

도파폭 공정오차에 따른 광도파 특성변화와 소자성능 저하

박순룡 · 오범환

인하대학교 전자 전기 컴퓨터 공학부

(1999년 6월 18일 받음, 1999년 8월 3일 수정본 받음)

광소자의 소형화와 집적화 노력에 따라 광도파로의 도파폭과 곡률 반경이 작아지면서, 그 경계조건을 만족하는 도파모드와 전파상수의 변화가 심하게 되었다. 특히, 도파폭이 좁아지면서 제작 공정상의 폭조절 오차한계 내의 작은 변화에도 전파상수가 크게 변화하게 되어, 배열도파로(Arrayed Waveguide Grating, AWG) 소자에서는 각 도파로 진행광의 위상이 설계와 심하게 달라지고 소자의 성능에 영향이 커지게 되었다. 광소자의 소형화에 따라 심각해지는 이러한 근사설계 오차에 의한 영향을 정량적으로 분석하고 대처하기 위해, 여기서는 유효굴절률법(Effective Index Method)과 해석적 함수해(Analytic Solution Method)를 이용하여 여러 도파로 구조를 해석하여 전파특성 변수를 얻어내었다. 또한, 이를 적용하여 자체 제작한 고기능 전산시능기를 통해 각종 InP-, Silica-AWG 소자의 성능을 조사하였다. 조사 결과는 실제 제작된 전형적인 소자와 비교하여 매우 유사한 경향을 나타내었으며, Ridge-type InP-AWG 소자의 경우, 도파폭의 허용공차가 $0.02 \mu\text{m}$ 이내로 개선될 때, AWG 소자의 신호대잡음비(SNR)가 약 -25 dB 이상 가능하게 되며, Rib-type Silica-AWG 소자의 경우는 도파폭 허용공차가 $0.1 \mu\text{m}$ 정도이기만 해도 약 -30 dB 이상 가능한 것으로 조사되었다.

I. 서 론

최근 광소자와 광회로의 단일 기판 제작과 소형화, 고집적화를 위하여 InP 기판 상에 소형의 광도파로 소자를 설계하고 제작하려는 노력이 활발하다.^[1-5] 배열도파로(Arrayed Waveguide Grating, AWG) 소자는 WDM(Wavelength Division Multiplexing) 광통신 방식의 핵심적인 광소자로서 도파로 설계 및 제작기술을 가능하게도 하는 중요한 소자이다. Silica를 사용한 AWG 소자는 -30 dB 이상의 채널분리도(crosstalk)와 신호대잡음비(SNR)를 가지며 이미 상업화되어 있는 반면, InP 기판상의 AWG 소자는 상당히 뒤진 성능을 나타내고 있으며 최근에는 -30 dB 정도의 성능이 보고된 바 있다.^[5] 배열도파로격자에서의 단순한 도파경로차(ΔL)가 공정오차에 의해 발생한다는 가정하에 이에 의한 위상변화^[6]를 고려한 연구가 있었는데, 이러한 위상차이를 보이는 원인으로 광도파로의 곡률반경이 각 도파로 별로 다른 것에 기인하는 전파상수의 변화^[7]와 도파폭의 공차에 의해 유발되는 도파 모드의 특성변화를 고려해 볼 수 있다. 또한 실리카 도파로의 경우에는 곡률반경이 커서 전파상수의 변화가 작아 무시할만 했으나, InP 기판상의 소형 도파로의 경우에 있어서는, 굴절률차 Δ 가 커서 광집속은 좋지만, 도파로의 곡률반경 R이 작고 그 반경 변화에 따른 전파상수의 변화가 커져서 무시하기 어려워졌고, 소형화에 따라 도파폭 조절의 공차에 의해 유발되는 도파모드 특성변화도 심해졌기에 보다 해석적이고 세심한 도파 모드의 특성분석이 요구된다. 이에 따라, ridge-, buried-, rib-type의 InP-광도파로와 rib-type silica-광도파로 등 여러 형태의 구조에 대해서, 도파폭과 곡률반경 R의 변화에 따른 전파상수의 변화를 계산하여 정량화하였다. 또, 각 구조와 형태에 따른 장단점을 비교하고 이해하여 설계에 고려하여야 할 필요성이 심각하게 대두되었으므로, 이

