

## 확장된 새로운 층 방법을 이용한 사다리꼴 회절격자의 결합계수 계산

조성찬·김부균·김용곤

숭실대학교 전자공학과

(1996년 2월 8일 받음)

입의의 형태를 갖는 회절격자의 결합계수를 쉽게 계산할 수 있도록 확장된 새로운 층 방법을 제안한다. 기존의 새로운 층 방법은 회절격자 영역의 비유전상수의 종축 방향에 대해서만 평균을 취하여 결합계수를 계산하였지만 확장된 새로운 층 방법은 종축과 횡축 양 방향으로 비유전상수의 평균값을 취하여 새로운 층의 비유전상수로 설정하였다. 따라서 회절격자가 입의의 형태를 가지는 경우 새로운 층 방법에서는 새로이 설정하는 층의 비유전상수 값이 횡축으로 변화하는 함수였지만 확장된 새로운 층 방법에서는 단일 상수 값이어서 결합계수를 쉽게 계산할 수 있다. 이 방법을 사용하여 사다리꼴과 삼각형 형태의 회절격자를 가지는 5층 구조 Distributed Feedback 구조 소자의 결합계수를 계산하였다. 확장된 새로운 층 방법에 의한 결합계수 계산 결과의 정확성 검증을 통하여 사다리꼴과 같은 입의의 형태를 가지는 회절격자의 결합계수 계산에 확장된 새로운 층 방법이 매우 유용함을 보였다.

### I. 서 론

결합계수는 Distributed Feedback(DFB) 구조 소자의 특성을 결정짓는 가장 중요한 파라메타이다.<sup>[1]</sup> 결합모드 이론을 사용하여 결합계수를 계산하는 대표적인 방법은 같은 면적방법(Equal Area Method, EAM)<sup>[2]</sup>과 새로운 층 방법(Additional Layer Method, ALM)<sup>[3]</sup>이 있다. 최근에는 기하광학(ray-optics) 방법을 이용한 결합계수의 계산 결과도 발표되었다.<sup>[4]</sup> 이 중 새로운 층 방법에 의한 결과가 다른 방법보다 좀더 정확한 계산 결과를 보인다고 알려져 있다.<sup>[5]</sup>

새로운 층 방법에서는 unperturbed mode의 필드(field) 분포를 계산하기 위하여 unperturbed 광도파로 구조를 설정할 때 회절격자 영역을 광도파로를 구성하는 새로운 층으로 설정한다. 이 때 새로운 층의 비유전상수는 회절격자 영역의 비유전상수의 종축 방향으로의 평균값이다. 이 방법을 이용하여 사다리꼴과 같은 입의의 형태를 가지는 회절격자의 결합계수를 계산할 경우 새로운 층의 비유전상수가 횡축 방향으로 변화하는 함수이어서 unperturbed mode의 필드 분포를 구하기가 매우 어려웠다. 따라서 사다리꼴과 같은 입의의 형태를 가지는 회절격자의 결합계수 계산에는 같은 면적 방법이 주로 사용되어졌다<sup>[5]</sup>. 본 연구에서는 입의의 형태를 갖는

회절격자의 unperturbed mode의 필드 분포를 비교적 쉽게 구하기 위하여 새로이 설정하는 층의 굴절율이 상수가 되도록 회절 격자 영역을 종축과 횡축 양방향으로의 비유전상수의 평균값을 가지는 새로운 층으로 설정하는 확장된 새로운 층 방법(extended additional layer method, EALM)을 제안한다.

Reactive ion etching에 의해 회절격자를 제작할 경우 사다리꼴 회절격자가 생성된다.<sup>[6]</sup> 사다리꼴의 각 변의 크기와 기울기를 변화시키면 사각형과 삼각형 회절격자를 얻을 수 있다. 따라서 참고문헌 [5]에 발표된 그림 1과 같은 5층 구조 DFB 구조 소자의 결합계수를 TE 모드인 경우에 대해 확장된 새로운 층 방법을 이용하여 사다리꼴, 삼각형, 그리고 사각형 회절격자의 결합계수를 계산하였다.

