리고 방사각이 어떻게 영향을 받는지를 분석 연구하였다. Channel chirping과 spacing chirping은 모드 선별 특성과 방사각에 주는 영향의 정도가 다르고, 그 경향도 판이하다. 채널간 간격은 방사각을 조절하는 독립 변수가 될 수 있으며, 좁은 방사각과 우수한 모드 선별 특성을 갖는 구조로 asymmetrically  $\nabla$  channel-chirped array 구조를 제안하였다. Modal stability를 향상시키기 위한 방법을 모드 선별 특성의 관점에서 비교하면, uniform array에서 양쪽 가장자리의 채널간 간격만을 좁힌 방법 I 이, 양쪽 가장자리의 채널폭만을 넓힌 방법 II 보다 우수하다. 한쪽 끝은 채널간 간격을 좁히고 다른쪽 끝은 채널폭을 넓힌 방법 III는, 방법 I 보다는 좁은 방사각을 가지며, 동시에 채널간 간격을 좁혀준 쪽의 맨 끝 채널에 손실을 크게해 줌으로써 방법 II 보다는 우수한 모드 선별 특성을 갖는다.

### Abstract

We have studied the effect of channel and/or spacing chirpings on the near field and near field intensity patterns, modal gains and radiation angles of 6 supermodes in the index-guided laser arrays with 6 channels, on the basis of the coupled mode theory. The spacings between channels can be independent parameters for control of the radiation angle. It is found that an asymmetrically  $\nabla$  channel-chirped array has both a smaller radiation angle and better supermode discrimination characteristics than a uniform array.

Comparing two approaches for enhancing modal stability in point of supermode discrimination characteristics, approach I which increases the coupling coefficient between the outer-most waveguides at each end of an otherwise uniform array, has superior discrimination characteristics to the approach II which increases the propagation constant for the end elements with the same coupling between neighbor elements. Approach III which has a narrower spacing between the outer-most waveguides at one end and a wider channel width of the outer-most waveguide at another end, gets a narrower radiation angle than the approach I and good supermode discrimination characteristics by applying optimized gain profiles.

\* 正會員, 公州大學校 電子工學科  
(Dept. of Elec. Eng., Kongju Nat'l Univ.)

\* 正會員, 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Korea Advanced  
Institute of Science and Technology)

接受日字: 1993년 7월 22일

## I. 서론

Single laser diode는 diode의 거울면이 파괴됨으로 인하여 광출력에 한계가 오며, 이를 극복하기 위하여 거울면 근방에서 흡수가 일어나지 않도록 window laser 구조를 택하거나, lasing spot을 크게 해주거나, antireflection coating을 해주거나 하지만 마찬가지로 근본적인 한계에 부딪치게 된다. 따라서 광출력을 높이기 위하여서는 phased-locked laser array 구조를 선택하지 않을 수 없으며, 이때 문제가 되는 것은 array 구조를 어떻게 해주어야 fundamental supermode가 발진하도록하여 좁은 폭을 갖는 single lobe beam을 얻느냐 하는 것이다.<sup>[1]</sup>

본 논문은 6개의 채널을 갖는 굴절을 도파 레이저 어레이에서 채널폭과 채널간 간격을 어떻게 해주는 것이, supermode 선별 특성을 좋게 해주는 것이며 동시에 좁은 방사각을 갖도록 해주는 것이냐 하는 것을 coupled mode theory에 근거하여 연구하였다. 또한 modal stability를 향상시키는 방법에 대하여, 모드 선별 특성과 방사각의 관점에서 그 우수성을 비교 연구하였다.

## II. 이론 및 계산결과

### 1. 이론

편의상 레이저의 파장은 0.9  $\mu\text{m}$ 로 택하였으며, 채널의 굴절율은 3.43, 두 채널의 사이에서의 굴절율은 3.427로 하였다. Near field pattern의 계산은 참고문헌 [2]에 소개된 coupled mode theory에 의하여 계산하였으며, far field pattern은 near field pattern을 fast Fourier Transformation (FFT) 하여서 얻었다. 이 계산에서, 주입된 carrier가 굴절율에 미치는 효과나 optical field가 carrier 분포에 미치는 효과 등은 고려하지않고, 채널을 단순 수동 도파관으로 해석하는 passive array theory를 적용하였다.

### 2. Chirping의 효과

채널폭과 채널간 간격을 chirping하는 것이 어떠한 효과를 주는지를 알아보기 위해서, 총 array 폭은 34  $\mu\text{m}$ 로 고정하고 다음과 같은 세 경우로 나누어 연구하였다.

