

I. 서론

21세기의 정보화사회에는 많은 양의 정보를 신속하게 전달하며 처리하는 기술이 요구될 것이라는 것은 누구나 예상할 수 있다. 하지만, 20세기의 과학발전을 주도했던 전자소자는 이러한 요구에 부응하기 어렵다는 것이 전문가들의 공통된 결론이며 그 대안을 광을 이용한 광소자에서 찾고 있다. 현대, 기존의 광소자들로서는 효율과 소자의 크기 면에서 한계를 보이고 있다. 이러한 기존의 광소자의 한계는 20세기말에 때맞춰 등장한 광결정의 개념을 이용해 극복될 수 있다. 이미, 선진국들은 광결정소자를 전략적인 차세대 연구과제로 선정하여 집중투자하고 있으며 최근 미래를 선도할 나노기술의 한 부분으로 분류되어 나노광소자(nano-

소자와 광 집적회로의 제작이 가능하리라 예상하고 있다. 현재 광결정소자의 제작에는 최첨단의 반도체 e-beam lithography 기술과 전기 화학적 방법인 anodization 그리고 자가조립물질을 이용한 화학적 방법 등이 사용되고 있으며, 효과적인 제작방법의 개발과 정보교환을 위해 관련분야들 사이의 학제간 연구가 진행되고 있다. 광결정소자의 연구에 있어 첨단기술을 요하는 제작기술 만큼이나 중요한 한 것이 제작에 앞서 원하는 기능을 갖는 광결정소자의 구조를 설계하는 이론적 수치적 방법으로 제작 시간과 비용을 줄이는 것뿐 아니라 광결정소자의 기본적인 특성을 이해하는데 큰 도움이 되므로 세계 여러 연구 그룹에서 개발되고 있다. 본 고에서는 주로 광결정수동소자인 광결정 도파로의 특성과 현재의 개발수준 및 과제 그

특집 ■ 나노포토닉스

광결정 도파로와 초 프리즘

기철식*, 임한조*

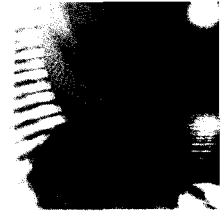
opical device) 혹은 나노광공학(nano photonics)이라는 이름으로 미국을 비롯한 유럽과 일본 등에서 집중 투자 될 전망이다.⁽¹⁾ 광결정소자란 간단히 말해, 광결정의 광자띠간격, 광의 국소화, 비선형성, 그리고 강한 분산특성을 이용한 광소자이다. 광결정소자의 종류는 크게 광원에 해당하는 레이저(laser)와 발광소자(light emitting device)와 같은 능동소자(active device)와 발생된 광을 원하는 방향으로 전파시키는 도파로(waveguide), 원하는 파장의 광만 선택적으로 통과시키는 필터(filter), 광의 진행방향을 여러 갈래로 분할하는 분할기(splitter), 그리고 여러 광을 혼합하는 혼합기(combiner)와 같은 수동소자(passive device)로 나누어진다. 이러한 광결정소자들은 그 구조상 유기적인 결합이 용이해 새로운 기능을 갖는 광

리고 광결정의 강한 비 선형성을 이용한 초 프리즘에 대해 간단히 소개한다.

2. 광결정 도파로

기존의 유전체나 광섬유를 이용한 광의 도파는 기본적으로 내부 전반사를 이용한 것이다. 이 때문에 도파되는 방향이 급하게 바뀌는 경우 도파되는 광의 에너지는 도파로를 따라 대부분 전달되지 못하고 외부로 소실되어 버린다. 예를 들면, 광섬유가 90°로 꺾이는 경우 도파되는 에너지의 대략 30% 정도만 90° 코너를 돌아 전달된다. 이런 특성은 광의 도파 방향이 심하게 바뀔 수밖에 없는 광집적회로 구현에 있어 반드시

* 아주대학교 분자과학기술학과



해결되어야 할 문제이며 앞으로 정보화 사회의 기반이 될 초고속 통신을 위해서도 반드시 해결되어야 한다.