확장된 새로운 층 방법의 정확성을 검토하기 위하여 회절격자 영역을 5층까지 등분하여 계산된 결합계수와 비교 검토하였다.<sup>[6]</sup> 회절격자의 영역을 분할하는 층수가 늘어남에 따라 결합계수의 차이비율이 수렴함을 볼 수 있었다. 사다리꼴 1차 회절격자인 경우는 회절격자 주기에 대한 윗변 크기의 비율이 0.25, 0.5, 그리고 0.75인 것 중에서 0.25 일 때 등분할에 따른 결합계수 차이비율이 가장 컸다. 이 때 회절격자를 5개의 층으로 등분할 한 것과 단일 층으로 놓고 계산한 것과의 최대

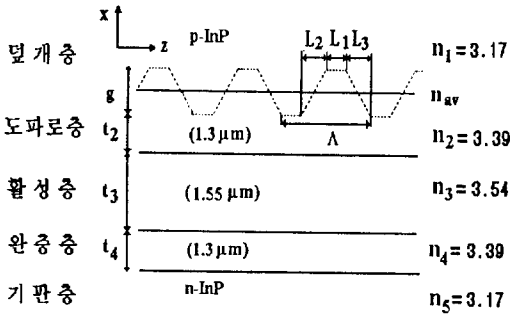


그림 1. 사다리꼴 회절격자를 갖는 5층 구조 DBF 구조 소자의 개념도.

차이비율은 0.6% 이었다. 삼각형 1차 회절격자인 경우는 비대칭성이 커질수록 등분할에 따른 결합계수 차이비율이 커져 직각 삼각형 회절격자일때 회절격자 영역을 단일층으로 놓고 계산한 결합계수와 5 개의 층으로 등분할하여 계산한 결합계수와와의 차이비율은 1.1%로 가장 컸다.

확장된 새로운 층 방법에 의한 결합계수 계산 결과의 정확성 검증을 통해 확장된 새로운 층 방법은 사다리꼴과 삼각형 회절격자와 같은 임의의 형태의 회절격자를 갖는 다층 구조 DBF 구조 소자의 결합계수 계산에 유용한 방법이라 생각된다.

## II. 수식 유도

그림 1과 같이 비유전상수가 z축 방향으로 주기적으로 변화하는 회절격자 영역이 있을 때 비유전상수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\epsilon(x, z) = \epsilon_0(x) + \sum_{q=-\infty}^{\infty} \Delta \epsilon_q(x) \text{Exp}[i2\pi qz/\Lambda] \quad (1)$$

여기서  $\epsilon_0(x)$ 는 각층의 비유전상수이고 회절격자 영역에서는 종과 횡 양 방향으로의 비유전상수의 평균치를 나타내며  $\Lambda$ 는 회절격자의 주기이다.

결합모드 이론에 의하여 결합계수를 계산할 경우 unperturbed mode의 필드 분포를 구하기 위하여 unperturbed 광도파로 구조를 설정해야 한다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 새로운 층 방법은 unperturbed 광도파로를 설정할때 회절격자 영역을 도파로를 구성하는 하나의 새로운 층으로 추가 설정한다. 따라서 회절격자를 갖는 5층 구조의 경우 unperturbed mode의 필드 분포를 구하기 위한 unperturbed 광도파로 구조는 6층 구조가 된다. 이때 추가로 설정한 층의 비유전상수는 회절격자 영역

비유전상수의 종축(Z축) 방향으로의 평균값이 된다. 새로운 층 방법의 경우 그림 1에서 처럼 회절격자 형태가 직각삼각형이 아니고 사다리꼴과 같은 임의의 형태를 가질 경우 추가로 설정한 층의 비유전상수는 종축으로만 평균을 취했으므로 횡축(X축)으로 변하는 연속함수가 된다. 도파로를 구성하는 층의 비유전상수가 상수값이 아니고 연속함수이면 모드의 필드 분포를 구하기가 매우 어렵다. 따라서 이러한 새로운 층 방법의 난점을 해결하기 위하여 제안된 것이 확장된 새로운 층 방법이다.