Case 1 : 채널간 간격은 고정하고, 채널폭만 변화

Case 2 : 채널폭은 고정하고, 채널간 간격만 변화

Case 3 : 채널폭과 채널간 간격을 모두 변화

위 세 경우에 해당하는 특정한 11개의 array가 표

표 1. 특정한 11 개의 레이저 다이오드 어레이에 대한 명세표.  $w_{sub i}$  는  $i$  번째 emitter의 채널폭이고,  $s_{sub ij}$  는  $i$  번째 채널과  $j$  번째 채널간의 간격이다. 모든 단위는 micrometer 이다

Table 1. The specifications for the typical eleven laser diode arrays.  $w_{sub i}$  indicates the channel width of  $i$ -th emitter and  $s_{sub ij}$  indicates the spacing between  $i$ -th channel and  $j$ -th channel. All units are in micrometers.

laser No.	$w_1$	$s_{12}$	$w_2$	$s_{23}$	$w_3$	$s_{34}$	$w_4$	$s_{45}$	$w_5$	$s_{56}$	$w_6$
I	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
II	2.75	2	3.25	2	3.75	2	4.25	2	4.75	2	5.25
III	3.5	2	4	2	4.5	2	4.5	2	4	2	3.5
IV	4.5	2	4	2	3.5	2	3.5	2	4	2	4.5
V	4.5	2	4.25	2	3	2	3.6	2	4.15	2	4.5
VI	4	2.5	4	2.25	4	2	4	1.75	4	1.5	4
VII	4	2.25	4	2	4	1.5	4	2	4	2.25	4
VIII	4	1.75	4	2	4	2.5	4	2	4	1.75	4
IX	2.75	3	3.25	2.5	3.75	2	4.25	1.5	4.75	1	5.25
X	3.3	2.35	4	1.65	4.7	1.3	4.7	1.65	4	2.35	3.3
XI	4.7	1.65	4	2.35	3.3	2.7	3.3	2.35	4	1.65	4.7

1.에 요약되어있다. Laser I은 uniform array이며, laser II ~ V는 case 1에, laser VI ~ VIII은 case 2에, laser IX ~ XI은 case 3에 각각 해당한다. Supermode의 선별 특성을 보다 정량적으로 비교하기 위하여, threshold 근방에서 array channel에서의 이득 분포가 fundamental supermode의 intensity 분포에 비례한다고 가정하고<sup>[3]</sup>, 다음과 같이 각 supermode 별로 modal gain을 계산하였다.

$$G_\nu = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} g(y) E_\nu^2(y) dy}{\int_{-\infty}^{\infty} E_\nu^2(y) dy}$$

여기서  $g(y)$ 는 lateral  $y$  direction으로의 공간 이득 분포 함수이고,  $E_\nu(y)$ 는  $\nu$ -th order supermode의 near-field 이다.

#### (1) Case 1

먼저 uniform array에 해당하는 laser I의 계산 결과를 보면 Fig. 1(a)와 같다. 6개 supermode의 near field pattern (solid line)과 near field intensity pattern (dashed line)이 순서대로 위에서부터 아래로 나타나있으며, fundamental supermode

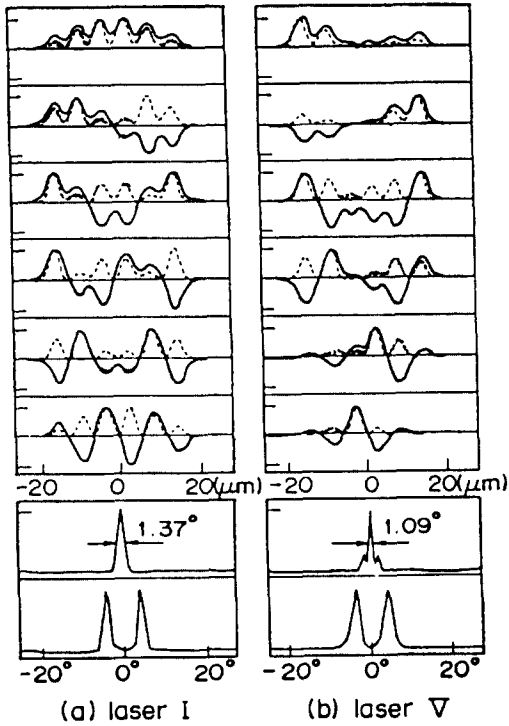


그림 1. 각 굴절률 도파 레이저 어레이에 존재하는 6 개 supermode의 near-field profile (실선)과 near-field intensity profile (점선) : (a)laser I (uniform array) (b)laser V (asymmetrically  $\nabla$ channel-chirped array). Fundamental supermode와 최고차 supermode의 far-field intensity pattern이 맨 아래에 삽입되었음.

Fig. 1. Calculated near-field (solid line) and near-field intensity (dashed line) profiles of the six supermodes supported by (a)laser I and (b)laser V.

와 최고차 supermode의 far-field intensity pattern이 아래에 첨가되었다. Fundamental supermode의 방사각(Full Width at Half Maximum)은  $1.37^\circ$ 이다. 그러나 uniform array에서 fundamental supermode는 threshold 근방에서 최고의 이득을 얻지 못한다는 것을 Fig. 5(a)에서 알 수 있으며, 최고차 supermode가 최고의 이득을 얻어 발전하게 되고, 따라서 방사빔이 두 개의 돌출부를 갖는 넓은 빔이 되어 문제가 된다.