러한 전파상수의 분석 결과를 AWG 소자에 적용하여 그 출력 특성을 전산 분석하여 함께 소개하였다. 소자의 출력 특성 전산모사를 위해서 고기능의 모의 AWG 전산시능기(AWG simulator)를 제작하였으며, 도파폭의 변화에 따라 전파 상수가 변화하는 정도를 정량화하여 적용, 분석하여 현재 반도체 식각 공차 한계의 영향이 중요함을 보이고 정량적인 한계를 제시하였다. 먼저, 도파로 폭과 곡률 반경에 의존하는 전파 상수의 변화를 알아보기 위해 유효 굴절률법(Effective Index Method)^[8-10]을 이용하여 간단히 도식화한 후에 해석적인 함수해 분석 방법(Analytic solution Method)^[11]을 적용하였다. 도파폭의 변화에 따른 전파 상수의 변화는 고정된 곡률반경에 대해 전파상수의 변화를 계산하였으며, AWG 소자의 전산시능에 관한 설정과 최적화된 입력광 패턴의 자세한 설명은 다른 참고문헌^[12]에 기술하였다. 실리카와 InP-AWG 소자의 특성을 비교 분석한 결과, 이러한 식각공정의 오차한계가 유발시키는 소자특성 변화에 관한 매우 흥미로운 결과를 얻었다.

II. 전파상수의 변화 특성 이해

곡선형 광도파로는 직선형 광도파로에 비해 전파상수의 계산이 간단하지 않으며, 흔히 섭동 이론(perturbation solution)을 이용하여 계산하는데, 섭동이론에 의해 전파상수의 변화를 구하는 식은 아래와 같이 제곱꼴로 주어지는 것이 알려져 있다.^[11]

$$\beta_2^2 = \frac{V^2}{4w^2\Delta} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x}{R} E_1 E_0 dx / \int_{-\infty}^{\infty} E_0^2 dx \quad (1)$$

여기서, w는 도파폭, R은 곡선형 광도파로의 곡률반경, 굴절률차 Δ 는 $(N_f^2 - N_s^2)/(2N_f^2)$ 로, 규격화 주파수 V는 $w \cdot k \cdot N_s(\Delta/2)^{1/2}$ 로 정의되었고, k는 진행광파의 파수이다. E_0 은 직

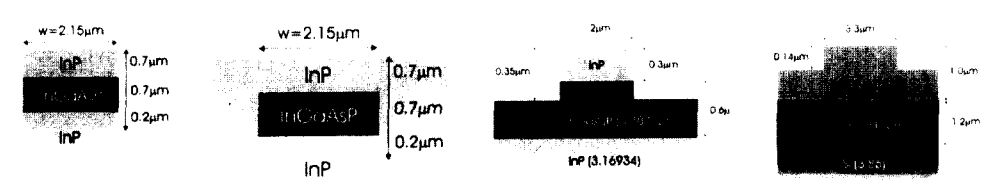
선형 광도파로의 전기장 분포함수이고, E_1 은 곡선형 도파로의 전기장 분포함수이다. 식(1)을 사용하여 전파상수의 변화를 구하면 비교적 간단하나, 도파로 구조에 따라 그 근사값이 정확하지 않으며, 유발되는 오차율도 상당히 달라지기 때문에, 보다 정확한 해석적인 함수해 분석법^[11]을 이용하여 섬세한 계산을 수행하였다. InP 도파로는 ridge-, buried-, rib-type의 세가지 유형에 대해, 그리고 silica- 도파로는 rib-type의 한 유형에 대해 그 구조와 굴절율에 따라 변화하는 도파특성 변수의 수치를 표 1에 정리하였다. 여기에서 β 의 변화는 아래 식(2)로 주어지는 것으로 분석되었다.^[7]

$$\beta = \frac{A}{R^2} + \beta_0 \quad (2)$$

상수 A와 β_0 는 도파폭에 따라 변화하는데 ridge-type과 buried-type InP-도파로는 2.15 μm , rib-type InP-도파로는 2.0 μm 이며, silica-도파로는 3.3 μm 를 기준으로 설정하였다. Ridge-type InP-도파로의 경우는 편광 의존성이 거의 없는 구조로 설계되었음을 알 수 있으며($N_{\text{eff}}\text{TE} \approx N_{\text{eff}}\text{TM}$), 광집속이 좋은 InP-광도파로는 무손실 진행과 모드가 존재하는 곡률반경 한계가 1 mm 이하이며 실리카-광도파로의 경우에는 3 mm에 달하는 것을 알 수 있다. 여기서 집속도가 떨어질수록 이 곡률반경 한계가 커지고 있음에 유의하자. 표 1을 바탕으로, 주어진 모든 유형의 광도파로에 대해서 도파폭과 곡률반경 R의 변화(InP-광도파로 R=0.5, 1, 2, ∞ mm, silica-광도파로 R=5, 6, 7, ∞ mm)에 따른 전파상수 변화를 유사 TM 모드의 경우에 대해 계산하여 그림 1에 정리하였다. 일반적으로 곡률반경이 작아짐에 따라 도파로의 유효굴절률이 증가하는 것과 마찬가지로 효과를 주기 때문에 전파상수의 값이 증가하고 있음을 보인다.