확장된 새로운 층 방법은 기존의 새로운 층 방법을 확장한 방법이다. 위에서 언급했듯이 기존의 새로운 층 방법은 회절격자 영역을 종 방향에 대하여서만 평균을 취하였으므로 회절격자가 사다리꼴과 같은 임의의 형태를 가질경우 평균한 비유전상수는 횡 방향으로의 연속함수가 된다. 횡 방향으로의 연속함수를 상수로 만들면 쉽게 도파모드의 필드 분포를 구할 수 있으므로 확장된 새로운 층 방법에서는 횡 방향에 대하여서도 평균을 취해주었다. 결국 확장된 새로운 층 방법은 회절격자 영역의 비유전상수를 종과 횡 양방향에 대하여 평균을 취하여 회절격자 영역을 그 평균값을 가진 하나의 새로운 층으로 놓고 unperturbed mode의 필드 분포를 구하므로써 결합계수를 계산하는 방법이다.

수식 (1)에서  $\Delta \epsilon_q(x)$ 는 푸리에계수로 사다리꼴 회절격자일 때는 다음과 같이 표현된다.

$$\Delta \epsilon_q(x) = \frac{(n_2^2 - n_1^2)}{qn} \text{Exp}\left[i \frac{2\pi q}{\Lambda} \frac{x}{g} (L_2 - L_3)\right] \sin\left[\frac{q\pi}{\Lambda} \left(L_1 + (L_2 + L_3) \frac{x}{g}\right)\right] \quad (2)$$

여기서  $n_1$ 은 덮개층(cover)의 굴절율,  $n_2$ 는 도파로층의 굴절율,  $g$ 는 회절격자의 두께,  $q$ 는 회절격자 차수,  $L_1, L_2$ 와  $L_3$ 는 그림 1에서와 같이 각각 사다리꼴의 형태를 나타내는 변수이다.  $L_2=L_3$ 인 경우는 대칭성을 갖는 사다리꼴 회절격자이고  $L_2=L_3 \neq 0$ 인 경우는 삼각형 회절격자를 나타내며  $L_1=0$ 인 경우는 삼각형 회절격자를 나타낸다.

결합모드이론에 의한 TE 모드의 결합계수는 다음과 같이 표현된다.<sup>[2]</sup>

$$\chi = \frac{k_0}{2\beta} \frac{\int_{\text{corrugation}} \Delta \epsilon_q(x) E_y^2(x, y) dx}{\int E_y^2(x, z) dx} \quad (3)$$

여기서  $E_y(x, z)$ 는 unperturbed 모드의 전계 분포이다. 그림 1과 같은 다층 구조 도파관 모드의 전계분포는 참고문헌 [7]에서 사용한 전달행렬(transfer matrix) 방

법과 기판층(substrate)과 덮개층에서 전계는 지수함수적으로 감소하여야 한다는 radiation 조건을 적용하면 쉽게 구할 수 있다.

### III. 결과 및 토의

그림 1과 같이 5층 구조를 가지는 DFB 구조 소자의 결합계수를 회절격자의 형태가 사다리꼴, 삼각형, 그리고 사각형인 경우 각각에 대하여 확장된 새로운 층 방법과 같은 면적 방법을 사용하여 계산 하였다. 계산에 사용한 파장은  $1.55 \mu\text{m}$ 이었으며 활성층, 도파로층, 완충층, 덮개층 그리고 기판층의 굴절율을 각각 3.54, 3.39, 3.39, 3.17, 3.17로 설정하였다.<sup>[5]</sup> 활성층, 도파로층, 그리고 완충층의 두께는 각각  $0.1 \mu\text{m}$ ,  $0.2 \mu\text{m}$ ,  $0.2 \mu\text{m}$ 로 설정하였다.

