

광결합 변화에 의해 부모드 억제된 협대역 수직 결합기 파장 여과기*

한 상 국

연세대학교, 전파공학과

(1997년 8월 8일 받음)

수직결합 구조의 방향성결합기 파장여과기에 진행방향으로 광결합력의 변화를 도입으로서 부엽이 감소하고 동시에 통과대역폭이 감소하는 새로운 구조의 파장여과기를 제안하였다. 광결합 구조로서는 결합정도가 반정현 모양인 분포결합과 최소의 결합을 일정하게 유지하는 느린결합을 연계하여 사용하였다. 모의실험 결과 중심파장 1.5507 μm 에서 3 dB 통과대역폭은 약 1.5 nm이고 부엽 억제비는 20 dB 이상으로서 기존의 일정한 결합구조의 파장여과기에 비해 2배 이상 증가함을 알 수 있었다. 파장역다중을 위해 두 개의 파장여과기를 단일집적한 2채널 역다중기를 제안하고 동작특성을 모의실험 하였다.

I. 서 론

최근에 파장분할다중(WDM) 기술을 이용한 광통신 및 광네트워크가 초고속, 대용량 정보전달 수단으로 각광받고 있다. 고밀도 효율적인 WDM 시스템을 구현하기 위해서는 여러 파장의 신호를 모아주고, 나누어 주는 파장다중 및 역다중 기능이 매우 중요한데 이에 필수적인 핵심소자가 파장 여과기 일 것이다. 파장다중/역다중에서 요구되는 주요 특성으로서는 좁은 채널간의 파장간격을 통한 WDM 밀도의 증가와 채널간의 누화(cross-talk)를 최소화하여 비트오율(BER)을 감소시키는 것등이 중요하다. 따라서 통과대역폭이 좁고 부엽(side-lobe)이 억제된 파장 여과기가 필요하며^[1,2], 동시에 실제 시스템에 적용하기 위해서는 소자구조의 간결성 및 낮은 전파손실등이 함께 고려되어야 한다.

본 논문에서는 수직결합 구조의 방향성결합기 파장여과기에 광파 진행방향으로 광결합력의 변화를 줌으로서 부엽이 감소하고 동시에 통과대역폭이 감소하는 새로운 구조의 파장여과기를 제안하고 모의실험한다. 광결합 구조로서는 결합정도가 반정현(half-sinusoidal)형태의 분포결합(distributed coupling)과 최소의 결합을 일정하게 유지하는 느린결합(slow coupling)을 연계하여 사용하였다. 모의실험 결과 중심파장 1.5507 μm 에서 3 dB 통과대역폭은 약 1.5 nm이고 부엽 억제비(Side-lobe suppression ratio, SLSR, 주엽과의 상대적인 광전력 크기 차이)는 20 dB 이상으로서 기존의 일정한 결합구조의 파장여과기에 비해 2배 이상 증가함을 알 수 있었다. 파장역다중을 위해 두 개의 파장여과기를 단일집적한 2 채널 역다중기를 제안하고 동작특성을 모의실험 한다.

II. 광결합설계

결합기 구조의 파장 여과기의 동작원리 및 특성은 잘 알려

져 있다.^[3,4] 모의 실험에 사용된 구조를 그림 1에 나타낸다. InP에 성장된 격자 정합된 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{Al}_y\text{As}$ 가 각각의 층에 사용되었고, Al의 성분을 변화함으로써 굴절을 변화를 얻게 된다. 각 층의 굴절률은 ridge 영역, 하단의 strip-loaded(SL) 광도파로 그리고 두 광도파로 사이 및 buffer의 순으로 작게 하여 비대칭 방향성결합기 구조를 형성한다. 본 연구에서는 ridge 영역은 $y=0.10$, SL광도파로는 $y=0.20$, 나머지 결합영역 및 버퍼는 $y=0.30$ 으로 고정하였으며 이 때 각층의 굴절률은 1.55 μm 에서 각각 3.458, 3.369, 3.300 이다. Ridge 광도파로는 도파하는 모드가 strong guiding되는 반면에 SL광도파로는 weak guiding된다. 두개의 광도파로가 특정 파장에서만 전파상수가 같게되어 상호간에 에너지를 주고 받는 결합(coupling)이 발생하고 나머지 파장에서는 전파상수의 차이에 의해 에너지 결합이 억제된다. 따라서 두개의 광도파로의 비대칭성(asymmetry)을 최대한 함으로서 동작파장에서 벗어난 파장에서 에너지 교환을 최대한 급격히 감소시키는 것이 협대역 통과파장을 얻기 위한 필요조건이다. 따라서 각각의 광도파로의 전파상수의 분산(dispersion)의 정도를 조절하여 ridge의 경우에는 매우 큰 분산을, SL광도파로의 경우에는 작은 분산정도를 갖게 함으로서 두 광도파로의 분산정도의 차이를 극대화 하는 노력이 필요하다. 자세한 동작원리는 참고 문헌^[3,4]을 참조한다. 여기서 두개의 광도파로는 1550 nm 파장 근처에서 위상정합되어 파장여과기의 통과중심파장이 되도록 설계한다. Ridge 광도파로의 크기는 너비 3.0 μm , 높이 0.6 μm 로 고정하고, strip의 너비는 20 μm 으로 고정시킨 후 두 광도파로 사이의 거리(S)는 필요한 결합력에 따라 조정하게 된다. 입사광은 SL광도파로에 입사하고 여과된 광출력은 ridge광도파로를 통해 얻게 된다.

