

Arrayed-Waveguide Grating의 경로 오차 측정을 위한 저 간섭 광원 간섭계

송영기[†] · 허남춘 · 정영철

광운대학교 전자공학부/전자통신공학과
Ⓣ 139-701 서울특별시 노원구 월계동 447-1

(2004년 9월 5일 받음, 2004년 10월 18일 수정본 받음)

고밀도 AWG (Arrayed-Waveguide Grating)의 광 경로차 에러를 정확히 측정하기 위하여 개선된 형태의 저간섭 광원 간섭계를 구성하였고, 새로운 해석방법을 제시하였다. 소프트웨어적인 방법을 이용하여 하드웨어면에서 실험장치를 간략화할 수 있었다. 또한 인접 간섭신호들 사이의 실제 피크 위치 차이를 보간법을 이용하여 정확히 측정할 수 있다. 특정 AWG의 위상 에러를 측정하였고, 이 에러를 가정하여 계산한 파장 투과 특성이 실제 AWG의 파장투과 특성과 유사함을 보임으로써, 제시한 측정 장치의 정확성을 입증하였다.

주제어 : AWG, Low Coherence, Interferometer, Optical Path Error.

I. 서 론

인터넷 사용자의 증가로 인하여 데이터 트래픽이 하루가 다르게 증가하고 있다. 이러한 데이터 트래픽의 요구를 충족시키는 데 있어서 DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing) 광통신 시스템이 커다란 역할을 하고 있다. 이러한 WDM 시스템을 실현하기 위해서는 동조 가능한 DFB(Distributed FeedBack) 반도체 레이저, EDFA(Erbium-Doped Fiber Amplifier) 등의 능동 소자와 Coupler, AWG 등의 수동소자가 필요하다. 특히 그 중에서도 AWG는 파장 다중화/역다중화의 기능뿐만 아니라 Optical Path Routing, Add/Drop 등의 기능을 할 수 있는 DWDM의 핵심소자이다. 이러한 중요성 때문에 세계 각국에서는 좀더 성능이 좋은 AWG를 개발하기 위해서 노력하고 있으며, AWG의 재료로는 실리카와 InP, 폴리머 등이 있는데 대량생산 및 여러 가지 특성 등으로 인하여 상용화 제품에는 대부분 실리카가 사용되고 있다.^[1]

최근의 AWG는 64, 80채널 등으로 채널수가 증가하는 추세이며, 채널간격도 200, 100 GHz에서 25, 10 GHz로 작아지는 추세이다. 일본의 NTT에서는 10 GHz의 채널간격을 갖는 512채널의 AWG까지 제작하여 보고한 바가 있다.^[2] 40채널 이상의 50, 25, 10 GHz AWG는 광 도파로열간의 인접한 길이 차가 크기 때문에 광 경로의 오차가 커지며, 10 GHz의 채널간격을 갖는 AWG인 경우에는 -15 dB 정도의 누화를 갖는다고 발표되고 있다.^[3] 그러나 상용화 제품을 위해서는 -30 dB 이하의 누화특성을 가지는 AWG를 필요로 하는데 누화 특성을 개선시키는 방법으로는 광 경로 오차로 인한 위상 오차를 보상해 주는 방법이 있다.^[4,5] 따라서 위상 오차를 정확히 측정하는 것이 고밀도 광집적회로를 설계 및 제작하

는데 있어 중요한 요소로 대두되고 있다.

본 논문에서는 정확한 위상 오차의 측정방법에 대하여 논의하였다. 본 논문의 구성은 2장에서 AWG의 구조와 원리에 대해서 설명을 하고 3장에서는 실험에 사용되는 이론을 살펴보고 실험장치를 제시하였다. 4장에서 실험을 통한 측정결과와 그 분석을 통해 본 논문에서 원하는 결과를 얻어내었고 측정된 경로 오차와 파워분포를 AWG의 시뮬레이션에 적용해서 정확성을 확인하였으며, 마지막으로 결론을 맺었다.

II. AWG(Arrayed Waveguide Grating)

AWG는 그림 1과 같이 자유 전파 영역인 두 개의 슬랩 도파로와 이를 연결하는 광도파로 열, 그리고 채널을 형성하는 입력, 출력 도파로로 구성된다.^[6] 한 개의 입력 도파로에서 여기 된 광파 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_6, \lambda_7$ 는 첫 번째 슬랩 도파로에서 퍼져 나가 광 도파로열로 입력된다. 광도파로열의 인접한 도파로들은 광 경로차(Optical Path Difference) ΔL 만큼의 일정한 길이 차이를 가지고 있다. 이러한 구조 때문에 파장에 따른 인접한 도파로들 간의 일정한 위상차를 가지고 도달되고 두 번째 슬랩 도파로 영역에서의 광파들의 위상은 일정한 차이를 갖게 된다. 이는 두 번째 슬랩 도파로에서 집속되는 광파의 방향에 영향을 주게 되어 같은 입력 도파로로 여기 된 각기 다른 파장의 광파는 파장에 따라 다른 출력 도파로로 전달된다. 각각의 광도파로를 지났을 때 광파가 겪게 되는 위상은 다음과 같다.

$$\phi_i = \beta_c(L_c + (i-1)\Delta L) \tag{1}$$

여기서 β_c 는 광 도파로의 전파 상수(Propagation Constant)이고, L_c 는 가장 짧은 도파로 길이이다.