Fig. 2(a)에 소개된 linearly channel-chirped

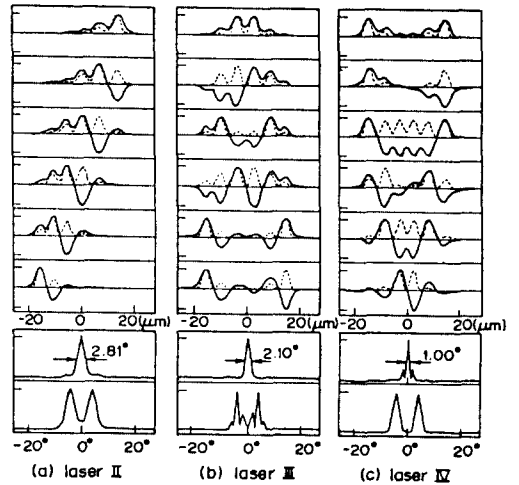


그림 2. 각 굴절률 도파 레이저 어레이에 존재하는 6 개 supermode의 near-field profile(실선)과 near-field intensity profile(점선) : (a)laser II (linearly channel-chirped array) (b)laser III ( $\wedge$  channel-chirped array) (c)laser IV ( $\nabla$  channel-chirped array).

Fig. 2. Calculated near-field (solid line) and near-field intensity (dashed line) profiles of the six supermodes supported by (a)laser II, (b) laser III and (c)laser IV.

array (laser II)는 Fig. 5(b)에서 보듯이 고차 supermode에 대한 fundamental supermode의 모드 선별성이 매우 우수하다. 이는 fundamental supermode의 near field pattern이 이득분포와 크게 중첩되기 때문이다. 그러나 이 구조의 큰 단점은 다른 구조에 비하여 effective light emitting area가 좁아서, fundamental supermode 일지라도 보다 넓은 방사각 ( $2.81^\circ$ )을 갖는다는 것이다. 또한 각 채널은 단 한 개의 모드만 도파시켜야 하는 조건에 의하여, 가장 넓은 채널의 폭이 제한을 받는 불편함이 있다.

$\wedge$  channel-chirped array (laser III)는 Fig. 5(c)에서 보는 바와 같이 linearly channel-chirped array (laser II)보다는 나쁘지만, uniform array (laser I)보다는 좋은, 비교적 양호한 supermode 선별성을 갖고 있다. Fig. 2(b)를 보면 비교적 좁은 유효 방사폭으로 인하여 방사각은  $2.10^\circ$ 로 비교적 큰 편이다.

$\nabla$  channel-chirped array (laser IV : Fig. 2(c))는 유효 방사폭이 넓어서, case 1과 case 2에 속

하는 array 중에서는 가장 좁은 fundamental supermode의 방사각( $1.00^\circ$ )을 갖는다. 그러나 Fig. 5(d)에서 보는 바와 같이 second order supermode가 최고의 이득을 얻어 발전하므로 방사 빔은 두 개의 돌출부를 갖고  $1.00^\circ$ 보다 넓어진다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 채널 사이에 이득을 높여줌으로써 fundamental supermode가 발전하게 할 수 있으나,<sup>14, 15</sup> 이때는 high threshold current와 low differential quantum efficiency를 감수해야 한다.

Fig. 1(b)에 보여주는 asymmetrically  $\nabla$  channel-chirped array (laser V)는 fundamental supermode의 방사각이  $1.09^\circ$ 로 매우 좁다. 뿐만 아니라, Fig. 5(e)에 나타난 고차 supermode에 대한 fundamental supermode의 모드 선별성도 우수하여,  $\nabla$  channel-chirped array (laser IV : Fig. 5(d))보다 향상된 결과를 보여준다. Fundamental supermode의 far-field intensity pattern 상에

나타난 두 개의 sidelobe의 크기가  $\nabla$  channel-chirped array (laser IV : Fig. 2(c))의 경우보다 낮아진 것 또한 향상된 점이다.

(2) Case 2

Linearly spacing-chirped array (laser VI : Fig. 3(a))는 Fig. 6(a)에서 보듯이, 모드 선별 특성이 linearly channel-chirped array (laser II)의 경우(Fig. 5(b))와는 아주 다르며, 최고차 모드가 최고의 이득을 얻어 발전하게 되고, 따라서 two lobe beam을 얻게 되어 바람직하지 못하다. Fundamental supermode의 방사각은  $1.80^\circ$ 로 uniform array의  $1.37^\circ$ 보다 큰데 이것은 laser II의 경우처럼 좁은 유효 방사폭을 갖기 때문이나, laser II만큼 심하지는 않다.

$\nabla$  spacing-chirped array (laser VII : Fig. 3(b))는 Fig. 6(b)에서 보듯이, linearly spacing-chirped array (laser VI)의 모드 선별 특성(Fig. 6(a))와 유사한 것을 알 수 있고, fundamental supermode의 방사각은  $1.86^\circ$ 로 laser VI보다 조금 크다.