부엽이 억제된 협대역 동작특성을 얻기 위해 분포결합 및 느린 결합을 연결하여 사용하였는데 그림 1에서 볼 수 있듯이 ridge 광도파로의 위치에 따라 진행방향으로 결합크기가 달라지게 된다. 고정된 결합을 갖는 방향성 결합기의 경우 파장에 따른 광전력 결합의 주기적인 반복성에 의해 인근 파장에서 연속적으로 부엽들이 생긴다. 일반적으로 광파진행 방향으로

*본 연구는 97년도 연세대학교 학술연구비 지원에 의해 수행되었음에 감사드립니다.

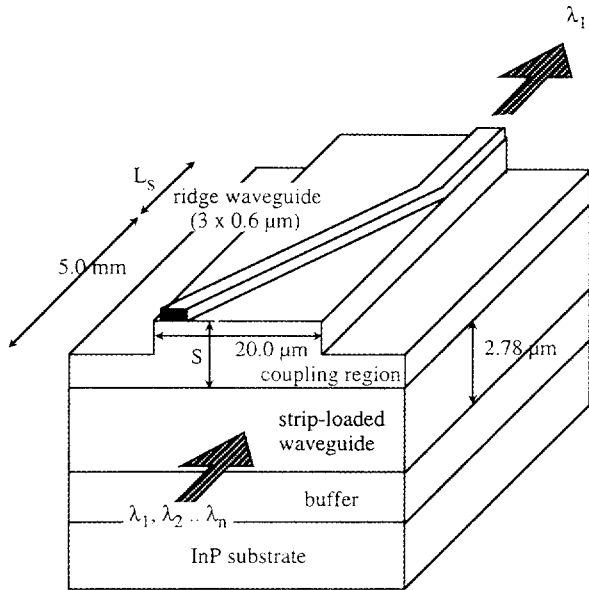


그림 1. 제안된 파장여파기 구조. 여기서 각층은 $In_{0.53}Ga_{0.47}yAl_xAs$ 으로서 ridge 광도파로 영역은 $y=0.10$, SL 광도파로는 $y=0.20$, 나머지 결합영역 및 버퍼는 $y=0.30$

결합정도가 변화하는 분포결합은 방향성 결합기 구조에서 부엽을 감소시키는 구조로 알려져 있다.^[5] 반정현과 형태의 분포결합을 수직결합기에 적용하기 위해 ridge 광도파로의 중심위치를 strip 상에서 광파가 진행하면서 측면 방향으로 16 μm 이동시켰다.^[6] 이론적으로는 분포결합의 절대크기가 작고 결합길이가 클수록 통과대역은 감소하게 되는데, 실제 소자의 길이의 제한을 고려하여 5 mm로 제한하였다. Ridge 광도파로의 중심위치가 변함으로 발생하는 결합계수의 변화가 비선형적이므로, 선형적인 중심위치 변화로 그림 1에서 보인 분포결합 형태를 얻을 수 있었다. 그림 2는 1550.7 nm의 파장에서 S가 1.7 μm일 경우 결합상수(K_{12})의 진행방향으로의 변화를 보인다. K_{12} 는 ridge로 부터 SL 광도파로로의 굴절을 섭동을 의미하므로 결과적으로 SL로 부터 ridge 광도파로로의 광전력 전달정도를 나타낸다. 결합상수는 두 광도파로의 전계