광섬유의 도파손실은 내부 전반사에 의한 도파원리로부터 기인하기 때문에 문제해결을 위해서는 새로운 개념의 도파원리를 적용해야 한다. 광결정 도파관은 내부 전반사가 아닌 다른 원리로 광을 도파시키는데 바로 국소결합에 강하게 구속되는 결합모드를 이용하는 것이다. 국소결합을 한 방향으로 나열하면 결합모드의 광은 그 방향에 수직인 방향으로 구속되어 있고 나열된 방향으로 구속되지 않아 광이 국소결합이 나열된 방향으로 도파되는 특성을 가진다.^[2] 이러한 특성은 굴곡이나 심한 꺾임이 있다고 하더라도 변하지 않으므로 광결정 도파관을 이용하면 심지어 90°에 가깝게 꺾이는 코너에서도 광을 효과적으로 도파할 수 있을 것이라 예상되어졌고 최근 그 가능성이 실험적으로 보고되었다.^[22] 광결정 도파관의 이러한 특성은 도파관의 접합으로 생기는 cross-talk 현상을 완화시키고 도파관으로 이루어진 다양한 광소자의 성능을 향상시키며 크기를 줄이는데 유용할 것이다. 예를 들면, 광분배기는 광 신호를 나누는데 사용되는 소자로 광통신에 있어 필수적이다. 광분배기에서 광 신호가 나누어 질려면 분배기를 구성하는 도파관에 곡률이 항상 있으므로 기존의 도파관으로는 곡률에 의한 손실을 피할

수 없다. 손실을 다소 줄이기 위해서는 곡률을 완만히 변화시켜야 하는데, 이것은 광분배기의 전체적인 크기를 증가시키는 단점이 있다. 이러한 기존의 광분배기의 한계는 심한 꺾임에도 손실 없이 광을 도파하는 광결정 도파관을 이용해 해결될 수 있을 것이다.

그림 2-7는 광집적회로의 구성에 적합한 박막형 Y형 광결정 분배기로 각 방향으로 분배되어진 광의 도파특성이 거의 일치하는 것을 볼 수 있다.^[39] 측정된 도파효율이 낮은 이유는 수직방향의 유한성으로 인해 수직방향의 방사 및 입력과 출력 단에서의 임피던스 불일치로 인한 반사 때문이다. 특히, 입력과 출력 단에서의 임피던스 불일치로 인한 도파효율의 저하는 광결정 분배기 뿐 아니라 광결정 도파관으로 이루어지는 다양한 광결정 소자에서 일어나는 문제이다. 일반적으로 임피던스는 구조에 따라 달라지므로 입력과 출력단의 구조에 따른 광결정 도파관의 도파특성은 광결정 도파관의 실제 응용에 매우 결정적인 요인이다. 그러므로, 최근에 이에 대한 연구가 집중적으로 진행되고 있다.^[4]

광소자에 다양한 기능을 구현하기 위해서는 도파관과 더불어 광필터가 필수적이다. 특히, 광집적회로의 실현에 용이한 막박형의 광결정 상에서 광필터의 설계는 현재 전 세계적으로 연구가 진행 중이다. 그림 2-8은 광결정 공진기와 도파관을 이용한 필터로서 여러

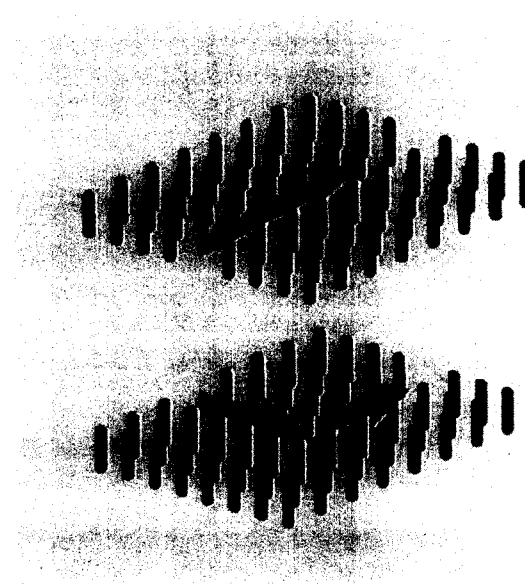
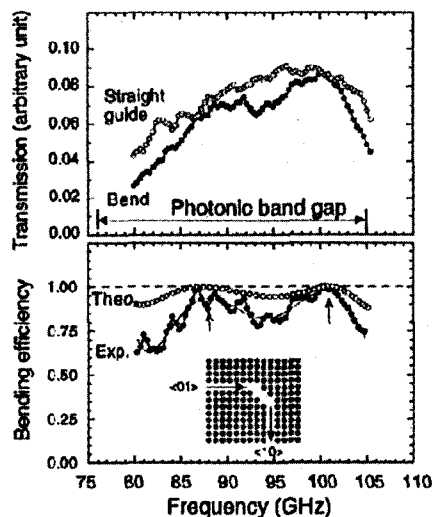