그림 1(a)에서 보이듯 광집속이 가장 좋은 ridge-type InP-도파로의 경우에 0.1 μm 의 도파폭 공정오차(Δw)에 해당하는 전파상수 변화($\Delta\beta$)는 약 7820(m^{-1}) 정도로 크나, 곡률반경 변화($R = \infty$ (직선형)과 $R = 0.5$ mm의 비교)에 따른 전파상수 변화는 앞의 약 1/16 정도에 지나지 않는 475(m^{-1})로 매우 작은 것에 주목하자. 이보다 굴절률차가 작아 광집속이 다소 떨어지는 buried-type InP-도파로의 경우에는 그림 1(b)에서 보이듯 $\Delta w = 0.1 \mu\text{m}$ 에 해당하는 $\Delta\beta = 3480(\text{m}^{-1})$ 로 앞의 절반 정도로 줄어든 반면 곡률반경 변화에 따른 전파상수 변화는 약 1740(m^{-1})로 증가하였고, 규격화 주파수(V) 값이 비슷한 rib-type InP-도파로의 경우에는 그림 1(c)에서 보이듯 $\Delta w = 0.1 \mu\text{m}$ 에 해당하는 $\Delta\beta = 3410(\text{m}^{-1})$ 로 (b) 경우와 비슷하며 곡률반경 변화에 따른 전파상수 변화는 약 1800(m^{-1})으로 다소 증가하였다. 이러한 경향은 굴절률차가 작고 구조상 광집속이 가장 떨어지는 rib-type 실리카-도파로의 경우에도 나타난다. 다만, 표 1에서 보인 바와 같이 무손실 도파모드 곡률반경의 한계가 커서 R=4 mm 이하에서는 방사모드가 발생하여 진행 도파로 분석이 무의미하므로 곡률반경이 InP-도파로의 경우처럼 작아질 수 없어 곡률반경이 5, 6, 그리고 7 mm에 대해서 분석하였다. 이에 직접적인 비교는 되지 않으나, 직선형 도파로($R = \infty$)와 곡률반경 R=5 mm의 비교에 따른 전파상수 변화는 약 91 (m^{-1}) 정도로써 InP-도파로의 1/5 정도 수준임을 알 수 있다. 직접 비교될 수 있는 도파폭 변화($\Delta w = 0.1 \mu\text{m}$)에 따른 전파상수 변화도 $\Delta\beta = 595$ 정도로 가장 작아 InP-도파로의 약 1/13 정도에 지나지 않으며, 이는 1 mm의 길이진행에 대해 설계된 계산위상과 최대 약 0.6 rad의 위상오차를 갖게 되는 것을 뜻한다. 이러한 변화의 경향은 광도파로 소자의 설계에 영향을 주는 요소들이며 실리카-도파로의 경우에는 큰 문제가 없어 왔으나 소형화가 추진되면서 InP-도

표 1. 도파로 유형별 도파모드 특성 요약표

Waveguide profile	InP-based Waveguide			Silica-based Waveguide
	Ridge-type	Buried-type	Rib-type	Rib-type
				
λ_g (μm)	1.1	1.1	1.3	없음
Core N_r TE(TM)	3.22971(3.22731)	3.22971(3.22731)	3.30227(3.29336)	1.468(1.455)
Cladding N_r TE(TM)	1.0(1.0)	3.16934(3.16934)	3.26534(3.23977)	1.456(1.444)
N_{eff} TE(TM)	3.209826(3.209826)	3.218961(3.216864)	3.292376(3.28224)	1.462592(1.449813)
규격화 주파수 V TE(TM)	13.38246(13.37146)	2.70847(2.6359)	1.99637(2.434485)	1.25288(1.19441)
Curvature Limit(μm)	40	400	400	3000
A(1/m)	0.00014	0.00043	0.00047	0.00281
전산시뮬 비용용 설계설정값		배열도파로 격자 수 (N)=39 채널 중심도파로 간격 (dr)=4.5 μm 배열도파로 격자 사이간격 (da)=4.5 μm		N=85 dr=22 μm da=22 μm