[†] E-mail: ychung@daisy.kw.ac.kr

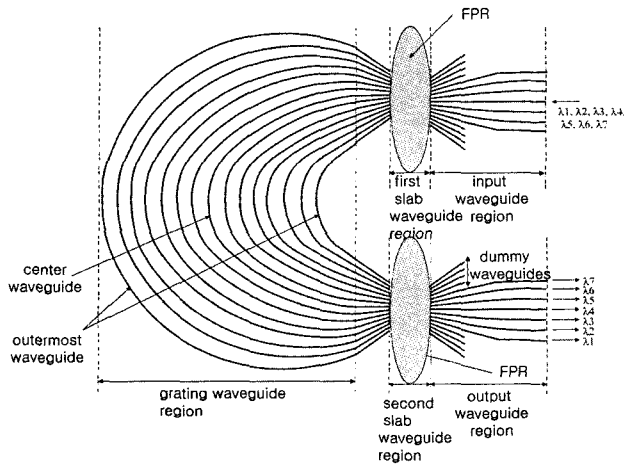


그림 1. 일반적인 AWG의 구조

광 도파로열을 통과한 광파가 두 번째 슬랩 도파로에 입사되어 θ 의 각으로 회절 된다고 하면 이 때의 위상정합 조건으로부터 다음을 만족하여야 한다.

$$n_c \Delta L + n_s d \sin \theta = m \lambda \quad (m : \text{정수}) \quad (2)$$

여기서 n_c 는 광 도파로열에서의 유효굴절율, n_s 는 슬랩 도파로의 유효굴절율, d 는 출력 도파로열간의 간격, m 은 회절계수(Diffraction Order)이며 정수이다. 만일 중심 파장이 $\lambda = \lambda_0$ 일 때 $\theta = 0$ 이면 $n_c \Delta L = m \lambda_0$ 이고, 이때 λ_0 를 중심 파장이라고 부른다. 여기서 이웃한 도파로간의 길이차이는 다음과 같다.

$$\Delta L = \frac{m \lambda_0}{n_c} \quad (3)$$

위의 식 (2)에서 $\beta_c \Delta L = 2m\pi$ 이면 광 도파로열에 연결되어 있는 두 번째 슬랩 도파로 출력면의 중심에서 보강간섭(Constructively Interference)이 발생하여 중앙 출력 도파로로 출력된다. 또한 입력 파장에 따라 상이 맺히는 초점 위치는 $x = f \sin \theta$ (f : 초점거리)이므로 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{dx}{d\lambda} = \frac{fm}{n_s d} \quad (4)$$

파장의 작은 변화에도 초점위치를 크게 변화시키려면 초점 거리가 길거나 회절계수가 커야 한다. 혹은 n_s 나 d 를 줄여야 하는데 n_s 는 물질이 결정되면 변화시키기 어렵고, d 를 줄이면 이웃한 도파로들 사이에 상호결합을 일으켜 위상의 변화를 야기시킬 수 있다. 따라서 채널 간격이 좁은 AWG 라우터의 설계에서는 식 (4)의 회절계수 m 을 크게 하여야 하며, 이로 인해 광 도파로열에서 이웃한 도파로간의 길이차이는 커지게 된다.

채널 간격이 0.4 nm(=50 GHz) 이상인 AWG의 경우는 광 경로차가 60~100 μm 정도이며 통상적으로 측정되는 누화

는 약 -30 dB 이하이다. 그러나 10 GHz(=0.08 nm) 이하의 채널 간격을 가지는 고밀도 AWG의 경우 통상적으로 측정되는 누화는 -15 dB 정도로 상당히 크기 때문에 이를 실제 통신시스템에 적용하는 데는 어려움이 따른다. 이런 결과의 주된 원인은 앞서 언급한 것처럼 채널 간격이 좁아지면 상대적으로 AWG에서 도파로열의 인접한 도파로들 간에 광 경로차가 수백 μm 정도로 상당히 더 커지기 때문이다. ΔL 이 커지면 제작 시 발생할 수 있는 도파로 길이의 오차가 커지게 되며, 위상오차도 더 커질 가능성이 높아진다.

III. 측정이론 및 방법

간섭계에서 유효굴절율과 광 경로차의 곱이 간섭계에 사용된 광원의 파장의 정수배가 되면 보강간섭을 하고 정수배가 아닌 경우는 정도에 따라 최대치보다 감소된 간섭을 한다. 이는 광 경로차가 변화됨에 따라 각각의 경로에 대한 파장의 위상차가 변하기 때문이다.

광원이 DFB 레이저처럼 좁은 스펙트럼 폭을 가지면 간섭계를 통한 간섭신호는 간섭계상에 수 미터의 지연이 생겨도 간섭파형이 잘 발생하게 된다. 하지만 LED처럼 넓은 스펙트럼 폭을 가지는 광원은 경로차가 제로를 중심으로 점점 진폭이 작아지는 간섭파형의 형태를 가진다. 이런 이유는 광원의 스펙트럼 폭과 간섭거리가 반비례하기 때문이다. 간섭거리가 긴 DFB 레이저는 수 미터의 광 경로차이의 변화에도 그 변화가 간섭거리 내에 있기 때문에 강한 간섭신호를 발생시키는 반면 LED처럼 간섭거리가 짧은 광원은 경로차이가 간섭 거리를 넘어서게 되면 분기되었다 다시 만나는 두 빛 간의 관계가 무관해지기 때문에 간섭신호가 나오지 않는다.