그림 1. 급한 꺾임이 있는 광결정 도파관의 도파특성



광결정 도파로와 초프리즘

파장의 광들 중에서 특정파장의 광만 공진기와 도파로 간의 상호작용을 이용해 다른 도파관으로 dropping하거나 수직방향으로 필터링 할 수 있음을 보여준다.^[5] 이러한 구조는 add-drop filter나 파장 다중 분할기의 기능을 할 수 있어 많은 연구의 대상이 되고 있다.

3 초 프리즘

인터넷 트래픽은 6개월에 2배로 증가하는 추세로, 2005년경에는 처리해야할 용량이 테라비트급에 이를 것으로 전망된다. 이러한 용량을 소화하기 위한 기술로 WDM 방식이 있다. WDM은 개별의 정보를 각각 다른 파장을 가지는 레이저에 실어서 한 가닥의 광섬유에 합쳐 전송한 후, 이를 수신단에서 갈라내어 정보

를 추출하는 방법이다. 이러한 WDM에 있어서는 합쳐진 정보들을 분리하고 한 개의 도파로에 합치는 기능을 가진 소자가 반드시 필요하다. 이러한 기능을 갖는 대표적인 광소자로 도파관 격자 배열(arrayed waveguide grating, AWG)이 있지만, 해결되어야할 몇 가지 문제점이 있다. 첫째는 소자의 크기가 크다. 왜냐하면 각 광의 진행 경로에 대해, 개별적으로 도파로를 만들어야하고, 각 도파로를 구부리는 반경에 제한이 있기 때문이다. 둘째, 도파로의 굴절률을 아무리 크게 하더라도 도파되는 광들 사이의 결함을 피할 수 없고 도파로 간격을 충분히 크게 하는 것이 불가능하기 때문에 crosstalk이 감소되지 않는다.

기존의 유리 프리즘에 비해 수백배에 이르는 분산을 갖는 광결정의 강한 분산을 이용한 초프리즘현상은 일본의 NEC 그룹에서 보고 되었다.^[6] 아래의 사진은