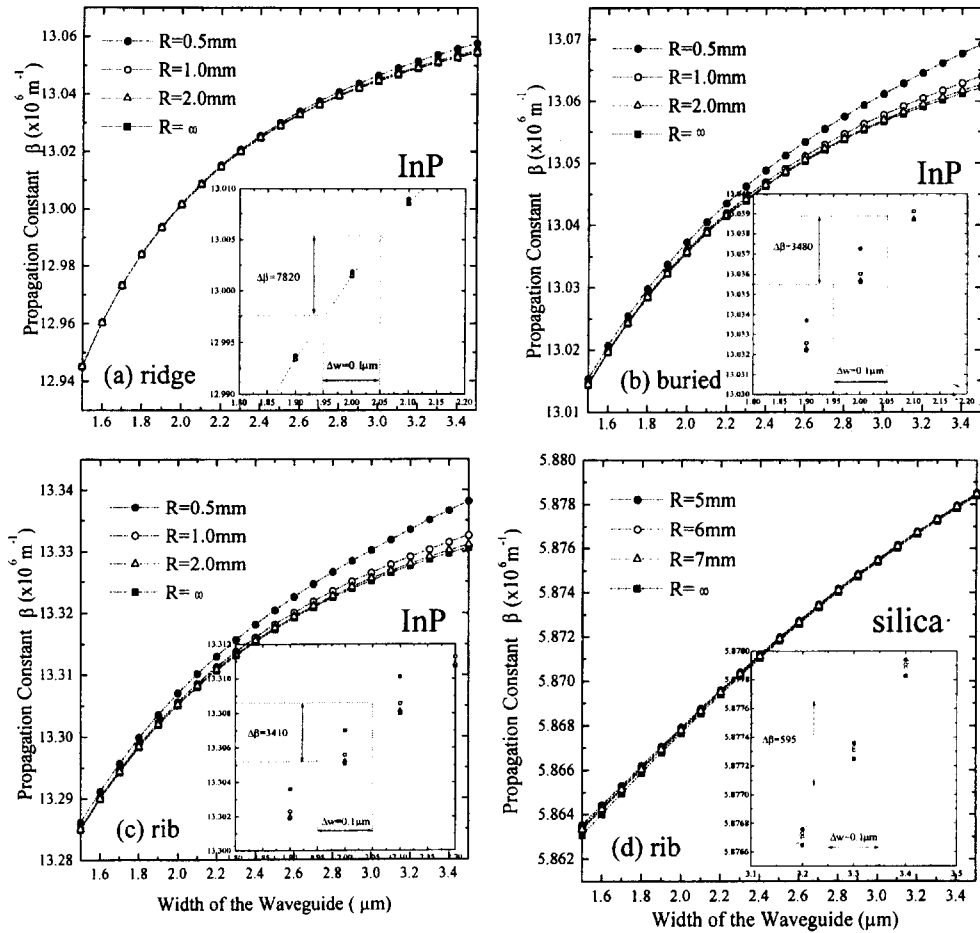


그림 1. 도파폭과 곡률반경 변화에 따른 전파상수의 변화. (a) Ridge-type InP-도파로, (b) Buried-type InP-도파로, (c) Rib-type InP-도파로, (d) Rib-type 실리카-도파로.

파로의 경우로 넘어오면 점차 영향이 커지게 되는 것이다.

이러한 점을 감안할 때 실리카-도파로의 경우에는 각종 전파상수 변화가 매우 작아서 위상변화에 큰 영향은 주지 않을 것으로 예상할 수 있으며, 이는 실제 제작된 소자뿐 아니라 다음절의 전산 모사 결과에서 보이듯 실리카-AWG 소자의 신호대잡음비 등의 특성에는 큰 영향이 없다. 이와 대조적으로 InP-AWG 소자의 경우에는 점차 영향이 커지면서 특성을 변화시키게 되는데 다음절에 도파폭과 전파상수 변화와의 상관관계를 정량화하여 AWG 제작에서 발생하는 도파폭의 오차를 규명하고, 공정오차의 한계범위를 제시하였다.

III. 전산시능을 통한 배열도파로 소자의 공정 균일도 계산

배열도파로 소자는 보통 수십개 정도의 격자로 구성된 배열도파로 격자들(arms)을 가지며, 이 격자 도파로 각각은 직선형 및 곡선형 광도파로가 연결되어 한 경로를 이루며, 광신호의 위상을 변조하는 역할을 하는데, II절에서 설명된 바와 같이 도파로의 곡률반경이 각각 조금씩 변화하게 설계되므로 이로 인한 전파상수의 오차와, 도파폭 공차와 그에 따른 전파상수의 오차로 인해 설계된 위상변조에 약간의 차이가 생기게 된