그림 2는 같은 면적방법과 기존의 새로운 층 방법으로 사각형 1차 회절격자의 결합계수를 duty cycle에 따라 계산한 결과이다. 결합계수의 최대값은  $d\Delta\epsilon_q/dL_1=0$ 인 지점이 아니라  $dk/dL_1=0$ 인 지점에서 발생한다. 1차 회절격자의 경우 두 방법 모두 duty cycle이 0.5 보다 약간씩 오른쪽으로 이동한 지점에서 결합계수가 가장 큼을 볼 수 있다. 이러한 현상은 다음과 같이 설명될 수 있다. 결합계수의 크기를 결정하는 것은 식 (3)에서 볼 수 있듯이 perturbation을 나타내는 푸리에계수  $\Delta\epsilon_q$ 와 전체 광세기 중에서 회절격자 영역에 존재하는 광세기의 비이다. 전체적으로 결합계수는 푸리에계수에 의해 좌우된다. 그러나 duty cycle이 0.5인 지점의 좌우에서  $\Delta\epsilon_q$ 는 변화가 거의 없으나 duty cycle이 커질수록 회절격자

영역의 굴절율은 커져 이 영역에 존재하는 광세기는 증가하게 된다. 따라서 결합계수의 최대치는 푸리에 계수의 크기가 최대로 되는 지점에서 회절격자 영역에 존재하는 광세기가 커지는 방향으로 약간씩 이동하여 나타난다. 또한 회절격자의 두께가 커질수록 결합계수의 최대값이 발생하는 지점이 더욱 오른쪽으로 이동하는데 이것은 overlap integral에서 회절격자에 존재하는 광세기가 차지하는 비율이 커지기 때문이다.

그림 3과 확장된 새로운 층 방법과 같은 면적 방법으로 사다리꼴 회절격자의 결합계수를 각각 1차 회절격자에 대해 계산한 것이다. 사각형 회절격자의 경우와 같이 결합계수의 값이 같은 면적방법보다 확장된 새로운 층 방법이 전체적으로 작으며 결합계수의 최대값 부근에서 두 방법에 의한 결합계수의 차이가 가장 큼을 볼 수 있다. 그림 3에서 보면  $L_1/\Lambda=0.5$ 일 때  $L_2/\Lambda$ 가 0.025 부근에서 같은면적 방법은  $190 \text{ cm}^{-1}$ , 확장된 새로운 층 방법은  $186 \text{ cm}^{-1}$ 의 최대값을 가진다. 최대값이  $L_2/\Lambda=0$ 인 사각형 형태가 아니라  $L_2/\Lambda$ 가 0.025인 사다리꼴 형태에서 나타나는 이유는 앞에서 설명한 것과 같은 이유라 생각된다. 또한  $L_1/\Lambda=0.25$ 에서 보다  $L_1/\Lambda=0.75$ 에서 결합계수의 값이 전반적으로 큰 이유는  $L_1/\Lambda=0.25$ 에서 보다  $L_1/\Lambda=0.75$ 에서 전체 광세기 중에서 회절격자 영역에 존재하는 광세기의 비가 크기 때문이다.

앞장에서 언급하였듯이 확장된 새로운 층 방법은 새로운 층 방법을 확장한 것으로 새로운 층 방법에서의 연속함수를 단일 상수값으로 근사화한 것이다. 따라서 확장된 새로운 층 방법을 이용하여 계산한 결합계수 값과 새로이 설정한 층의 비유전상수가 연속함수인 새로운 층

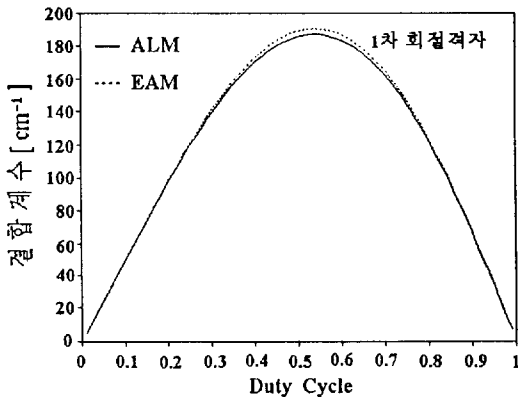


그림 2. 같은 면적방법(점선)과 새로운 층 방법(실선)을 사용하여 duty cycle의 함수로 계산한 사각형 1차회절격자의 결합계수(회절격자의 두께 =  $0.1 \mu\text{m}$ ).