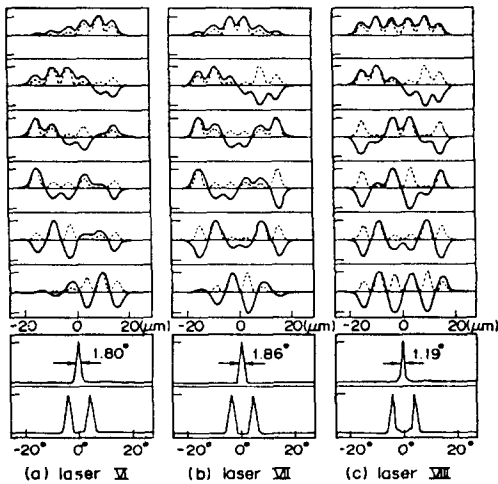


그림 3. 각 굴절율 도파 레이저 어레이에 존재하는 6 개 supermode의 near-field profile (실선)과 near-field intensity profile (점선) : (a)laser VI (linearly spacing-chirped array) (b)laser VII ( $\nabla$  spacing-chirped array) (c)laser VIII ( $\wedge$  spacing-chirped array).

Fig. 3. Calculated near-field (solid line) and near-field intensity (dashed line) profiles of the six supermodes supported by (a)laser VI, (b)laser VII and (c)laser VIII.

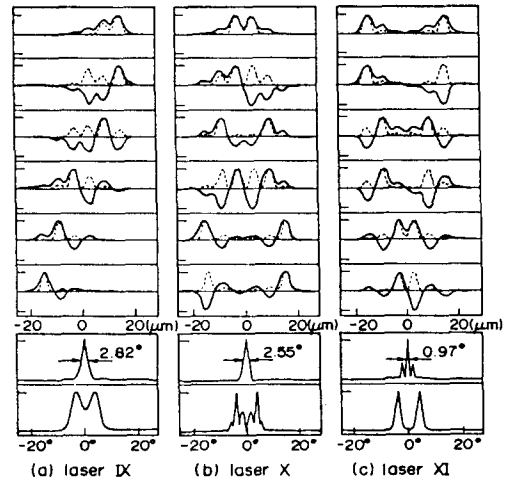


그림 4. 각 굴절율 도파 레이저 어레이에 존재하는 6 개 supermode의 near-field profile (실선)과 near-field intensity profile (점선) : (a)laser IX (b)laser X (c) laser XI.

Fig. 4. Calculated near-field (solid line) and near-field intensity (dashed line) profiles of the six supermodes supported by (a)laser IX, (b)laser X and (c)laser XI.

△ spacing-chirped array (laser VIII : Fig. 3 (c))는 Fig. 6(c)에서 보는 바와 같이 매우 나쁜 모드 선별성을 가지며, fundamental supermode의 방사각은  $1.19^\circ$ 이다.

일반적으로 case 2에 속하는 array들은 모두 linearly spacing-chirped array (laser VI)의 모드 선별 특성(Fig. 6(a))과 유사한 형태의 모드 선별 특성을 갖는다. 즉, fundamental supermode와 최고차 supermode의 intensity pattern은 유사하며, 보통은 채널 사이 영역에서 손실이 있으므로, 항상 최고차 supermode가 발진하게 되고, 따라서 far field intensity pattern에 두 개의 돌출부가 나타나 큰 방사각을 얻게 된다. Fundamental supermode와 최고차 supermode를 제외한 나머지 supermode들은 언제나 이 두 모드 보다 작은 이득을 갖는 경향을 보이며, 그 작은 정도는 spacing을 어떻게 chirping 하였는가 하는 것에 따라 다소 다르다. 만약 채널 사이 영역에서 이득을 갖도록 pumping 해주면, case 2에 속한 모든 array는 fundamental supermode가 발진하게 되고, 따라서 single lobe beam을 얻을 수 있다

(3) Case 3

채널폭과 채널간 간격을 모두 변화시킨 특정 예로 laser IX, X 그리고 XI에 대한 결과가 Fig. 4

(a), (b) 및 (c)에 각각 나타나 있고, 이들의 모드 선별성은 Fig. 7에 요약 되었다. 정리하면, 이 경우는 고차 supermode에 대한 fundamental supermode의 모드 선별성이 case 2 보다 우수하며, Fig. 7(a), (b) 및 (c)는 각각 Fig. 5 (b), (c) 및 (d)와 유사함을 알 수 있다. 따라서 우수한 모드 선별성은 채널간 간격 보다 채널폭을 변화시킴으로써 얻을 수 있는 것을 알 수 있다. 채널폭은 chirping된 채로 한 형태로 고정시키고, 채널간 간격을 바꿈으로써 총 방사각을 바꿀 수 있으며, 따라서 방사각을 조절하는 것이 가능하다. 이때 chirping된 채널폭으로 인하여 모드 선별 특성은 크게 변화하지 않으므로, 채널간 간격은 방사각을 조절하는 독립 변수가 될 수 있음을 알 수 있다.