다. 여기서는 이러한 영향을 정량화하기 위해 우선 도파폭의 공차한계 범위를 바꾸어 가며 전산모사한 후에, 신호대잡음비(SNR)를 도파폭 공차한계의 함수로 나타냄으로써 소자 제작시에 필요한 반도체 식각 공정에서의 공정 균일도 허용공차의 요구 범위를 제시하였다. 우선 표 1에서 보인 유형중에서, ridge-type InP-AWG 소자와 rib-type silica-AWG 소자에 대해 전산모사를 시도하였다. 전산시능에 사용된 AWG 소자의 설계 변수들과 전산모사에 관한 자세한 내용은 다른 참고 문헌들^[12]에 자세히 기술되어 있다. 우선, 도파로의 직선부와 곡선부, 밀집부와 산개부 등 AWG 부위 별로 micro-loading 효과 등에 의해 식각 정도가 약간씩 다를 수 있으므로, 도파폭 오차 발생을 도파로 팔(arm) 별 임의의 오차발생으로 가정하고, 모든 도파경로 전체에 오차가 발생하지는 않을 것이므로 공정 오차에 영향받은 산발적인 도파로 길이(오차유발거리)를 총 도파경로의 10% 정도로 가정하고, 도파폭 변화의 공차가 $0.016 \mu\text{m}$ 와 $0.05 \mu\text{m}$ 에 대해 전산시능을 수행하였다. 그림 2와 그림 3은 각각 ridge-type InP-AWG 소자와 rib-type silica-AWG 소자에 대한 파장별 광선택 특성의 전산시능 결과로서, 도파폭의 공차 한계를 증가시킬 수록 신호대잡음비가 증가하는 것을 볼 수 있다. 여기서 그림 2(a)의 경우 공차를 $0.016 \mu\text{m}$ 정도로 줄이면 InP-AWG 소자의 신호대잡음비나

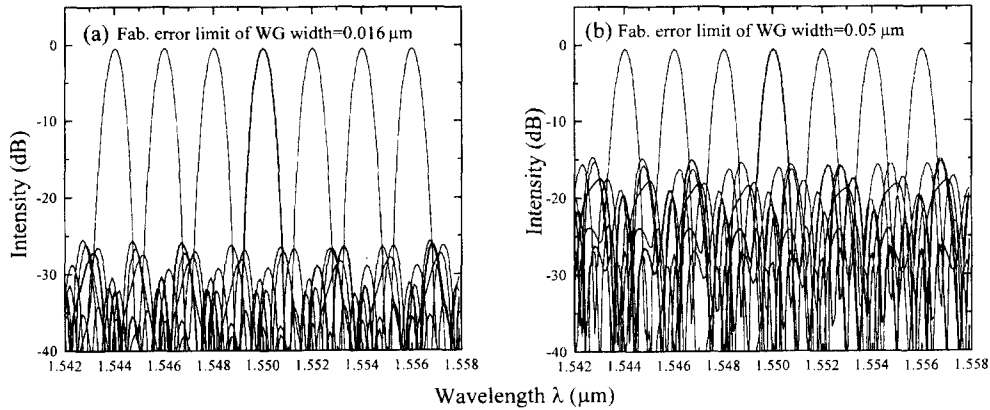


그림 2. Ridge-type InP-광도파로를 사용한 AWG 소자 성능의 전산시뮬 결과로서, 오차유발거리를 총 도파거리의 10%라고 가정할 때 (a) 도파폭의 허용공차를 0.016 μm 로 분석한 경우, (b) 도파폭의 허용공차를 0.05 μm 로 분석한 경우.