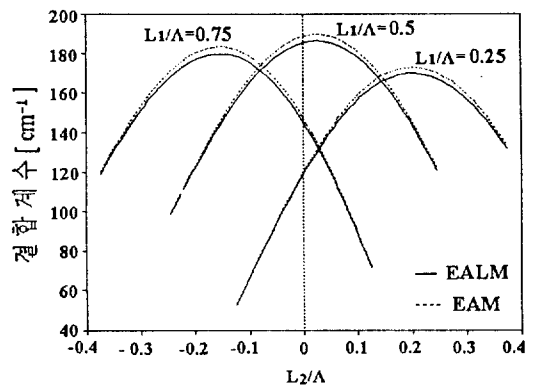


그림 3. 같은 면적방법과 확장된 새로운 층 방법을 사용하여 여러 개의  $L_1/\Lambda$ 에 대하여  $L_2/\Lambda$ 의 함수로 계산한 사다리꼴 1차 회절격자의 결합계수(회절격자의 두께 =  $0.1 \mu\text{m}$ ).

방법에 의한 결합계수 값의 비교를 통하여 확장된 새로운 층 방법의 정확성을 검토할 수 있다. 비유전상수가 연속인 경우 모드의 필드분포를 계산하는 것은 매우 어렵다. 그러나 각 층을 충분히 작게 잘라 새로이 설정하는 층이 상수값을 갖는 다층으로 근사화 하면 회절격자 영역의 비유전상수가 횡축 방향에 대해 연속인 함수로 놓고 계산한 것과 같은 정확도를 얻을 수 있다.<sup>[6]</sup> 따라서 회절격자 영역의 등분할에 따른 결합계수의 변화를 분석하므로써 확장된 새로운 층 방법의 유효성을 검증할 수 있다고 생각된다. 사다리꼴과 삼각형 회절격자 영역을 여러 층으로 등분할하여 각층의 비유전상수를 종축과 횡축 양방향으로의 비유전상수의 평균값을 가지는 새로운 층으로 설정하여 결합계수를 계산하였다.

그림 4는 사다리꼴 1차 회절격자의 결합계수 차이비율  $\Delta \kappa_2$ -결합계수 차이비율  $\Delta \kappa_1$ 는 확장된 새로운 층 방법을

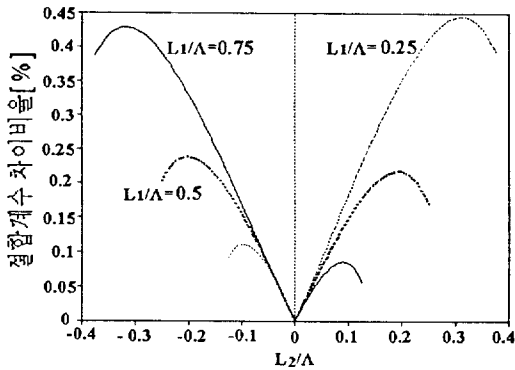


그림 4. 여러개의  $L_1/\Lambda$ 에 대하여  $L_2/\Lambda$ 의 함수로 계산한 사다리꼴 1차 회절격자의 결합계수 차이비율  $\Delta \kappa_2$ ( $\Delta \kappa_2 = |\kappa_2 - \kappa_1|/\kappa_1$ ,  $\kappa_i$ 는 회절격자 영역을 등분할한 층수가  $i$ 일 때 계산된 결합계수, 회절격자의 두께 =  $0.1 \mu\text{m}$ ).