결론적으로, chirping된 채널폭은 각 채널의 effective index를 변화시키고, 동시에 각 채널의 beam 강도를 변화시켜서, 모드 선별 특성과 방사각에 영향을 끼친다. Spacing chirping을 하더라도 모드 선별 특성과 방사각을 조절할 수 있으나, channel chirping의 경우보다 그 정도가 약하며, 또한 그 변화하는 경향도 상이하다. 결국 채널폭과 채널간 간격을 적절히 조절하여 원하는 모드 선별 특성과 방사각을 얻

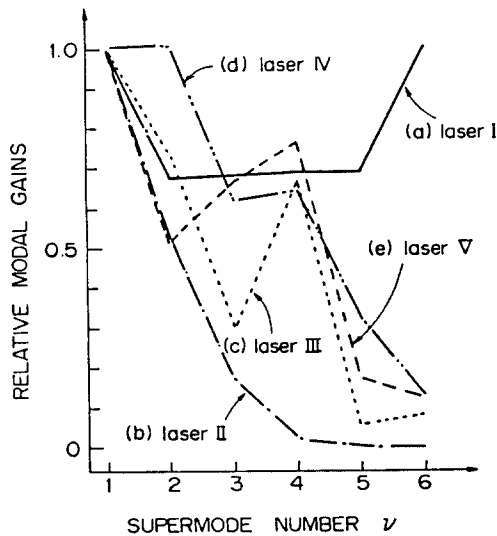


그림 5. 레이저 I ~ V에서 각 supermode의 상대적인 modal gain의 크기 비교

Fig. 5. Comparison between the relative modal gains of the supermodes of lasers I ~ V.

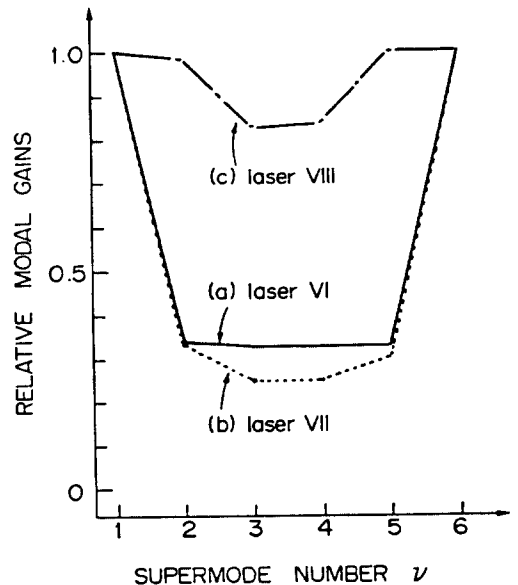


그림 6. 레이저 VI ~ VIII에서 각 supermode의 상대적인 modal gain의 크기 비교

Fig. 6. Comparison between the relative modal gains of the supermodes of lasers VI ~ VIII.

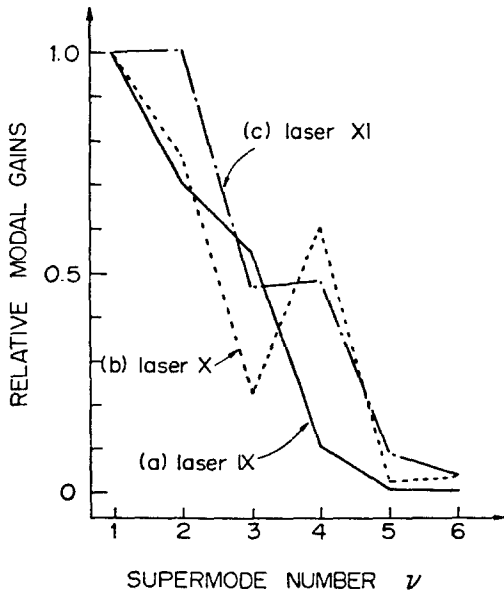


그림 7. 레이저 IX ~ XI 에서 각 supermode의 상대적인 modal gain의 크기 비교

Fig. 7. Comparison between the relative modal gains of the supermodes of lasers IX ~ XI.

을 수 있다. 또한 채널간 간격은 방사각을 조절하는 독립 변수가 될 수 있다. 계산 결과 asymmetrically  $\nabla$  channel-chirped array (laser V)는 uniform array (laser I) 보다 좁은 방사각과 우수한 모드 선별성을 가짐을 발견하였다.

3. Modal stability

Array에서 lateral direction으로의 광세기의 불균일성은 spacial hole burning으로 인하여 carrier 분포의 불균일을 야기시키며, 이는 고차 supermode의 발진을 유도하여 결국 방사각이 넓어지는 악영향을 미친다. 따라서 near field pattern을 균일하게 하는 것은 높은 광출력에서도 fundamental supermode가 발진하게 하도록 하기위해서 중요한 조건이 된다. Fundamental supermode의 modal stability를 향상시키기 위한 두 가지 시도 중 첫번째 [방법 I] 은 uniform array에서 채널폭은 일정하게 유지하고, 양쪽 가장자리에서의 채널간 간격만을 좁혀서 coupling coefficient를 다른 것의  $\sqrt{2}$  배가 되게 하는 방법이고, <sup>6)</sup> 두번째 [방법 II] 는 uniform array에서 채널간 간격을 일정하게 유지하고, 양쪽 가장자리에서의 채널폭만을 넓혀주어 전파