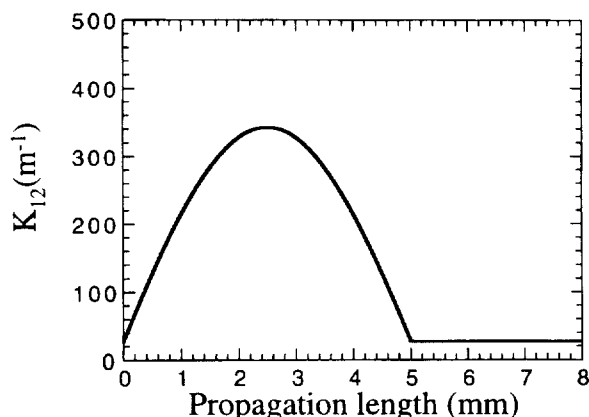


그림 2. S가 1.7 μm일 경우 1.5507 μm에서 진행방향으로의 결합상수 변화.

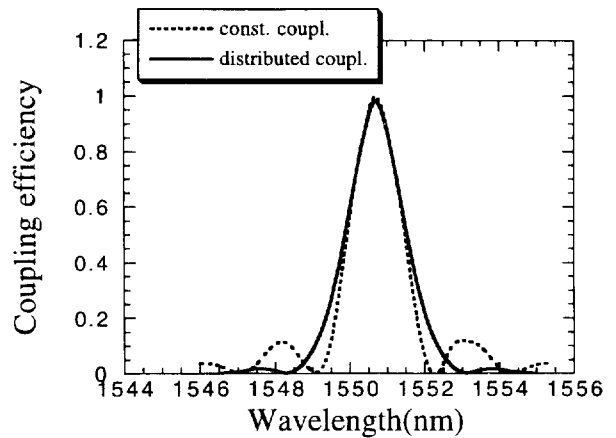


그림 3. 분포결합(실선) 및 일정한 결합(점선)을 갖는 결합기 구조 파장여파기의 응답특성 비교.

분포의 단면방향에서의 중첩적분(overlap integral)을 통해 구해진다. 광도파로간의 결합상수를 구하기 위해 각 도파로의 유효굴절률과 이에 상응하는 전계분포를 파장의 함수로 구해야 하는데, ridge 광도파로의 경우 spectral index method^[7]가 사용되었고 SL 광도파로는 2차원 Effective index method를 통하여 해석되었다. Marcattili의 모델^[8]을 이용하여 각각의 파장에서 SL로 부터 ridge로의 광전력 전달을 구함으로써 일정한 결합크기를 갖는 경우와 분포결합을 할 경우의 여파기 응답특성을 비교할 수 있었다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 분포결합의 경우 부엽 억제비가 9 dB에서 18 dB로 증가하였다. 이 경우 공정한 비교를 위하여 각각의 응답에서 통과대역폭 및 최대 광전력 결합효율을 같게 유지하였다.

분포 결합에 의해 부엽의 억제가 향상되었는데 계속하여 느린 결합을 도입하므로써 부엽을 더욱 감소시키고 통과 대역폭을 좁게 할 수 있다. 5 mm의 분포결합후에, 수 mm 정도 일정하게 최소의 결합을 하는(그림 2 참조) 느린 결합구조를 사용하였다. 방향성 결합기 구조에서는 광전력의 결합이 주기적으로 반복되므로 균일한 동작특성을 갖는 파장 여파기로 사용하기 위해서는 소자길이에 따르는 동작특성의 예민성을 줄여야 한다. 따라서 특정 파장에서만 동작하는 디지털 광스위치 기능을 제공함으로써 결합길이에 의한 예민성을 감소시킬 수 있다. 그림 4는 S가 1.7 μm이고 3 mm의 느린 결합을 할 때 3개의 다른 파장의 광전력 결합 특성을 광파 진행 방향으로 나타낸다. 주목해야 할 점은 중심파장인 1.5507 μm에서의 전달특성과 나머지 두 파장의 전달특성의 차이점이다. 1.5507 μm에서는 두 광도파로의 위상이 정합되었지만 5 mm의 분포결합동안 완전한 광전력 전달이 되는 비트길이(bit-length)에 도달하지 못하였으므로 계속하여 SL 광도파로에서 Ridge 광도파로 광결합이 진행된다(순방향 결합). 반면에 다른 파장에서는 비트길이에 이미 도달하여 ridge에서 SL 광도파로로 역결합이 발생한다(역방향 결합). 역방향 결합의 경우처럼 위상이 정합되지 않을 경우, 비트길이는 감소하게 되고 최대 광전력 전달도 줄어들게 된다. 따라서 여파기의 통과 대역폭과 부엽 억제비를 향상하기 위해서는 언급한 순방향 및 역방향 결합의 차이를 최대로 증가시키는 것이 중요하다. 동시에 느린 결