본 논문에서는 AWG 도파로열의 인접 도파로들의 경로차가 정확하게 제작되었나를 측정하고자 하므로, 각각의 AWG 도파로 열에 대응하는 간섭신호가 각각 하나씩 발생하여 그 신호들의 분석을 통해서 원하는 결과를 얻어내야 한다. 따라서 LED와 같이 간섭거리가 짧은 즉, 스펙트럼 폭이 넓은 광대역 광원을 이용하여 간섭신호가 각각의 도파로에 대응하여 열마다 하나씩 발생시킬 수 있다. 이때 광대역 광원의 간섭거리는 인접 AWG 도파로열간의 경로차이보다 작아야 한다.

본 논문에서의 실험 장치도는 그림 2와 같다. 전체적인 신호의 흐름을 보면 사용되는 광원은 기준신호 발생을 위하여 중심파장이 1.31 μm 인 DFB-LD를 사용하고, 저간섭 광원으로는 중심파장이 1.55 μm 인 SOA(Semiconductor Optical Amplifier) 두개를 연결하여 사용한다. 이 두 광신호가 커플러를 통해서 AWG쪽 도파로와 가변지연장치(Variable Delay Line) 쪽 도파로로 파워가 분배가 되고 두 부분을 통과한 광신호가 다시 커플러로 합쳐진 후 WDM Coupler를 통과하면서 파장이 1.55 μm 인 신호와 파장이 1.31 μm 인 신호로 나뉘어 오실로스코프의 각각 다른 채널로 동시에 입력이 된다. 이렇게 받아들인 각각의 신호 데이터를 컴퓨터로 옮겨서 분석한다. 기존 발표에서는 1.55 μm 파장 신호는 WDM 커플러에 의해

분리된 후 바로 Waveform Recorder로 입력되고 파장이 1.31 μm 신호는 분리된 후 클럭 발생기로 입력된다.^[7] 발생된 클럭을 이용하여 1.55 μm 파장 신호를 샘플링 함으로써 정확한 지연 거리에 따르는 간섭신호를 얻고 있다. 반면에 본 논문에서 제안한 방식은 WDM 커플러를 통과하면서 나누어진 1.55 μm 신호와 1.31 μm 신호를 동시에 오실로스코프로 받아들인다. 이 신호는 한 간섭주기 내에 수십 개 이상의 샘플링 데이터를 포함하고 있다. 물론 이 데이터는 정확한 시간 간격에 따른 샘플링 데이터이다. 이 데이터에 포함된 저주파 및 고주파 노이즈는 소프트웨어적으로 제거할 수 있다. 1.31 μm 신호에서 zero crossing이 되는 시점을 포착하여 이 순간에 대응되는 1.55 μm 신호의 샘플링 값을 찾아낼 수 있다. 즉 실험 장치가 상당히 간소화될 수 있다.

중심파장 1.55 μm 인 SOA 광신호의 흐름을 자세히 보면 커플러를 지나 AWG쪽으로 신호가 가서 각 도파로열을 지나 3 dB 커플러로 오게 되는데 그 커플러간의 경로길이는 가변지연장치(Variable Delay Line)의 길이를 가장 작은 곳에서 점점 길게 변화시킬 때 커플러를 지난 신호가 가변지연장치를 거쳐 다시 3 dB 커플러로 왔을 때의 거리와 순차적으로 같아지는 순간들이 생긴다. 이 순간들에 간섭신호가 발생하는 것이다. 이 간섭신호는 AWG의 가장 짧은 도파로열에서 먼저 발생하고 간섭거리를 벗어난 후 인접 도파로열과 같은 거리가 되는 순간에 새로운 간섭신호가 발생한다. 각 도파로열에 대응하는 간섭신호들이 순차적으로 도파로열의 개수만큼 발생한다. 이렇게 측정된 간섭신호들에서 한 간섭신호의 최대위치를 구하고 이웃하는 간섭신호의 최대위치를 구해서 그 이웃하는 최대위치간의 거리를 구한다. 이렇게 순차적으로 모든 간섭신호의 최대치와 이웃하는 최대치간의 거리를 구한다. AWG가 설계와 일치하게 제작되었을 때 각 최대치간의 거리는 각 간섭신호 중심파장의 정수배가 되어야 한다. 그러나 경로오차가 생기게 되면 최대치간의 거리가 중심파장의 정수배에서 벗어나게 되고 중심파장의 정수배를 뺀 나머지 값이 제작 시에 생기는 경로오차이다.

그림 3은 간섭신호들에서 임의의 i 번째와 $i+1$ 번째 도파로열을 지난 후 생성되는 각각의 간섭신호를 나타낸다. 각각 간섭신호 최대치의 위치를 $x_i^{peak}, x_{i+1}^{peak}$ 라고 할 때 경로오차는 다음과 같은 관계를 가진다.

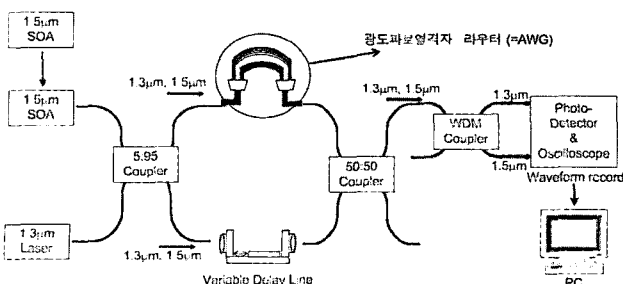


그림 2. AWG의 경로오차를 측정하기 위한 실험장치.

$$x_{i+1}^{peak} - x_i^{peak} = m\lambda + \delta x_i \quad (5)$$

여기서 m 은 정수이고 λ 는 간섭신호의 중심파장이고, δx_i 는 경로오차이다.

