

Integrated Optics의 현황과 전망

최 상 삼

韓國通信技術研究所

1. 序 論

Integrated optics 개발의 커다란 원인은

- 1) 광통신의 넓은 bandwidth와
- 2) 비교적 복잡한 integrated optics 회로를 cm order 이하로 크기와 무게를 줄일수 있고
- 3) 작은 크기와 밀집된 beam(optical device; modulator, deflector 등)으로 인하여 종래의 경우보다 낮은 전력으로 작동할수 있으며 특히 장거리 광섬유 system에서 repeater에서의 중요성을 들수 있으며,
- 4) 끝으로 여러가지 부품이 동일한 substrate 를 사용할 수 있는 이점으로 매우 경제적이고 비교적 온도변화에 영향이 적고 외부 진동에 부품의 위치 변화의 위험이 없다.

Integrated optics란 것을 한마디로 말하자면 유전체의 박막으로 된 소형의 electro-optics devices에 의하여 광파를 인도하고 처리함이다. 대부분의 대형 optical devices를 박막 형식으로 소형화 할 수 있다. 이들은 광원, 변조기, deflector, 프리즘, 렌즈, 반사경, filter, 파장여파기, 검출기등이다. 제작기술은 전자 집적회로에서 개발된 것과 비슷한 것으로 동일한 substrate 위에 각각의 optical device 를 만드는 것이다.

현재까지 연구의 초점은 소형화하고 각각의 부품의 능력을 극대화 하는 것에만 두어왔다. 다만 2~3개의 기능을 가진 간단한 광회로가 집적화되기 시작했다. 비록 여러 복잡한 광학 Device를 한대 묶는것이 integration의 목적이라 할지라도 때로 개개의 소형화된 부분이 대형의 원래 성능보다 band 폭, 출력 소모량이나 가격면에 월등히 앞설수도 있다. 재료의 광학적 특성의 연구와 필요로 하는 특성의 새로운 재료를 탐구하는것이 integrated optics 기술의 가장 중요한 일이라 하겠다. waveguide를 위한 재료의 특성중에 가장 중요한점은 가공과 제조 기술이 동시에 용이한 것이라야 한다.

현재까지의 planar thin film guide에 관계되는 제조기술은 어느 정도 개발이 되었으나 간단한 device로 아직 현실화된것은 몇개 되지 않는다. 가장 중요한 integrated optical devices로서는 2-dimensional beam confinement가 필요하고 개발되어야 할 것이다. 2-dimensional guide는 planar guide 보다 제작하기가 어렵으나 2-dim은 다방면에 사용되고 소형화가 쉽다. 2-dim은 光을 굽혀서 guide 하는때만 이용할뿐 아니라 높은 光出力에서 작용되므로 Laser나 변조기와 같은 active device의 효율도 높일 수 있다.

2-dimensional wave guide는 여러가지 형태로 제작될수 있으며 그중 가장 편리하게 된것은 raised strip(channel) waveguide, rih(ridge)

waveguide, imbedded guide, 그리고 strip loaded guide이다.

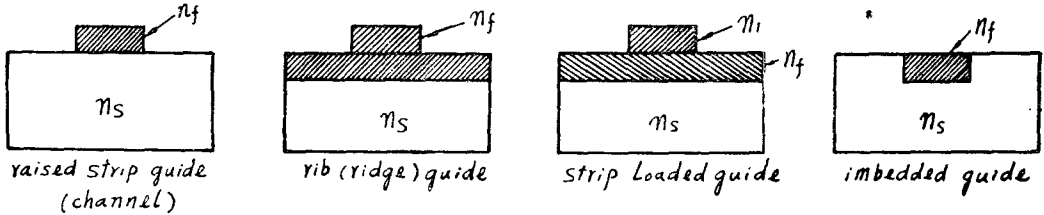


그림 1. 2-dimensional waveguide의 구조

대부분의 제작 공정은 planar thin film guide 부터 시작이 된다. 2-dimensional waveguide 는 ion, electrons, 또는 photon beam으로 초점을 맞추워 직접 이 thin film 위에 그린다.

이 방법으로 guiding channel을 형성 할때는 thin film의 굴절율이 부분적으로 약간 변화를 가져오는 단점도 있다.

불행스럽게도 이 방법은 충분한 경계면 처리를 하기가 힘들고 그리고 높은 난사율과 감소율을 가져오게 된다. 모서리의 불완전성은 (Edge imperfection) 적어도 500\AA 이하로 줄여야 scattering, attenuation과 mode conversion을 피할수 있다. 날카로운 waveguide 경계를 만들기 위해서는 resist material의 mask가 사용되어 waveguide region이 더이상 공정이 되지 않게 분리 시키게 한다. resist exposure는 전체 공정에 있어 가장 정밀성이 필요한 단계인 것은 이 공정이 마지막 모서리 처리 과정이기 때문이다.