이용하여 회절격자 영역을  $i$ 개로 등분할 했을때 계산한 결합계수 값과  $i-1$ 개로 등분할 했을때 계산한 결합계수 값의 차이를 단일층으로 놓고 계산한 결합계수 값으로 나누어 정의한다.  $L_1/\Lambda$ 의 값이 0.25, 0.5, 그리고 0.75 일때  $L_2/\Lambda$ 의 값을 변화시켜 계산한 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯 1차 회절격자의 경우 사다리꼴의 여러 형태에 대해 0.5% 이하의 결합계수 차이비율을 보인다.  $L_2/\Lambda$ 가 0인 지점은 직각삼각형 회절격자이므로 결합계수 차이비율은 0으로 떨어지며 이 부근에서는 아주 작은 차이비율을 갖는다.  $L_1/\Lambda=0.5$ 일 때는 차이비율이  $L_2/\Lambda=0$ 에 대하여 거의 대칭인 형태를 가지며 결합계수 차이비율의 최대값은 약 0.24%이다. 이 때 최대 결합계수 값  $186.4 \text{ cm}^{-1}$ 을 가지는  $L_2/\Lambda=0.025$ 에서의 결합계수 차이비율은 0.04%이다.  $L_1/\Lambda=0.75$ 일 때는  $L_2/\Lambda$ 가 음수인 영역에서 양수인 영역보다 큰 차이비율을 보이며 차이비율의 최대값은 약 0.45%이다. 이 때 최대 결합계수 값  $179.9 \text{ cm}^{-1}$ 을 가지는  $L_2/\Lambda=0.2$ 에서의 결합계수 차이비율은 0.35%이다. 또한  $L_1/\Lambda=0.25$ 일 때는  $L_2/\Lambda$ 가 양수인 영역에서 음수인 영역 보다 큰 차이비율을 보이며 차이비율의 최대값은 약 0.43%이다. 이 때 최대 결합계수 값  $169.9 \text{ cm}^{-1}$ 을 가지는  $L_2/\Lambda=-0.15$ 에서의 결합계수 차이비율은 0.25%이다.

표 1은 사다리꼴 1차 회절격자에서  $L_1/\Lambda$ 의 값이 0.25, 0.5 그리고 0.75일 때 결합계수 차이비율  $\Delta \kappa_2$ 가 가장 크게 발생하는  $L_2/\Lambda$  각각에 대하여 등분할 층수에 따른 결합계수 차이비율  $\Delta \kappa_1$ 를 계산한 결과이다. 표에서 보듯이 회절격자 영역을 분할하는 층수  $i$ 를 늘려 갈수록 결합계수 차이비율  $\Delta \kappa_1$ 가 감소되어 0으로 수렴되는 것을 볼 수 있다. 특히 분할 층 수를 3층에서 4층으로 늘렸을 때와 4층에서 5층으로 늘린 경우 결합계수의 차이비율이 아주 작은 것을 볼 수 있어 결합계수의 값이 수렴했다고 볼 수 있다. 확장된 새로운 층 방법을 사용하여 회절격자

표 1. 사다리꼴 1차 회절격자인 경우 여러 개의  $L_1/\Lambda$  각각에 대하여  $\Delta \kappa_2$ 가 가장 크게 발생하는  $L_2/\Lambda$ 에서 구한 결합계수 차이비율  $\Delta \kappa_1$ ( $\Delta \kappa_1 = |\kappa_i - \kappa_{i-1}|/\kappa_i$ ,  $\kappa_i$ 는 회절격자 영역을 등분할한 층수가  $i$ 일 때 계산된 결합계수이며 단위는  $\text{cm}^{-1}$ , 회절격자의 두께 =  $0.1 \mu\text{m}$ ).

사다리꼴 1차 회절격자					
$L_1/\Lambda=0.25$		$L_1/\Lambda=0.5$		$L_1/\Lambda=0.75$	
$L_2/\Lambda=0.31$		$L_2/\Lambda=0.205$		$L_2/\Lambda=-0.32$	
$\kappa_1 = 154.31494$		$\kappa_1 = 119.48416$		$\kappa_1 = 143.11334$	
$\kappa_2 = 155.00094$	$\Delta \kappa_2 = 0.4445\%$	$\kappa_2 = 119.19222$	$\Delta \kappa_2 = 0.2385\%$	$\kappa_2 = 142.50007$	$\Delta \kappa_2 = 0.4298\%$
$\kappa_3 = 155.12243$	$\Delta \kappa_3 = 0.0787\%$	$\kappa_3 = 119.14884$	$\Delta \kappa_3 = 0.0422\%$	$\kappa_3 = 142.39609$	$\Delta \kappa_3 = 0.0727\%$
$\kappa_4 = 155.16470$	$\Delta \kappa_4 = 0.0274\%$	$\kappa_4 = 119.13135$	$\Delta \kappa_4 = 0.0146\%$	$\kappa_4 = 142.36027$	$\Delta \kappa_4 = 0.0250\%$
$\kappa_5 = 155.18423$	$\Delta \kappa_5 = 0.0126\%$	$\kappa_5 = 119.12328$	$\Delta \kappa_5 = 0.0067\%$	$\kappa_5 = 142.34378$	$\Delta \kappa_5 = 0.0115\%$