식 (5)의 i 번째 경로오차가 다음 식으로 i 번째 위상오차, θ_i^{error} 로 전환된다.

$$\theta_i^{error} = \left(\frac{\delta x_i}{\lambda} \right) \times 360 \quad (6)$$

이와 같은 측정에서 기준신호를 발생시키기 위해서 가변 지연 거리에 무관하게 일정한 간섭신호를 발생시키는 광원이 필요하다. 중심파장이 1310 nm인 DFB 레이저다이오드는 긴 간섭길이를 가지고 있어서 이런 특성을 만족한다. 실험 장치에서 중심파장이 1550 nm인 저 간섭 광원과 중심파장 1310 nm인 DFB 레이저다이오드를 사용했을 때 오실로스코프에서 두 간섭신호를 동시에 획득하여 도시하면 그림 4와 같이 나타낼 수 있다. 그림 4에서와 같이 1310 nm 신호가 제로를 지나는 순간에 1550 nm 신호의 값을 샘플링하는 방식으로 값을 얻게 되면 정확하게 655 nm 거리마다 발생하는

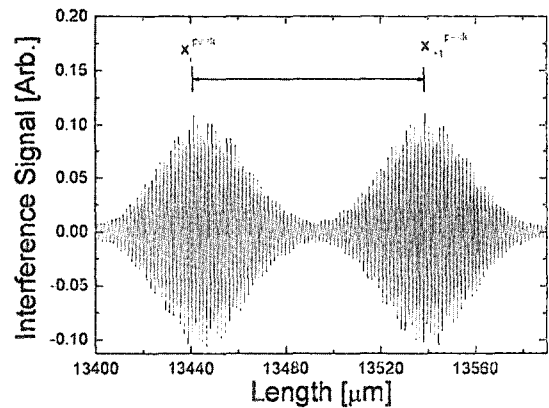


그림 3. 임의의 $i, i+1$ 번째 도파로에 대응되는 간섭신호

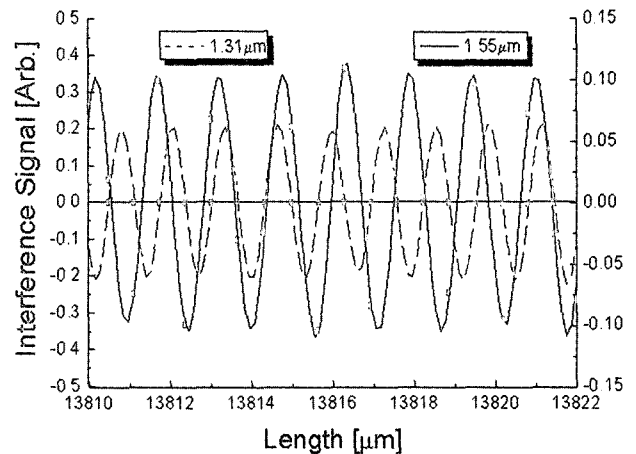


그림 4. 1550 nm의 저 간섭광원과 1310 nm의 DFB레이저에 의하여 발생한 간섭신호.

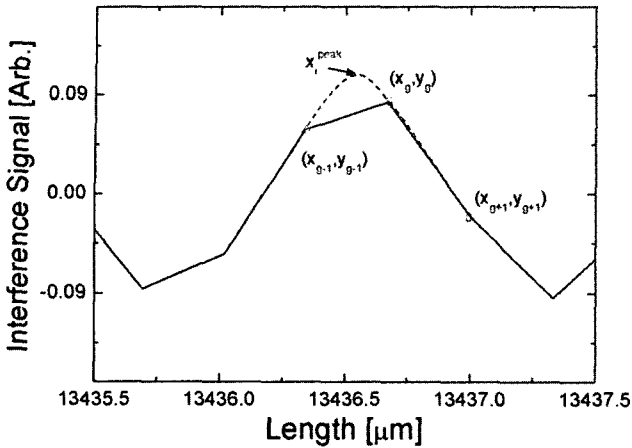


그림 5. 실제의 최대 위치를 구하기 위한 이차 함수 보간법.

1550 nm 간섭신호의 값들을 얻게 된다. 이것은 경로 오차를 구하는데 있어서 정확한 최대위치 간의 거리를 구하는 기준 거리를 제공한다.

보다 정확한 간섭신호의 최대치를 구하기 위해서 본 논문에서는 이차 함수 보간법을 이용한다. 그림 4의 간섭신호에서 최대치의 위치를 구하게 되면 그림 5의 (x_g, y_g) 에서 최대치가 발생하게 된다. 그런데 이 값은 샘플링 간격마다 얻은 값들 중에서의 최대치이기 때문에 실제의 최대치와는 오차를 가질 수 있다.

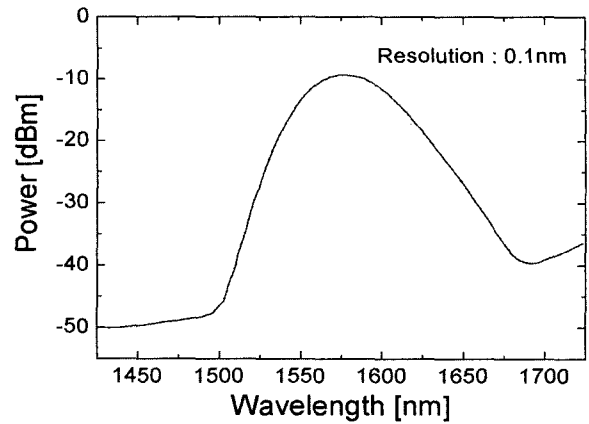
그러므로 오차를 줄이기 위해서 샘플링하여 얻은 최대치 (x_g, y_g) 와 앞, 뒤 샘플링 값 (x_{g-1}, y_{g-1}) , (x_{g+1}, y_{g+1}) 을 이용하여 i 번째 간섭신호의 최대위치 x_i^{peak} 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$x_i^{peak} = \frac{(y_{g+1} - y_{g-1})(x_g - x_{g-1})}{2(y_{g+1} - 2y_g + y_{g-1})} + x_g \quad (7)$$