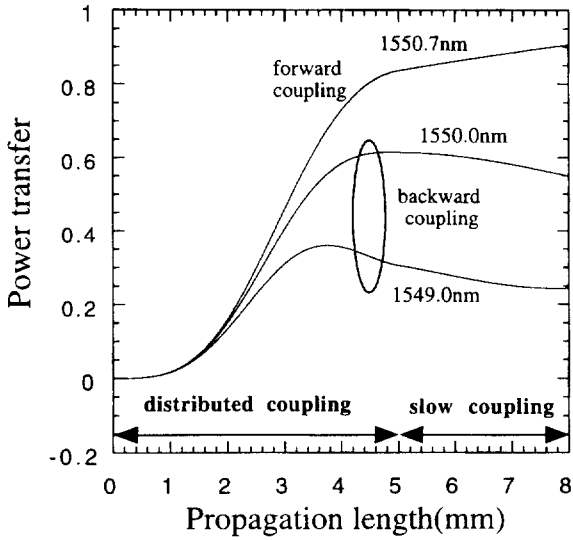


그림 4. 느린결합에서 파장에 따른 순방향 및 역방향 결합 특성.

합 영역에서는 최소한의 결합을 하게 되므로 소자길이에 의한 동작특성의 예민성도 완화할수 있게 된다. 순방향 및 역방향 결합의 차이를 극대화하기 위해서는 두 광도파로간의 절대 결합크기를 결정하는 S의 적절한 선택이 요구되는데, 결합기의 비트 길이가 분포결합 길이보다 길게 하여야 한다. 통과 대역폭이 1.7 mm이고 3 mm의 느린 결합길이일 경우 두 광도파로간의 간격(S)에 따라 부엽 억제비와 파장 여과기 결합 손실의 변화를 그림 5에 나타낸다. 부엽 억제비는 결합이 약해짐(S가 증가)에 따라서 증가하게 되는데, 이 경우 결합손실도 같이 증가하게 된다.

광도파로 사이 간격과 더불어 느린 결합의 길이(L_s), 또한 파장 여과 특성을 결정하는 중요한 변수이다. 그림 6은 L_s 변화에 따른 통과 대역폭 및 부엽 억제비의 변화를 보여준다. L_s 가 길어짐에 따라 통과 대역폭은 좁아지게 되고 부엽 억제비는 일정한 값을 중심으로 약 1 dB정도 정현적으로 변화였다. 부엽 억제비의 작은 정현적 변화는 방향성 결합기 구조에서 남

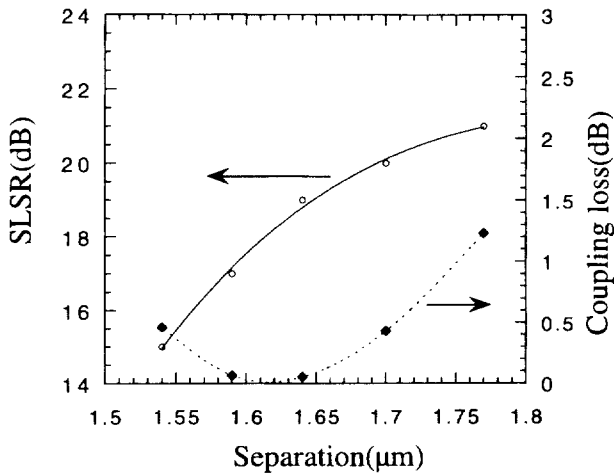


그림 5. 광도파로 사이 간격 변화에 따른 부엽억제비(SLSR) 및 결합손실의 변화.