Resist exposure의 가장 흥미있는 방법은 $200 \sim 2500\text{\AA}$ 직경으로 초점을 맞추고 $10 \sim 20\text{Kev}$ electron beam을 사용하는 것이다. 전자 beam은 scanning electron microscope으로 사용할수 있고 경계면의 完全度도 충분하다. 복잡한 광회로를 정확하게 모형을 만들수 있고 동일한 제품 生産이 가능하며 computer로 높은 정확도

를 위하여 전자 beam의 강도를 조절하게 된다.

2. 材 料

Integrated optical component의 제작에 적합한 재료를 구하기 위하여 많은 amorphous나 crystalline형의 물질이 연구되어 왔다. 일반적으로 amorphous 재료는 낮은 광손실과 공정이 쉬우나 crystalline 재료는 다른 이점을 가지고 있다. 특히 electro-optical 특성과 non-linear 성질이 switch deflector 그리고 modulators와 같은 active devices을 만들기 적합하다. 현재 까지 유일한 재료로서 광원, 광유도, 변조, 검출에 이용 될수 있는 것은 GaAs와 같은 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ system이다. 單一재료의 integrated 광회로의 후보로서의 GaAs 계통은 잘 인정이 되어 기술도 개발되었고 대부분의 연구도 여기에 집중하고 있다.

광특성은 mole fraction 계수 x 에 강한 함수 관계를 갖고 있으므로 GaAl As system은 그용도가 매우 광범위 하게 된다.

나아가 GaAs crystal은 active device를 위한 우수한 electro-optic, acousto-optic 그리고 nonlinear 계수를 갖고 있고 또 공정과정에서도 ion implantation, epitaxial growth, ion beam machining, preferential etching 등으로 잘 개

발된 기술로서 용이한다.

광섬유의 특성으로 중요한 것은 1.0~1.2 μ 파장 영역에서 아주 낮은 감소와 신호의 확산이 적어야 하므로 이 성질이 재료 선택에 첫째 조건이 되어야 한다. 복합재료 개발에는 Ga, As, Sb, Al, In, P 등으로 3~4개 원료로서 된 복합 재료가 개발되고 있고 전망도 매우 밝다.

3. Coupling

자연스럽게 전파되는 beam을 thin film waveguide로 연결하는 기술은 지난 얼마동안 알려져 왔다. 기본기술은 경계면에 직접조사 하는 것, prism方法, grating方法, 그리고 tapered film이 있으며 이상의 方法들은 모두 single mode의 자유 전파 beam에 이용할수 있다. 높은 coupling efficiency는 좋은 collimation과 정확한 입사각 조절이 필요하다. 효과적인 coupling의 개발은 현재 계속 연구되고 있으며 integrated optical fiber 시스템이 효율적으로 이용되기 전에 해결 되리라고 보고 있다.

4. 半導體 Laser

미래의 광통신 시스템과 integrated optical 회로에서는 반도체 Laser를 광원으로 사용하게 될 것은 틀림없는 사실이다. 개발된것 중 가장 훌륭한 것은 stripe geometry double heterostructure 형태로 Ga_{1-x}Al_xAs의 liquide phase epitaxial growth로서 제작된 것이다. 이것의 Laser파장은 0.79~0.9 μ m이다. 이 Laser의 문제점은 단일 물질 integration에는 제작공정에 적합하지가 않기 때문이다. 그래서 그외의 형태로 개발되고 있는 것은 mesa lasers, taper coupled laser, 그리고 distributed feedback

laser이다.

Distributed feedback laser(DFB)는 광 集積 회로에 매우 유리한 Laser이다. DFB에서는 laser operation에 필요한 feedback이 cleaved end mirror에 의하여 제공되는 것이 아니라, active layer의 periodic corrugation에 의하여 feedback이 이루어 진다. 만일 grating period λ_g 가 $\lambda = m\lambda_g/2$, $m=1, 2, 3, \dots$ 이면 여기서 λ 는 waveguide에서 광 파장이고 m 는 grating order이다. 그러면 grating은 optical wave를 反射하게 된다. Ga_{1-x}Al_xAs로서 만들어진 DFB Laser의 fundamental grating period($m=1$)의 파장은 약 1200 \AA 이다. 이렇게 낮은 period의 grating의 제작은 만들기가 어려우며 현재까지 가장 잘 만들어진 것은 3rd order grating ($m=3$, $\lambda=3600\text{\AA}$)이다.

실온도에서의 계속적인 사용으로서의 GaAs-Ga_{1-x}Al_xAs DFB Laser는 1975년에 와서 완성되었다. 아직까지 대부분 DFB Laser는 실험실 규모이나 곧 integrated optical 회로에 사용될 것이고 2~3년 이내에 상품화 되리라 예측된다.

가장 최근의 형으로서 periodic corrugation을 이용한 것은 distributed bragg reflector (DBR) Laser이다. 이 device는 동작이나 구조에는 DFB Laser와 비슷하나 feedback을 위한 periodic grating은 gain region에서는 제외되고 다만 active region에서 반사체로만 역할을 한다.