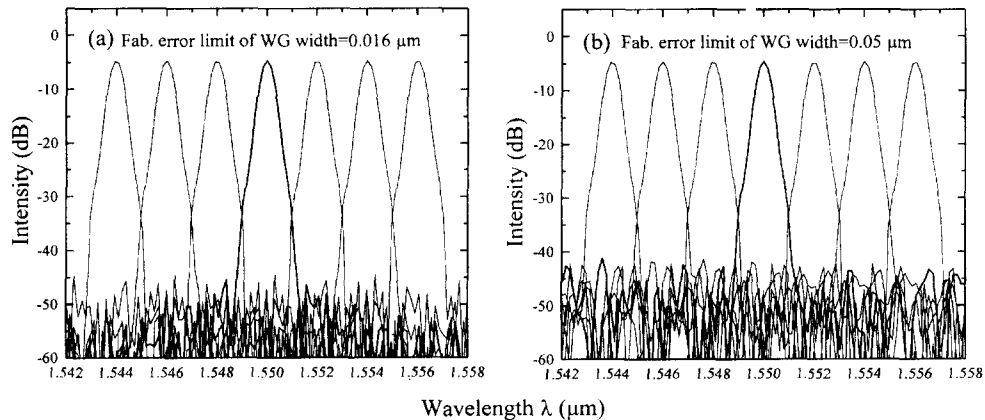


그림 3. Rib-type Silica-광도파로를 사용한 AWG 소자 성능의 전산시뮬 결과로서, 오차유발거리를 총 도파 거리 10%라고 가정할 때 (a) 도파폭의 허용공차를 0.016 μm 로 분석한 경우, (b) 도파폭의 허용공차를 0.05 μm 로 분석한 경우.

crosstalk 특성이 -25 dB 이상 되는 것을 볼 수 있다. 특히, 그림 2(b)의 경우는 현재 반도체 마스크 패턴의 공차로 인정되는 $0.05\ \mu\text{m}$ 정도의 공차를 가정하였고, 이 결과는 실제로 연구제작되고 있는 ridge-type InP-AWG 소자의 출력 특성과 매우 유사하다. 부연적으로, 그림 3의 rib-type silica-AWG 소자의 경우는 경향은 마찬가지로 그림 2의 ridge-type InP-AWG 소자에 비해 도파폭 공차가 소자의 출력 특성에 미치는 효과가 (a)와 (b) 어느 경우에도 실제에서 무시할 수 있을 정도로 작음을 확인할 수 있다. 이것은 앞 절에서 설명한 대로 silica-도파로의 경우에 도파폭의 공차나 곡률반경 변화에 의한 전파상수 변화의 영향이 작기 때문이다. 표 2에는, 그림 2와 3의 전산시뮬과 유사한 반복 전산시뮬 결과를 정리하여 도파폭의 공정 허용공차 범위와 연결하기 위해서, 여기에 고려된 네 유형의 광도파로에 대해서 오차유발거리를 총 진행거리의 최소 5%, 최대 15%의 경우로 분리하여 오차유발거리와 위상변이, 도파폭 공차를 연결하는 표를 작성하였다. 여기서 phasefactor는 전산시뮬에 사용된 무작위 위상 변화의 상한치를 의미한다. 예로, 오차유발거리가 10%, 도파폭의 공차 한계가 $0.016\ \mu\text{m}$ 일 때 phasefactor는 20이 되는 것이다. 이로써, ridge-type InP-AWG 소자의 경우에 출력 특성으로 신호대잡

음이나 crosstalk 특성을 -25 dB 이상 얻기 위해서는 오차유발거리를 5%라고 가정한 경우와 15%라고 가정한 경우에 각각 도파폭 공차 한계가 $0.033\ \mu\text{m}$ 와 $0.01\ \mu\text{m}$ 이내로 다르게 설정되어야 한다. 현재 마스크 패턴의 분해능이 약 $0.05\ \mu\text{m}$ 이므로 소자 제작에서 발생하는 도파폭의 공차도 최대 $0.05\ \mu\text{m}$ 정도가 될 것인데, 이렇게 도파폭의 허용공차가 $0.05\ \mu\text{m}$ 인 조건에서 제작된 소자들의 신호대잡음비나 crosstalk 특성은 오차유발거리가 약 10% 일 때의 전산시뮬 결과와 가장 유사한 결과를 보이고 있다. 한편 실리카-광도파로의 경우는 오차유발거리가 5%와 15%의 모든 경우에 대해서 도파로 허용공차 한계범위가 $0.05\ \mu\text{m}$ 이내가 되기 때문에 실제소자의 출력 성능에 이러한 영향이 나타나 보이지 않고 좋은 특성의 소자 제작이 용이했던 것으로 판단된다. 그림 4에서는 ridge-type InP-AWG 소자와 rib-type 실리카-AWG 소자의 두 유형에 대해, 공정 오차유발거리를 10%로 고정하고, 소자의 신호대잡음비 성능을 전산시뮬하여 도파폭의 허용공차 한계를 변수로 나타내 보였다. 여기에서 손쉽게 알 수 있듯이 rib-type silica-AWG 소자의 경우에는 도파폭의 허용공차 한계가 $0.1\ \mu\text{m}$ 로 클 때에도 신호대잡음비가 약 -30 dB 이상의 좋은 특성을 보일 수 있음을 알 수 있으며, ridge-type InP-AWG 소

표 2. 오차유발거리와 허용공차 한계범위와의 소자성능 상관영향 관계 역산출표.