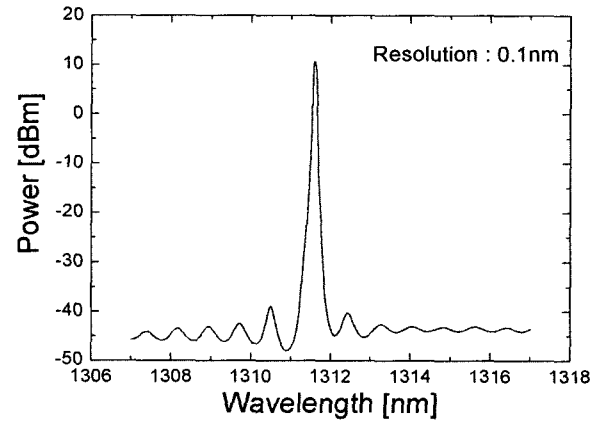
IV. 측정 결과 및 분석

실험에 사용된 AWG는 PLC(Planar Lightwave Circuit) 기술을 이용해서 실리콘으로 제작되었으며, 광 도파로열의 인접 도파로 간의 길이 차이 ΔL 은 $63 \mu m$, 채널 간격 100 GHz, 도파로열의 개수 200개, 출력 채널의 개수 16개, 그리고 Free Spectral Range는 3.2 THz인 특성을 가지고 있다. 저 간섭 광원으로 SOA를 사용하였고 출력 파워를 높이기 위해서 두개를 직렬로 연결을 하였다. 그림 6(a)는 두개를 연결한 SOA의 출력 스펙트럼이다. SOA 스펙트럼으로 Linewidth는 32 nm이고 간섭시간이 0.08 ps이고 간섭거리가 약 $51 \mu m$ 인 것을 알 수 있다. 이와같이 SOA의 간섭거리가 테스트할 AWG의 광도파로간의 차이인 $63 \mu m$ 보다 작으므로 저간섭 광원으로 적당하다.

기준신호를 얻기 위하여 또 다른 광원인 DFB 레이저 다이오드를 사용하였고 그 스펙트럼을 그림 6(b)에 보였다. 중심 파장 $1.31 \mu m$ DFB 레이저다이오드는 간섭성이 강하여 AWG



(a)



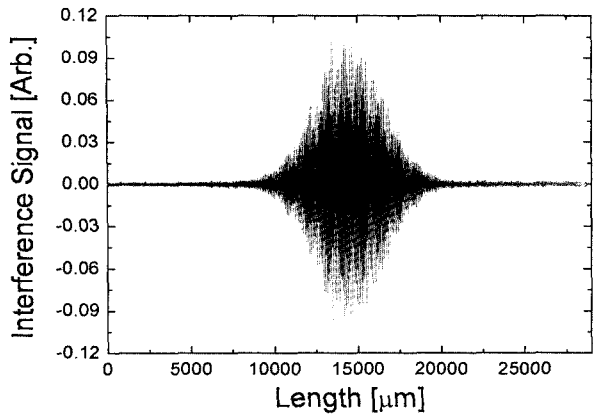
(b)

그림 6. (a) 1550 nm SOA 출력 스펙트럼, (b) 1310 nm DFB LD 출력 스펙트럼.

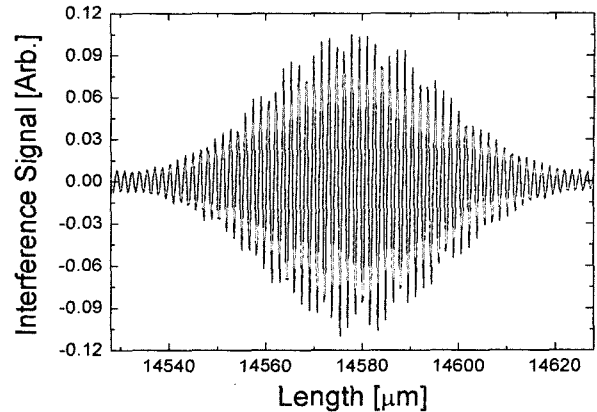
를 통과하고 나온 광파와 가변지연장치를 통과한 광파가 지연 정도에 무관하게 간섭을 일으켜서 일정한 간섭 패턴을 발생시킨다. SOA의 광신호와 같은 경로를 거쳐서 나온 DFB 레이저의 간섭신호는 일정하게 나오기 때문에 기준 신호로 사용한다.

AWG를 통해 측정된 $1.55 \mu m$ 신호의 전체 간섭신호를 그림 7에 보였다. 그림 7(a)는 전체 간섭신호를 나타내고 있고 그것의 중심부분을 자세하게 보면 그림 7(b)와 같이 AWG의 각각의 도파로에 대응하는 간섭신호 패턴들은 주기적으로 되어있다. 그러나 실제로 측정된 간섭신호의 개수를 보면 배열 도파로로 입력되는 광파워분포가 가우시안 형태이기 때문에 배열 도파로의 중앙 도파로에서 멀리 떨어진 도파로의 광 파워가 미약하다. 그러므로 중앙 도파로에서 멀리 떨어진 도파로는 노이즈에 영향을 많이 받게 되어, 배열 도파로의 중앙에 위치한 120개 정도의 배열 도파로 열에서만 간섭 신호를 측정할 수 있었다.