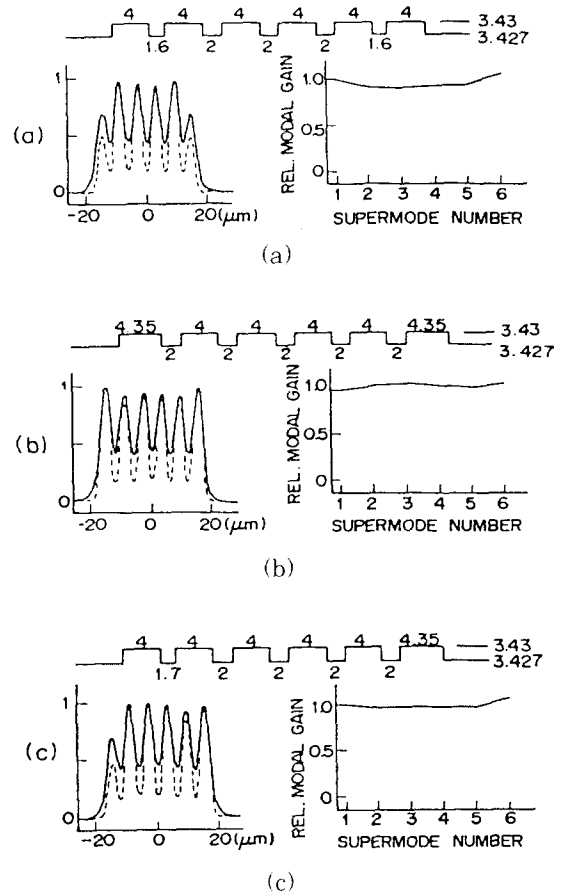


그림 8. 세 가지 방법에 의한 특정 굴절률 도파 어레이에 존재하는, 각 fundamental supermode의 near-field profile(실선)과 near-field intensity profile(점선) : (a) 방법 I (b) 방법 II (c) 방법 III. 채널폭과 채널간 간격, 유효 굴절률 분포가 상단에 삽입되어있다. 이득 분포가 fundamental supermode의 intensity envelope에 비례한다고 하였을 때, 6 개 supermode가 얻는 상대 이득의 크기가 우측에 삽입되어있다.

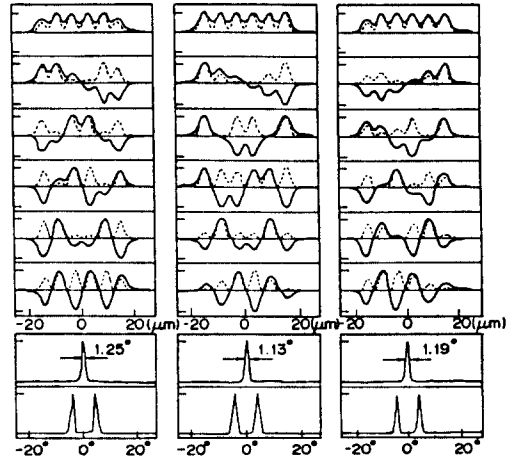
Fig. 8. Calculated near-field (solid line) and near-field intensity (dashed line) distributions of the fundamental supermodes supported by three types of index-guided arrays : (a) approach I, (b) approach II and (c) approach III. The effective index profiles are given in the inserts.

상수를 증가시키는 방법이다.<sup>[7]</sup> 이 절에서는 위 두가지 방법과 두 방법을 복합시킨 경우인 [방법 III]에 대하여, 앞 절에서와 같은 방식으로 계산하여 모드 선별 특성과 방사각의 관점에서 그 우수성을 서로 비교 고찰하였다.

세 가지 방법에 대한 구조 변수, fundamental supermode의 near-field와 near-field intensity pattern, 그리고 threshold 근방에서 이득 분포가 fundamental supermode의 intensity 분포에 비례한다고 가정하였을 때 각 supermode가 얻는 modal gain이 Fig. 8에 나타나 있다. 세 경우 모두 fundamental supermode의 near-field intensity pattern을 비교적 균일하게 하는 것에는 성공하였지만, 6개의 supermode가 얻는 이득이 서로 비슷하여 fundamental supermode가 발진하게 하도록하는 모드 선별 특성은 좋지 못하다. 이를 개선하기 위하여 채널마다 금속 전극을 따로 만들어 전류 주입을 조절하든지 또는 금속 전극의 폭을 조절함으로써, 적절히 이득 분포 형태를 바꾸어 fundamental supermode의 이득을 최고로 높여줄 수 있으며, 이때 이득 분포 형태를 어떻게 할 것인가 하는 것은 6개 supermode의 near-field intensity pattern을 참고하면 알 수 있다. 세 방법에 대한 6개 supermode의 near-field 및 near-field intensity pattern이 Fig. 9에 요약되어 있다.

먼저 방법 I에 대한 Fig. 9의 (a)에 나타난 결과에서, 양쪽 끝 채널에서의 near-field intensity peak을 비교하여 보면, fundamental supermode보다 고차 supermode들의 값이 크며, 따라서 고차 supermode들이 보다 가장자리로 광 강도가 퍼져 나감을 알 수 있다. 이에 착안하여 공간 이득 분포를 Fig. 10의 (a)에 보여주는 바와 같이 양쪽 가장자리 채널에서 손실을 증가시켜 줌으로써, 고차 supermode에 대한 fundamental supermode의 모드 선별성을 향상시킬 수 있다. II장 2절의 수식에 의해 modal gain  $G_0$ 를 계산하고  $(G_1 - G_6)/G_1$  값을 구해보면, 채널과 채널 사이에 이득이 없는 실선과 같은 공간 이득 분포를 갖는 경우는 11.6% 이고, 채널과 채널 사이에 이득을 준 점선과 같은 공간 이득 분포를 갖는 경우는 25.6%로 더 좋아짐을 알 수 있다.