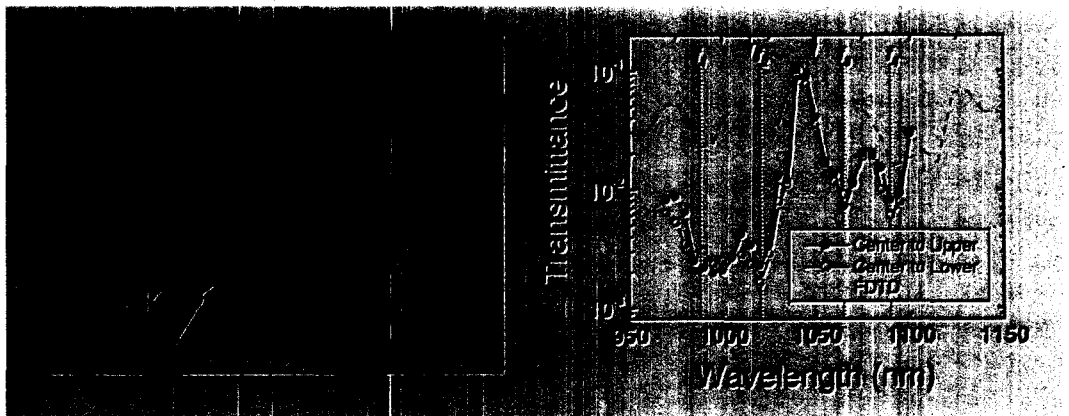


그림 2. 막박형 광결정 분배기와 측정결과

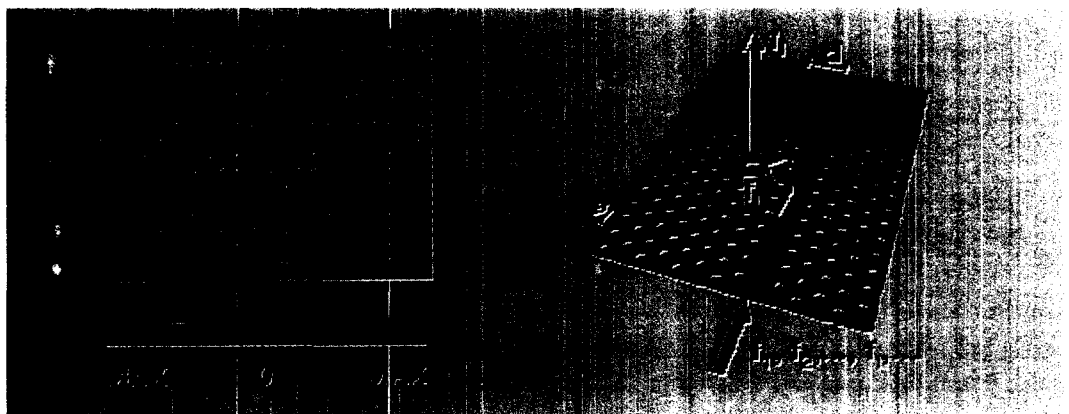


그림 3. 광결정 add-drop 필터와 수직 필터

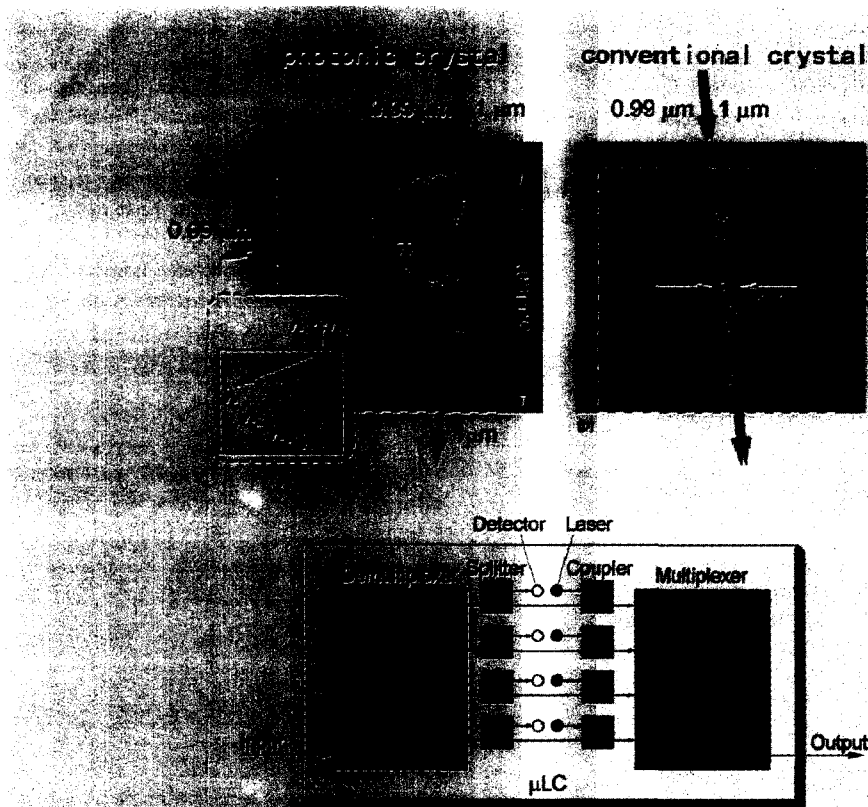
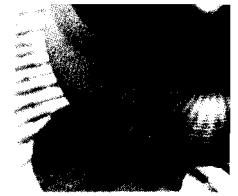