InP-AWG	Ridge	Phase factor	5%		10%		15%	
			유효굴절률	도파폭의 공차 (μm)	유효굴절률	도파폭의 공차 (μm)	유효굴절률	도파폭의 공차 (μm)
		10	3.21009	0.017	3.20996	0.008	3.20992	0.005
		20	3.21033	0.033	3.21008	0.016	3.21	0.01
		30	3.21058	0.05	3.2102	0.024	3.21008	0.016
		40	3.21083	0.068	3.21033	0.033	3.21016	0.021
		50	3.21107	0.086	3.21045	0.041	3.21024	0.027
		60	3.21132	0.104	3.21057	0.05	3.21033	0.033
		70	3.21157	0.123	3.2107	0.059	3.21041	0.039
		도파폭 (w) = 2.15 μm, 유효굴절률 (N _{eff}) = 3.20983						
	Buried	10	3.21711	0.037	3.21699	0.019	3.21695	0.014
		20	3.21736	0.075	3.21711	0.036	3.21703	0.025
		30	3.2176	0.113	3.21723	0.055	3.21711	0.037
		40	3.21785	0.154	3.21736	0.075	3.21719	0.049
		50	3.2181	0.197	3.21748	0.094	3.21728	0.062
		60	3.21834	0.24	3.2176	0.113	3.21736	0.075
		70	3.21859	0.287	3.21773	0.134	3.21744	0.088
		도파폭 (w) = 2.15 μm, 유효굴절률 (N _{eff}) = 3.21686						
	Rib	10	3.28249	0.034	3.28236	0.016	3.28232	0.011
		20	3.28273	0.067	3.28248	0.032	3.2824	0.021
		30	3.28298	0.103	3.28261	0.05	3.28248	0.032
		40	3.28322	0.138	3.28273	0.067	3.28257	0.045
		50	3.28347	0.177	3.28285	0.084	3.28265	0.056
		60	3.28372	0.217	3.28298	0.102	3.28273	0.067
		70	3.28396	0.256	3.2831	0.12	3.28281	0.078
		도파폭 (w) = 2.0 μm, 유효굴절률 (N _{eff}) = 3.28224						
Silica-AWG	Rib	10	1.45011	0.177	1.44998	0.085	1.44994	0.055
		20	1.45035	0.359	1.45011	0.175	1.45002	0.112
		30	1.4506	0.562	1.45023	0.2665	1.45011	0.177
		40	1.45085	0.782	1.45035	0.361	1.45019	0.237
		50	1.45109	1.01	1.45048	0.46	1.45027	0.297
		60	1.45134	1.269	1.4506	0.563	1.45035	0.359
		70	1.45159	1.554	1.45072	0.668	1.45044	0.431
		도파폭 (w) = 3.3 μm 유효굴절률 (N _{eff}) = 1.44986						

자의 경우는 도파폭의 허용공차 한계가 0.02 μm 이내에 있어 야만 소자의 출력특성이 약 -25 dB 이상으로 개선되는 것을 예측할 수 있다.

IV. 결 론

각종 광도파로에 대해 곡률반경의 변화와 도파폭의 변화에 따르는 전파상수의 변화특성을 분석하였다. 고려된 네 유형

의 구조(ridge-, buried-, rib-type의 InP-광도파로와 rib-type 실리카-광도파로)에 대한 도파폭과 곡률반경 R의 변화에 따른 영향 중에서 ridge-type InP-광도파로의 경우가 도파폭의 변화에 가장 큰 영향을 받음을 알았다. 이를 바탕으로 광소자 제작용 반도체 공정에서의 도파폭의 허용공차 한계범위를 제시하고, 그 AWG 소자에서의 출력 특성을 분석하였다. 실제 제작되는 InP-AWG 소자의 출력 특성과 가장 흡사한 경우는 공정 오차유발거리가 총 도파로 거리의 10%일 때였으

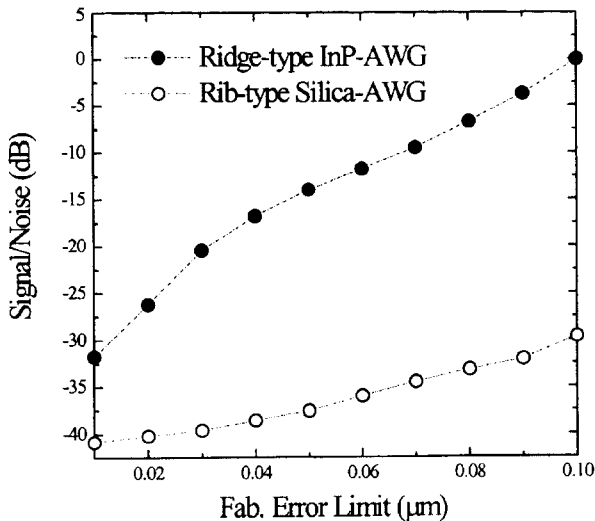


그림 4. 도파폭 허용공차 한계에 따른 AWG 소자의 신호대잡음비 성능 변화.