DBR Laser는 DFB 보다 장점을 가지고 있으나 아직 잘 개발되어 있지 않고 있다. 실온도에서는 아직 pulse operation에만 성공했고 CW operation에는 아직 성공하지 못하고 있다. 그러나 DBR Laser가 완전히 개발이 완료되었을

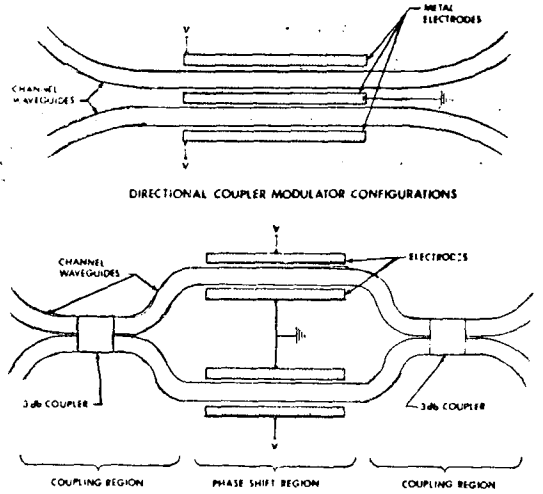
때는 DFB Laser 보다 어느면에서 봐도 월등하게 된다. 낮은 threshold gain과 current density는 장기간의 수명과 안정도를 보장하게 한다

GaAs-GaAl As가 semiconductor injection laser의 재료로서 파장 0.8~0.9 μ m 영역에서 우수하게 고려되고 파장영역 1.0~1.2 μ m에서는 새로운 Laser 재료를 개발하고 있다. 아직 Ga As-GaAlAs 만큼 성공적이지는 않지만 매우 인상적이고 실온도에서 계속적인 작동이 지난 2년간 three double heterostructure stripe 형태의 Laser로서 성공했다. 이들은 GaInAsP/InP, GaAsSb/AlGaAsSb, InGaAs/InGaP이다. Ga-InAsP/InP device는 1500시간 이상 출력의 감소없이 작동되었다.

5. Modulation

Integrated optical devices에서 광출력의 변조 방법으로는 waveguide 재료의 흡수 특성의 변화, mode 변화 또는 mode의 interference등이 있다. 흡수특성에 의한 변조는 waveguide재료에 電場을 작용함으로(Franz-Keldysh effect) 재료의 흡수 band를 변화시킨다. mode conversion과 mode interference효과는 electro-optic, acousto-optic 또는 magneto-optic interaction에 의해서 얻을수 있다. 이것은 진행 mode의 위상이 변조 신호에 의하여 변화하는 현상을 이용한 것이다. 이들 변조방법 중에 특히 electro-optics와 electro-absorptive 방법이 integrated optics 응용에 유리한 것으로 고려되고 있다.

Linear electro-optic 효과를 이용함으로써 electrode와 waveguiding 지역의 구조에 따라 여러가지 결과를 얻을수 있다. 가장 잘 알려진 두가지 구조는 다음의 그림 2와 같으며



2. Balanced bridge modulator configuration

Directional coupler modulator/스위치 13, 14, 15와 balanced bridge 변조기/스위치이다.

Directional coupler 형식에서는 위상변조와 두 guides 사이의 연결이 동일 위치에서 처리되고 balanced bridge 형태에서는 위상변조와 coupling이 다른 위치에서 처리됨으로 각각 효과를 극대화시키기에 편리할 수 있다. balanced bridge 형태는 만들기에 약간 편리하게 되어 있으나 device가 크게되기 때문에 소형이 필요한 경우에는 directional coupler 형식이 좋고 또 필요한 출력도 낮게 할 수 있다.

Franz-Keldysh 효과는 semiconductor에 電場을 작용함으로 흡수 band를 큰 파장으로 이동시키는 것을 말한다. 이 효과는 reverse biased double hetero structure P-N junctions에서 일어나고 band gap의 바로 위의 파장에서 electro-absorption이 있다. 이 효과는 매우 빠르게 일어나므로 bandwidth에서 1Gb/s가 초과하는 변조가 필요할때 Franz-Keldysh 효과를 이용하면 좋다. Dymont 등이 이같은 변조기를 만들었으며 10volt 이내로 작용하여 30dB/이상의 extin-

Integrated Optics의 현황과 전망

ction ratio를 얻었다.

Integrated optics 개발의 지난 수년간 업적은 매우 인상적이며 특히 광집적회로와 devices 개념은 겨우 10년의 역사로서 이루어지고 있다.

대부분의 중요한 부품들은 thin film 형태로 만들어지고 몇몇의 간단한 회로는 이미 제작이 되고있다. 그러나 상품화를 위하여는 지속적인 개발이 요구되어지고 있다.