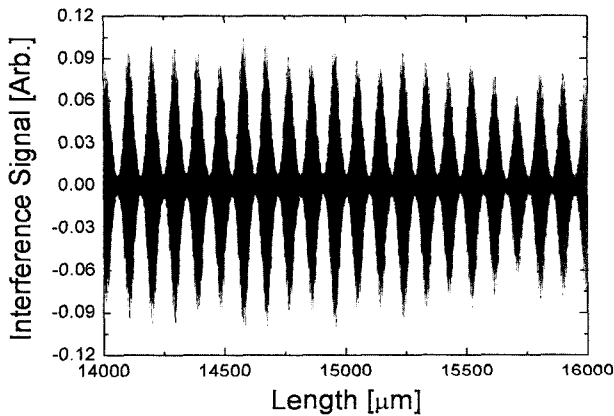
이와 같이 측정된 간섭신호의 데이터 및 식 (7)을 이용하여, 각 간섭신호의 정확한 최대치의 위치를 찾는다. 즉 그림 7(b)의 각 간섭신호 패턴의 최대치를 찾아서 그것들 간의 간



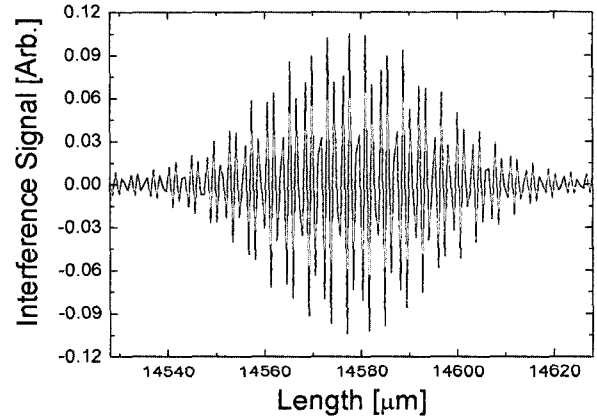
(a)



(a)



(b)



(b)

그림 7. 저간섭 광원의 (a) 전체 간섭 신호 및 (b) 전체 간섭 신호의 중심부분.

그림 8. (a) Sampling 전 1550 nm 간섭신호, (b) Sampling한 1550 nm 간섭신호.

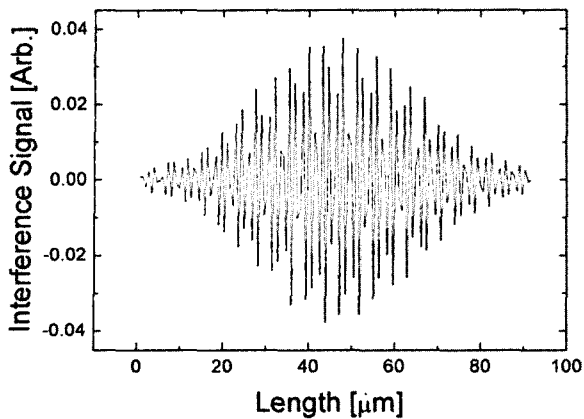
격을 구하는 것이다.

그림 8(a)는 1.31 μm 기준 파장 신호와 동시에 입력된 1.55 μm 신호의 간섭신호를 나타내고 있다. 이 신호는 한 간섭주기 내에 수십개의 샘플링 데이터를 포함하고 있다. 이 과정 후에 1.31 μm 신호가 제로를 교차하는 순간마다 1.55 μm 신호의 값을 포착해서 저장함으로써 정확히 0.655 μm 간격마다 1.55 μm 신호의 값을 얻는다. 이렇게 얻은 신호가 그림 8(b)와 같이 나타나고 그림 상으로는 측정된 간섭신호보다는 형태가 거칠어 졌지만 정확한 간격마다 측정된 간섭신호의 값을 가지는 신호가 되었다.

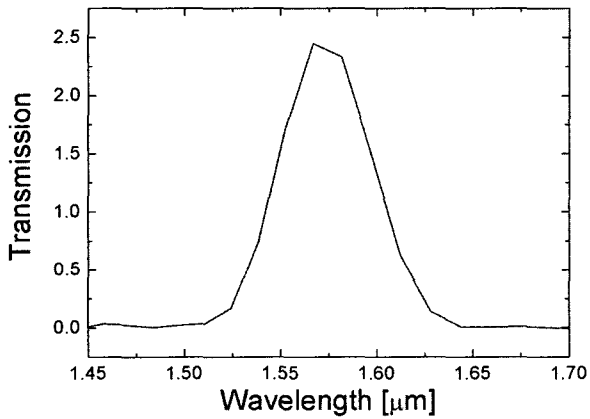
샘플링하여 얻은 간섭신호 패턴들을 처리하기 위해서 우선 일정한 간격으로 잘라야 한다. 그림 9(a)와 같이 특정 도파로에 대응하는 간섭신호에서 최대치를 구하면 이것은 일정한 간격으로 샘플링된 데이터 값들 중에 최대치이다. 이것은 실제의 최대치와 차이를 가지게 된다. 그러므로 이차 함수 보간법을 이용하여 실제 최대치와 매우 근접한 값을 구하게 된다(식 7). 이 최대치의 위치에서 바로 앞에 잘라진 간섭신호의 최대치와의 위치를 차감함으로써 최대치 간의 거리를 얻는다.