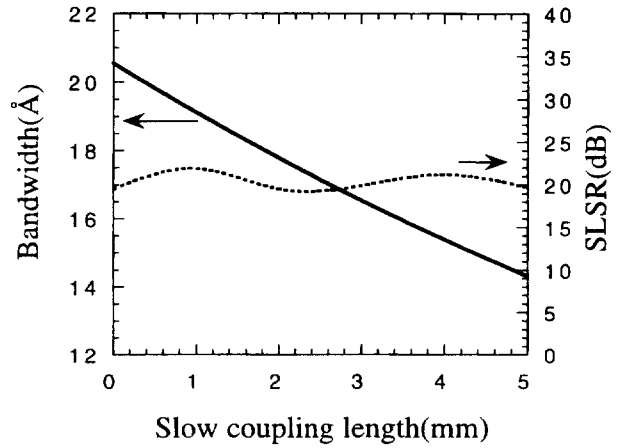


그림 6. 느린결합 길이 변화에 대한 3 dB 통과대역폭 및 부엽억제비(SLSR)의 변화.

아있는 주기적인 광결합 특성에서 기인하는데 1 dB정도의 변화는 20 dB의 부엽 억제비를 고려할 경우 무시할수 있게 된다.

III. 두체널 파장 역 다중기

전체적인 파장 여과기 응답 특성을 모의 실험하고 여러 변수를 최적화하는 과정이 필요하다. 입사광의 편광은 TE이고, modified coupled mode이론⁽⁹⁾과 Marcatili의 광전달 특성식을 사용하여 각각의 파장에서 광전력 전달 특성을 계산하였다. 이때 coupled mode이론에서 흔히 위배되는 전체 광전력 보존성을 알아보기 위해 매 10 μm단위로 SL 및 ridge 광도파로의 광전력 합을 확인한 결과 1% 이하의 매우 작은 변화를 보였다. 최적화된 파장여과 특성을 얻기 위해 S와 L_s 를 변화시키며 여과기 응답특성을 모의 실험한 결과 S=1.7 μm, L_s =4 mm일 경우 1.5507 μm의 중심 파장에서 1.5 nm 3 dB통과 대역폭, 21 dB의 부엽 억제비 그리고 90%이상의 최대 광전력 결합을 얻었다(그림7 참조).

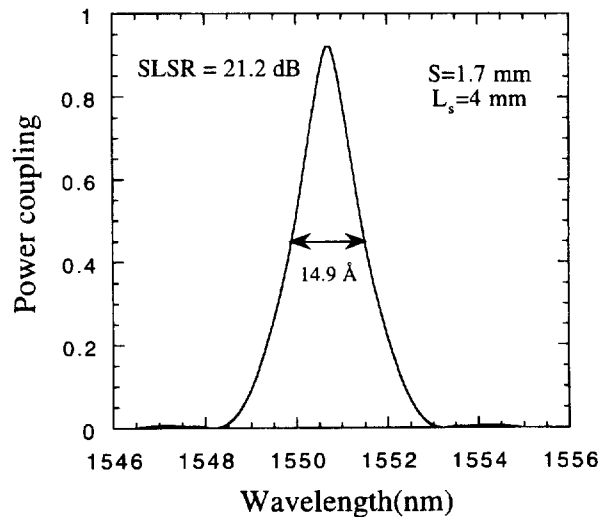


그림 7. S=1.7 μm이고 L_s =4 mm일 경우 파장여과기 응답특성.