Fig. 9의 (b)를 보면 방법 II인 경우에는 방법 I의 경우와 같지않아 모드 선별성을 향상시키기 위한 적절한 공간 이득 분포를 구하기가 매우 어렵다는 것을 알 수 있으며, fundamental supermode가 최고의 이득을 갖도록 하기위한 유일한 방법은, Fig. 10의 (b)에 보여주는 바와 같이 채널과 채널 사이에 현



(a) Approach I (b) Approach II (c) Approach III

그림 9. 그림 8 (a), (b) 및 (c)의 세 가지 굴절률 도파 어레이에서, 각 어레이에 존재하는 6개 supermode의 near-field profile (실선)과 near-field intensity profile (점선). Fundamental supermode와 최고차 supermode의 far-field intensity pattern이 맨 아래에 삽입되어 있음.

Fig. 9. Calculated near-field (solid line) and near-field intensity (dashed line) profiles of the six supermodes supported by three types of index-guided arrays shown in Fig. 8 (a), (b) and (c), respectively.

저한 이득을 주는, 실선과 같은 이득 분포를 가하는 것이다. 이때에도  $(G_1 - G_6)/G_1$  값은 11.3%로 저조하다. 이 경우 이득 분포와 index 분포가 불일치함으로 인하여 high threshold current와 low differential quantum efficiency를 감수해야만 한다. 따라서 모드 선별 특성의 관점에서 방법 I이 방법 II보다 우수함을 알 수 있다. 방사각의 관점에서는, 방법 II의 경우 fundamental supermode의 방사각이 1.13°로 방법 I의 1.25°보다 좁으며, 이는 Fig. 9(b)를 보면 양쪽 끝 채널에서의 광 강도가 커서 유효 방사 영역이 더 넓기 때문에 나타난 결과이다.

한쪽 끝은 채널폭을 넓혀 전파 상수를 증가시키고, 다른쪽 끝은 채널간 간격을 좁혀 coupling coefficient를 증가시켜주는 방법 III는, 방법 II가 적절한 공간 이득 분포를 형성시켜 모드 선별 특성을 향상시키기가 어려웠던 것과는 다르게, 이 경우에는

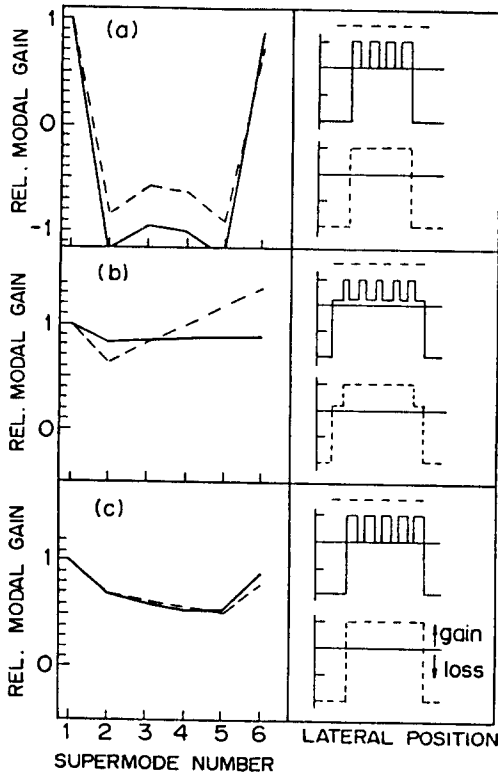


그림 10. 그림 8 (a), (b) 및 (c)의 세 가지 굴절율 도파 어레이에서, 전극을 통하여 가해지는 공간 이득 분포가 우측에 표시된 실선 및 점선과 같을 때, 각 어레이에 존재하는 6 개 supermode가 얻는 상대적인 이득의 크기 비교. 어레이 채널의 위치가 각각 우측 상단에 표시되어 있음.

Fig. 10. Relative modal gains for the supermodes supported by each of three arrays shown in Fig. 8 (a), (b) and (c), respectively. The relative positions of the array channels are shown at the top of the inserts.

공간 이득 분포를 적절히 조절하여 모드 선별성을 향상시키는 것이 가능하며, Fig. 9(c)의 near-field intensity pattern을 보면, 채널간 간격을 좁혀준 쪽의 맨 끝 채널에 손실을 크게 해주면 된다는 것을 알 수 있다. Fig. 10(c)의 실선과 같이 이득 분포를 갖도록하면  $(G_1 - G_6)/G_1$  값이 12.4 % 이고, 채널과 채널 사이에 이득을 갖도록 점선과 같이 이득 분

포를 해주면 20.6 % 로 그 값을 향상시킬 수 있다. Fig. 9(c)를 보면 fundamental supermode의 방사각이  $1.19^\circ$ 로 방법 I의  $1.25^\circ$  보다 더 좁은 것을 알 수 있으며, 이는 채널폭을 넓혀준 쪽에서 광 강도가 커서 유효 방사폭이 더 넓어짐으로 인해 야기된 결과이다. 즉 방법 III는 방법 I 보다는 좁은 방사각을 가지며, 또한 방법 II 보다는 우수한 모드 선별 특성을 갖는다는 것을 알 수 있다.