또한 잘라진 간섭신호의 위치를 조정해서 FFT하면 그림 9(b)와 같이 파장에 따른 파형이 나오는데 이 파형의 최대치를 구함으로써 중심파장을 구하게 된다. 여기서도 이차 함수 보간법을 적용해 보다 정확한 중심파장을 구한다. 간섭신호를 발생시킨 도파로가 설계에 맞추어 제작이 되었다면 이 최대치간의 거리는 중심파장의 정수배가 되어야 하고 나머지가 생기면 본 논문에서 측정하려고 하는 해당 도파로의 경로 오차가 된다. 이런 과정을 각각 잘라진 간섭신호 패턴들에서 순차적으로 진행함으로써 각 도파로의 경로 오차가 도파로 열의 순서에 맞게 구해지는 것이다. 이렇게 얻은 경로 오차가 그림 10에 나타나 있고 그때의 파워 분포 계수는 그림 11에 나타나 있다. 여러 번의 반복측정에 따른 결과가 상당히 일치함을 관측할 수 있으며, 측정의 정확성을 보여주고 있다. 이차 함수 보간법을 이용한 데이터 처리방식은 보다 실제 값과 매우 근접한 경로오차를 구할 수 있게 한다.

측정한 경로오차와 파워분포를 적용해서 BPM(Beam Propagation Method)을 이용하여 일부 파장에서 시뮬레이션을 한 결과를 그림 13에 보였다. 이것을 실험에 사용한 AWG의 제작 후에 측정된 파장에 따른 투과 특성(그림 12)과 비교해



(a)



(b)

그림 9. (a) 특정 도파로에 대응되는 간섭신호, (b) 간섭신호의 푸리에 변환 스펙트럼.

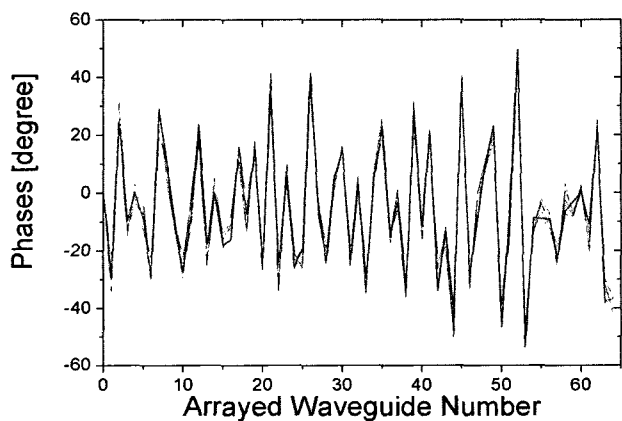


그림 10. 측정대상 AWG의 경로오차 측정 결과.

보면 파장이 1550 nm 근처에서 채널누화가 약 -20 dB로 투과 특성이 비슷한 것을 볼 수 있다. 이를 통해 본 논문의 실험을 통해 측정된 위상 오차 결과가 실제 위상 오차에 근접함을 정성적으로 확인할 수 있다.

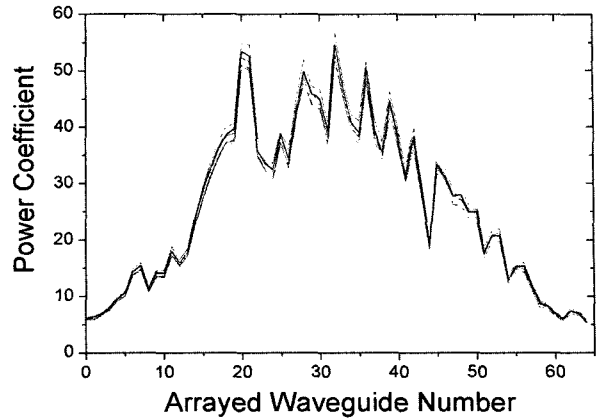


그림 11. 측정 대상 AWG의 파워 분포 계수 측정 결과

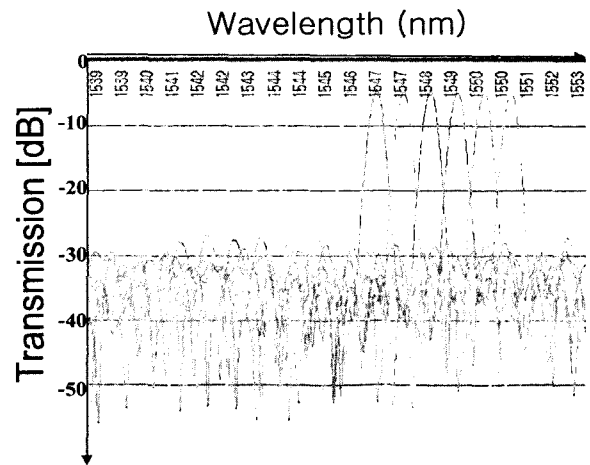


그림 12. 측정된 AWG의 파장에 따른 투과특성

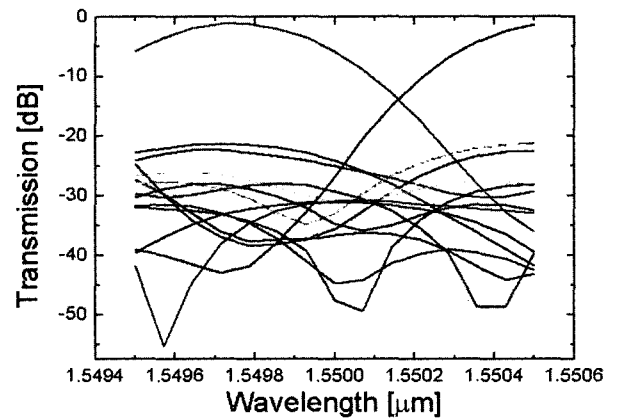


그림 13. 측정된 경로 오차를 가정한 AWG의 시뮬레이션 결과

V. 결 론

WDM 시스템에서 중요한 역할을 하는 소자인 AWG가 채널간의 간격이 줄어들어 따라 도파로열간의 간격(ΔL)이 늘어나게 된다. 이에 따라 광 경로 오차가 발생할 확률이 높아

지기 때문에 채널누화가 커지게 된다. 이에 따라 광 경로 오차를 보상해 주기위하여 정확한 측정이 필요하다. 따라서 광 경로 오차를 측정하는 실험 장치를 통하여 경로 오차와 파워 분포를 측정하였고 그 정확성을 입증하였다.