그림 4. 광결정 프리즘과 기존의 프리즘에서의 광의 굴절(위). 광결정 프리즘 분할기와 혼합기를 이용한 WDM의 개략도(아래)

광결정의 초 프리즘현상을 보여주는 것으로 광들의 파장 차이가 $0.01 \mu\text{m}$ 인 경우 광결정 프리즘은 50° 나 되는 굴절각의 차이를 주는 것을 보여준다. 따라서, AWG보다 아주 작은 크기의 광결정으로 AWG의 역할을 할 수 있으므로 초 프리즘현상을 이용하면 광통신 소자의 크기를 소형화하고 광회로의 집적도를 획기적으로 개선할 수 있을 것이다.

4. 맺음말

광결정연구를 선도하고 있는 세계 여러 나라의 대학 및 연구소에서의 연구목적은 궁극적으로 광결정을 이용한 광집적회로 구현에 있다. 그 이유는 그들이 21세기 정보화 사회에서 초고속 광통신망과 고용량의 정보를 신속히 처리하는 통신소자에는 전자가 아닌 광을

이용한 광집적회로가 핵심적인 역할을 하리라 확신하기 때문이다. 아직까지는 광결정능동소자와 수동소자들의 개별적인 특성을 연구하고 있지만 머지않아 이것들로 이루어진 초보적인 광집적회로의 특성을 연구할 것이다. 그래서 앞으로의 연구방향은 개별 광결정소자의 특성에 대한 연구보다는 각 광결정소자를 이어주는 다양한 형태의 광결정 도파로에 대한 연구와 광결정 도파로간의 상호작용이나 결합된 광결정 광소자들의 특성에 대한 연구로 바뀔 것이라 전망한다. 국내의 광결정수동소자에 대한 개발사례는 아직 보고되지 않았으며 주로 이론적 연구결과가 보고되고 있을 뿐이다. 최근, 광결정수동소자에 대한 유용성이 증명되면서 국내에서도 여러 연구 그룹들이 팀을 만들어 광결정수동소자 개발에 힘쓰고 있다.

1. National Science and Technology Council, "Nanotechnology Research Direction: Vision for Nanotechnology R & D in next decade", Sep. 1999.
2. S. Lin, E. Chow, V. Hietala, P. R. Villeneuve, and J. D. Joannopoulos, "Experimental Demonstration of Guiding and Bending of Electromagnetic Waves in a Photonic Crystal", Science Vol. 282, p. 274, 1998.
3. Y. Sugimoto, N. Ikeda, N. Carsson, K. Asakawa, N. Kawai, and K. Inoue, "Light-propagation characteristics of Y-branch defect waveguides in AlGaAs-based air-bridge-type two-dimensional photonic crystal slabs", Optics Letters Vol. 27, No. 6, p. 388, 2002.
4. A. Adibi, Y. Xu, R. K. Lee, A. Yariv, and A. Scherer, "Guiding mechanism in dielectric-core photonic-crystal optical waveguides", Physical Review B Vol. 64, No. 3, p. 033308, 2001.
5. S. Noda, A. Chutinan, and M. Imada, "Trapping and emission of photons by a single defect in a photonic bandgap structure" Nature Vol 407, p. 608, 2000.
6. H. Kosaka, T. Kawashima, A. Tomita, M. Notomi, T. Tamamura, T. Sato, and T. Kawakami, "Superprism phenomena in photonic crystals", Physical Review B Vol. 58, No. 16, p. R10096, 1998.



1992년 : 부산대학교 물리교육학과(물리학 학사).
1996년 : 한국과학기술원 물리학과(석사).
2000년 : 한국과학기술원 물리학과(박사).
1996년 10월~2000년 10월 : 미국 UCLA Post Doc.
2000년 10월~현재 : 아주대 연구 조교수.
email : cskee@madang.ajou.ac.kr
주관심분야 : 광자결정.

6page 참조