표 2. 직각삼각형 1차 회절격자와 이등변 삼각형 1차 회절격자의 결합계수 차이비율  $\Delta \kappa_i (\Delta \kappa_i = \kappa_i - \kappa_{i-1} / \kappa_i, \kappa_i$ 는 회절격자 영역을 등분할한 층수가  $i$ 일 때 계산된 결합계수이며 단위는  $\text{cm}^{-1}$ , 회절격자의 두께 =  $0.1 \mu\text{m}$ ).

삼각형 1차 회절격자			
이등변 삼각형		직각 삼각형	
$\kappa_1 = 117.242703$		$\kappa_1 = 92.444264$	
$\kappa_2 = 118.213117$	$\Delta \kappa_2 = 0.82770\%$	$\kappa_2 = 93.255711$	$\Delta \kappa_2 = 0.87777\%$
$\kappa_3 = 118.371320$	$\Delta \kappa_3 = 0.13494\%$	$\kappa_3 = 93.383953$	$\Delta \kappa_3 = 0.138723\%$
$\kappa_4 = 118.439635$	$\Delta \kappa_4 = 0.05827\%$	$\kappa_4 = 93.439432$	$\Delta \kappa_4 = 0.060014\%$
$\kappa_5 = 118.466737$	$\Delta \kappa_5 = 0.02312\%$	$\kappa_5 = 93.461578$	$\Delta \kappa_5 = 0.023956\%$

영역을 단일층으로 놓고 계산한 결합계수와 5개의 층으로 분할하여 계산한 결합계수 최대 차이비율은  $L/\Lambda$ 가 0.25, 0.5, 그리고 0.75일 때 각각 0.5632%, 0.3020%, 그리고 0.5390%이었다.

사다리꼴보다는 삼각형 회절격자가 더 큰 결합계수 차이비율을 보인다. 표 2는 삼각형 1차 회절격자의 여러 형태 중에서 등분할에 따라 발생하는 결합계수 차이비율이 가장 작은 경우와 가장 큰 경우에 대한 계산 결과이다. 결합계수 차이비율이 가장 작은 경우는 이등변 삼각형 회절격자일 때이고 가장 큰 경우는 직각삼각형 회절격자일 때이다. 비대칭성이 커질수록 결합계수 차이비율이 커지나 그 차이는 매우 작음을 볼 수 있다. 삼각형 회절격자의 경우 단일층으로 놓고 계산한 경우와 5개의 층으로 분할한 경우의 결합계수 차이비율이 이등변 삼각형일 때 1.03%로 가장 작으며 직각 삼각형 회절격자일 경우 1.09%로 가장 크다. 또한 사다리꼴 회절격자와 마찬가지로 회절격자 영역을 분할하는 층수  $i$ 를 늘려갈수록 결합계수 차이비율  $\Delta \kappa_i$ 가 급격히 감소되어 0으로 수렴되는 것을 볼 수 있다.

사다리꼴 회절격자와 삼각형 회절격자의 경우 등분할에 따른 결합계수 차이비율  $\Delta \kappa_i$ 가 분할 층수가 늘어남에 따라 작아져 결합계수 값이 수렴하는 것을 볼 수 있으며 두께 결합계수 차이비율이 약 1.1% 이하이다.