실험을 위해서 채널 간격이 100 GHz인 실리카 AWG를 사용하였고 이 AWG의 광 도파로열들의 차이($\Delta L = 63 \mu m$)보다 작은 간섭거리를 가지고 있는 저 간섭 광원(SOA)을 사용하였다. 이런 광원을 사용하면 마하젠더 간섭계의 가변 지연 장치의 길이를 점점 증가시키기에 따라 AWG의 각각의 도파로에 대응되는 간섭신호들을 얻을 수가 있다. 본 연구에서는 $1.31 \mu m$ DFB 레이저다이오드의 기준 간섭신호와 $1.55 \mu m$ 저 간섭 광원의 간섭신호를 동시에 얻은 후 데이터 처리를 함으로써 간단한 실험 장치를 구성하였다. 기준 간섭신호의 영교차가 발생할 때마다 저 간섭 광원의 간섭신호 크기를 샘플링하여 각 간섭신호의 피크 위치를 찾았으며, 이를 이차함수 보간법을 이용하여 실제 최대치와 매우 유사한 값을 구하였다. 위 실험을 통하여 정확하고 간편한 방법으로 AWG 인접 도파로들 사이의 광 경로 오차를 측정하였다. 이렇게 구한 경로 오차와 파워 분포계수를 가지고 있다고 가정하고 AWG를 시뮬레이션 한 결과가 제작 후에 측정한 AWG의 채널 누화 특성과 거의 비슷함을 확인하였고, 이를 통하여 측정결과가 정확함을 보였다.

향후 이러한 측정방법을 이용하여 Phase Compensating Plate 또는 Phase 조정 요소들(Thin-film Heater or Amorphous Silicon Film)을 도파로열 중간에 삽입해서 각 도파로열들의 위상오차를 보상을 해주는 방법으로 보다 향상된 특성을 가지는 AWG를 얻을 수 있을 것이다.

감사의 글

이 연구는 한국과학재단 2002년도 산학협력연구(과제번호: 101-2002-000-00063-0)의 지원에 의한 결과입니다.

참고문헌

- [1] Akira Himeno, K. Kato, T. Miya, "Silica-Based Planar Light-wave Circuits", *IEEE J. of Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 4, no. 6, pp. 913-924, 1998.
- [2] K. Takada, M. Abe, M. Shibata, M. Ishii, K. Okamoto, "Low-crosstalk 10-GHz-spaced 512-channel arrayed-waveguide grating multi/demultiplexer fabricated on a 4-inch wafer" *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 13, pp. 1182-1184, Nov, 2001.
- [3] H. Takahashi, I. Nishi, Y. Hibino, "10 GHz spacing optical frequency division multiplexer based on arrayed-waveguide grating", *Electron. Lett.*, vol. 28, no. 4, pp. 380-381, 1992.
- [4] K. Takada, T. Tanaka, M. Abe, T. Yanagisawa, M. Ishii, K. Okamoto, "Beam-adjustment-free crosstalk reduction in 10 GHz-spaced arrayed-waveguide grating via photosensitivity under UV laser irradiation through metal mask", *Electron. Lett.*, vol. 36, no. 1, pp. 60-61, 2000.
- [5] H. Yamada, K. Takada, Y. Inoue, K. Okamoto, S. Mitachi, "Low-crosstalk arrayed-waveguide grating multi/demultiplexer with phase compensating plate", *Electron. Lett.*, vol. 33, no. 20, pp. 1698-1699, 1997.
- [6] M. K. Smit, C. Van Dam, "PHASAR-based WDM-devices : Principles, design and applications", *IEEE J. of Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 2, no. 2, pp. 236-250, 1996.
- [7] K. Takada, H. Yamada, Y. Inoue, "Optical Low Coherence Method for Characterizing Silica-Based Arrayed-Waveguide Grating Multiplexers", *J. Lightwave Technol.*, vol. 14, no. 7, pp. 1677-1689, Jul. 1996.

Low Coherence Interferometer for Measurement of Path Length Errors in Arrayed-Waveguide Grating

Young-Ki Song[†], Nam-Chun Heo, and Youngchul Chung

*DSchool of Electronics Engineering Department of Electronics and Communications Engineering
447-1 Wolgye-Dong Nowon-Ku, Seoul, Korea 139-701*

[†]*E-mail: ychung@daisy.kw.ac.kr*

(Received September 5, 2004, Revised manuscript October 18, 2004)

An improved low coherence interferometer system and a new analysis method for the accurate measurement of the optical path difference error of an AWG (Arrayed-Waveguide Grating) are described. The use of software simplifies the experimental setup by eliminating the hardware (clock generator). In addition, the actual distances between the peak positions of the adjacent interference signals are calculated using interpolation methods. The wavelength transmission characteristics of the AWG are calculated assuming the measured phase errors. The calculated AWG characteristic is quite similar to the actual measurement result, confirming accuracy of the proposed measurement setup.

OCIS Codes : 120.2440, 120.3180.