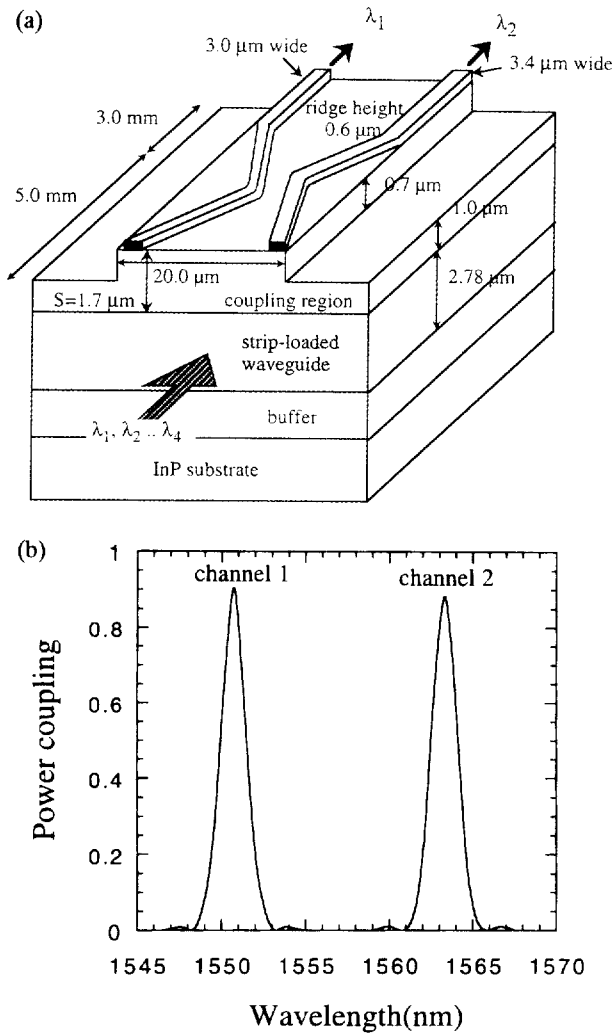


그림 8. 2채널 파장 역다중기의 (a) 구조 및 (b) 파장응답특성. 여기서 ridge 채널1의 너비는 3.0 μm, 채널2의 너비는 3.4 μm이며 각층의 물질구성은 그림1과 동일하다.

위에서 얻어진 개별 파장 여과기를 이용하여 2채널 파장 역다중기를 구성하였다. 두 개의 다른 너비를 갖는 ridge 광도파

로를 같은 strip 위에 놓으므로써(그림 8.(a) 참조), 각각의 채널에서 다른 여과 파장을 얻게 된다. 이 때 각층의 구성은 그림 1과 동일하다. 앞에서 언급한 분포 결합 및 느린결합을 각각의 채널에 적용함으로써 협대역 및 향상된 부엽 억제 특성을 갖게 되었다. $S=1.7 \mu\text{m}$, $L_s=3 \text{ mm}$ 일 경우 각 채널의 여과 중심 파장은 $1.5507 \mu\text{m}(W_1=3.0 \mu\text{m})$ 과 $1.5632 \mu\text{m}(W_2=3.4 \mu\text{m})$ 로서 약 13 nm의 채널 간격을 보였다. 각 채널의 통과 대역폭과 부엽 억제비는 각각 1.70 nm/20 dB, 1.78 nm/19.5 dB로써 비슷한 값을 유지할수 있었다.

IV. 결 론

수직결합기 구조에 분포결합 및 느린 결합을 도입하여 새로운 부엽 억제비가 향상된 협대역 파장여과기 구조를 제안하고 분석하였다. 그리고 이를 응용하여 단일 집적된 두 채널 파장 역다중기를 제안하였다. 1.55 μm의 중심파장에서 3 dB 통과 대역폭은 1.5 nm 이하이고 부엽은 21 dB 이상 억제 되었다. 언급한 파장 여과기 구조는 고밀도 저누화 WDM 시스템에 매우 유용할 것이다.

참고문헌

- [1] R. C. Alfemess, L. L. Buhl, U. Koren, M. G. Young, T. L. Koch, C. A. Burrus, and G. Raybon, *Appl. Phys. Lett.*, **60**, 980 (1992).
- [2] C. Wu, C. Rolland, F. Shepherd, C. Laroque, N. Puets, K. D. Chik, and J. M. Xu, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, **4**, 457 (1993).
- [3] S. K. Han, R. V. Ramaswamy, and R. F. Tavlykaev, *J. Lightwave Technol.*, **14**, 77 (1996).
- [4] 한상국, *한국통신학회논문지*, **22**(1), 81 (1997).
- [5] G. H. Song, *Proc. of IPR r'94*, 238 (1994).
- [6] S. K. Han, *Proc. of OECC'97*, 266 (1997).
- [7] P. C. Kendall, P. W. A. Mcilroy, and M. S. Stern, *Electron. Lett.*, **25**, 107(1989).
- [8] E. Marcatili, *IEEE J. Quantum Electron.*, **22**, 988 (1986).
- [9] S. L. Chuang, *J. Lightwave Technol.*, **5**, 5 (1987).

Coupling variation induced side-lobe suppressed narrowband vertical coupler wavelength filter

Sang-Kook Han

Dept. of Radio Communications Engineering, Yonsei University

(Received : August 8, 1997)

A novel narrowband wavelength bandpass filter with a large side-lobe suppression was proposed in vertical coupler structure using coupling variation in propagation direction. Combination of a half sinusoidal distributed and a slow coupling schmes was used for narrow bandwidth and small side-lobes. Simulation showed 1.5 nm passband at 1.5507 μm and the side-lobes were suppressed more than 20 dB which is two times larger than that of a constant coupling filter. A monolithic two-channel wavelength demultiplexer was proposed and theoretically investigated.