2차 회절격자의 경우도 등분할에 따른 결합계수 차이비율이 1차 회절격자와 같이 아주 작은 경향을 보인다. [8] 따라서 사다리꼴과 같은 임의의 형태의 회절격자를 가지는 다층구조 DFB 구조 소자의 결합계수의 계산에 확장된 새로운 층 방법을 사용하여 회절격자 영역을 단일층으로 놓고 결합계수를 계산하는 방법은 매우 유용한 방법이라 생각된다.

#### IV. 결 론

기존의 새로운 층 방법은 회절격자 영역을 회절격자

영역 비유전상수의 종축 방향으로의 평균값을 가지는 새로운 층으로 설정하였다. 따라서 사다리꼴과 같은 임의의 형태를 가지는 회절격자의 결합계수를 계산할 경우 새로운 층의 비유전상수가 횡축 방향으로 변화하는 함수이어서 unperturbed mode의 필드 분포를 구하기가 매우 어려웠다. 본 연구에서는 임의의 형태를 갖는 회절격자의 unperturbed mode의 필드 분포를 비교적 쉽게 구하기 위하여 회절격자 영역을 종축과 횡축 양방향으로의 비유전상수의 평균값을 가지는 새로운 층으로 설정하는 확장된 새로운 층 방법을 제안하였다.

확장된 새로운 층 방법의 유효성을 검증하기 위하여 사다리꼴과 삼각형 형태의 회절격자 영역의 분할 층수를 5층 까지 늘려가며 확장된 새로운 층 방법을 사용하여 계산한 결합계수의 값들을 비교하였다. 그 결과 분할 층수가 늘어날수록 결합계수 차이비율이 급격히 감소하여 거의 0으로 수렴함을 볼 수 있었다. 1차 회절격자인 경우 회절격자 영역을 단일 층으로 놓고 계산한 결합계수 값과 5층으로 분할하여 계산한 결합계수 값의 차이는 최대 1.1% 이내 이었다. 따라서 사다리꼴과 같은 임의의 형태를 가지는 회절격자의 결합계수를 구하는 경우 확장된 새로운 층 방법을 사용하여 회절격자 영역을 단일 층으로 놓고 결합계수를 계산하는 방법은 매우 유용한 방법이라 생각된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] H. Kogelnik and C. V. Shank, J. Appl. Phys. 43, 2327 (1972).
- [2] W. Streifer, D. R. Scifres, and R. D. Burnham, IEEE J. Quantum Electron. QE-11, 867 (1975).
- [3] W. Streifer, D. R. Scifres, and R. D. Burnham, IEEE J. Quantum Electron. QE-12, 74 (1976).
- [4] H. J. Luo and P. S. Zory, IEEE J. Quantum Electron. 30, 10 (1994).
- [5] P. Correc, IEEE J. Quantum Electron. QE-24, 8

- (1988).
- [6] S. T. Peng, T. Tamir and H. L. Bertoni, IEEE Trans. Microwave Theory Tech. MTT-23, 123 (1975).
- [7] M. R. Ramadas, E. Garmire, A. K. Ghatak, K. Thyagarajan, and M. R. Shenoy, Opt. Lett. 14, 376 (1989).
- [8] S. C. Cho and B. G. Kim, to be presented in OECC, Chiba, Japan(1996).

### **Calculation of the Coupling Coefficient for Trapezoidal Gratings using Extended Additional Layer Method**

Sung-Chan Cho, Boo-Gyoun Kim and Yong-Kon Kim  
*Department of Electronic Engineering, SoongSil University, Seoul 156-743, Korea*

(Received: February 8, 1996)

We propose an extended additional layer method (EALM) of calculating the coupling coefficient of arbitrary shaped diffraction gratings. In EALM, to determine the unperturbed field distribution, a grating region is replaced by a new uniform layer whose dielectric constant is the average value of the dielectric constant of a grating region in both longitudinal and transverse directions. Using this method, we calculate the coupling coefficient for a five-layer distributed feedback structure device with trapezoidal and triangular gratings. The validity of this method is established by comparing the results calculated by partitioning the grating region up to five uniform layers.