며, 이에 대해 마스크 패턴의 분해능과 비교하여 허용공차 한계 범위를 ridge-type InP-AWG 소자와 rib-type silica-AWG 소자의 두 유형에 대해 각각 비교 분석하였다. 특히 ridge-type InP-AWG 소자의 경우, 도파폭의 허용공차 한계 범위가 0.02 μm 이내로 개선될 때 약 -25 dB의 만족할 만한 신호대잡음비나 crosstalk 특성을 보일 수 있는 것으로 나타났고, rib-type silica-AWG 소자의 경우는 허용오차가 0.1 μm 정도 이내이기만 해도 이러한 특성은 약 -30 dB 이상 될 수 있는 것으로 분석되어, AWG 소자가 소형화 됨에 따라 도파폭 허용공차 한계 범위가 점차 중대한 영향을 끼치고 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 전산시뮬의 결과를 실제 제작된 소자의 성능과 비교해 주는 등의 도움과 유용한 충고와 지원을 아끼지 않은 전자통신연구원의 주홍로, 김형문 연구원께 감사를 드립니다. 본 결과는 정보통신부 정보통신 우수 시범학교(대학원) 지원사업에 의하여 1999년 인하대학교 교내 연구비의 지원과 과학기술부 주관의 중점국가 연구개발사업의 부분적인 지원으로 수행하였습니다.

참고문헌

- [1] Meint K. Smit, IEEE J. Quantum Electron. **2**, 236 (1996).
- [2] C. Dragone, IEEE Photon. Technol. Lett., **3**, 896 (1991).
- [3] M. Zirngibl, C. Dragone, and C. H. Joyner, IEEE Photon. Technol. Lett. **4**, 1250 (1992).
- [4] C. G. M. Vreeburg, C. G. P. Herben, X. J. M. Leijtens, M. K. Simit, F. H. Groen, J. J. G. M. van der Tol, and P. Demeester, IEEE Photon. Technol. Lett. **10**, 382 (1998).
- [5] J. Sarathy, S. Chandrasekhar, A. G. Dentai, C. R. Doerr, IEEE Photon. Technol. Lett. **10**, 1763 (1998).
- [6] M. Yong Park, G. Hugh Song, Y. Chung, K. Oh, and U.C. Paek, OECC'97 Technical Digest, 32 (1997).
- [7] 박순룡, 김우택, 라상호, 오범환, 한국광학회지, **9**(6), 408 (1998).
- [8] H. Kogelnik and V. Ramaswamy, Applied Optics, **13**(8), 1857 (1974).
- [9] Yoshihisa Yamamoto, IEEE Journal of Quantum Electronics, **QE-11**(9), 729 (1975).
- [10] G. B. Hocker and W.K. Burns, Applied Optics, **16**(1), 113 (1977).
- [11] S. J. Garth, IEEE Proc.- Optoelectron, **142**(2) 115 (1995)
- [12] 박순룡, 오범환, JKPS 출판중.

AWG device characteristic dependence on the fabrication error limit

Soon-Ryong Park and Beom-hoan O

Semiconductor division, School of Electrical and Computer Engineering, Inha Univ. Incheon 402-751, Korea

(Received June 18, 1999, Revised manuscript received August 3, 1999)

As the waveguide width and the radius of curvature get smaller for the effort of monolithic fabrication of integrated photonic devices, the waveguide characteristics change significantly according to the change of the waveguide width or the radius of curvature. Especially, variation of the waveguide width due to fabrication process errors induces a phase error for each waveguide from the change of the propagation constant. Therefore, it is important to quantify these variation effects on the device characteristics for the design and fabrication of highly integrated photonic devices. Here, we analyze four different types of waveguides to get general characteristics in propagation constant change by utilizing the effective index method and the analytic solution method. Furthermore, the output characteristics of two AWG(Arrayed Waveguide Grating) devices are simulated by a highly-functional computer code. The simulated results have been found to be similar to the realistic device characteristics. The required fabrication error limit for the ridge-type InP-AWG device should be smaller than 0.02 μm to get better channel crosstalk than -25 dB, while the required fabrication error limit for rib-type silica-AWG devices may be allowed up to 0.1 μm to obtain better crosstalk than -30 dB.