### III. 결론

Coupled mode theory를 이용하여, 6 개의 채널을 갖는 굴절율 도파 레이저 어레이에서 채널폭과 채널간 간격을 chirping해 줄 때, 각 supermode의 near field 및 near field intensity pattern과 modal gain, 그리고 방사각이 어떻게 영향을 받는지를 분석 연구하였다. Channel chirping은 각 채널의 effective index를 변화시켜 각 supermode의 near field pattern에 많은 영향을 주며, 따라서 모드 선별 특성과 방사각에 많은 영향을 준다. Spacing chirping은 channel chirping 보다 모드 선별 특성과 방사각에 주는 영향이 약하고, 그 경향도 판이하다. 좁은 방사각과 우수한 모드 선별 특성을 갖는 구조로 asymmetrically  $\nabla$  channel-chirped array 구조를 제안하였다. 채널간 간격은 방사각을 조절하는 독립 변수가 될 수 있어서, 채널폭을 조절하여 모드 선별 특성을 좋게하고, 채널간 간격을 늘려 총 emitting area를 넓혀주면 동시에 좁은 방사각을 얻을 수 있다.

Modal stability를 향상시키기 위하여, uniform array에서 양쪽 가장자리의 채널간 간격만을 좁힌 방법 I과 양쪽 가장자리의 채널폭만을 넓힌 방법 II는 모두 모드 선별 특성이 좋지 못하다. 그러나 방법 I인 경우에는, 채널마다 금속 전극을 따로 만들어, 양 가장자리 채널에 큰 손실을 갖는 이득 분포를 만들어 줌으로써, 아주 우수한 모드 선별 특성을 갖게하는 것이 가능하지만, 방법 II의 경우는 이러한 개선이 매우 어렵다. 따라서 모드 선별 특성의 관점에서 방법 I이 방법 II 보다 우수하다. 방사각의 관점에서는, 방법 II의 경우가 유효 방사 영역이 더 넓기 때문에 방사각이 더 좁다. 한쪽 끝은 채널간 간격을 좁히고 다른쪽 끝은 채널폭을 넓힌 방법 III는, 채널간 간격을 좁혀준 쪽의 맨 끝 채널에 손실을 크게 해주므로써 모드 선별 특성은 방법 II 보다 더 우수하고, 방사각은 방법 I의 경우 보다 더 좁아 우수한 특성을 갖는다.



## 参 考 文 献

- [1] D. Botez and D. E. Ackley, "Phase-locked Arrays of Semiconductor Diode Lasers," *IEEE Circuits and Devices Magazine*, pp. 8-17, Jan. 1986.
- [2] A. Yariv, *Optical Electronics (Holt-Saunders International Editions, Tokyo, 1985)*, Chap. 13.
- [3] C. P. Lindsey, E. Kappon, J. Katz, S. Margalit, and A. Yariv, "Single Contact Tailored Gain Phased Array of Semiconductor Laser," *Appl. Phys. Lett.* 45, pp. 722-724, Oct. 1984.
- [4] Y. Twu, A. Dienes, S. Wang, and J. R. Whinnery, "High Power Coupled Ridge Waveguide Semiconductor Laser Arrays," *Appl. Phys. Lett.* 45(7), pp. 709-711, Oct. 1, 1984.
- [5] E. Kappon, L. T. Lu, Z. Rav-Noy, M. Yi, S. Margalit, and A. Yariv, "Phased Arrays of Buried-Ridge InP/InGaAsP Diode Lasers," *Appl. Phys. Lett.* 46(2), pp. 136-138, Jan. 15, 1985.
- [6] W. Streifer, M. Osinski, D. R. Scifres, D. F. Welch, and P. S. Cross, "Phased-Array Lasers with a Uniform, Stable Supermode," *Appl. Phys. Lett.* 49(22), pp. 1496-1498, Dec. 1986.
- [7] J. Buus, "Semiconductor Laser Arrays with Enhanced Mode Stability," *IEEE J. of Quantum Electron.*, Vol. QE-23, No. 6, pp. 757-759, June 1987.

## 著 者 紹 介



權 奇 英(正會員)

1957年 9月 20日生. 1981年 2月 고려대학교 전자공학과 (학사). 1983年 2月 한국과학기술원 전기 및전자공학과 (석사). 1988年 2月 한국과학기술원 전기및전자공학과 (박사). 1988年 3月 ~ 1991年 2月 삼성전자(주) 반도체부문 기흥연구소 선임연구원. 1991年 3月 ~ 현재 공주대학교 전자공학과 조교수. 주관심 분야는 광전자공학, 양자전자공학, 화합물 반도체 소자 설계 및 제작 등임.

權 寧 世(正會員) 第 30 卷 A編 第 12 號 參照

현재 한국과학기술원 전기및전자공학과 교수