

광대역 표면탄성파를 이용한 도파로내에서 빛의 방향 및 세기 조절

이영옥*, 이기근*
아주대학교, 전자공학과*

Controlling the direction and intensity of light beam in waveguide by using wide bandwidth surface acoustic wave

Young-Ok Lee*, Keekeun Lee*
Ajou University, Electrical and Computer Engineering Department*

Abstract - 광대역 표면 탄성파(Surface Acoustic Wave)를 이용하여 도파로 층의 빛을 특정 각도로 편향하여 편향 휴대용 홀로그래프 디스플레이를 구현하기 위한 음향 광학(Acoustic-Optic) 장치를 개발했다. 개발된 시스템은 프리즘, 도파로층, 표면탄성파를 일으키는 IDT 및 스크린으로 구성된다. 도파로내에서 전파하는 빛은 표면탄성파에 에너지가 가해지지 않으면 도파로층의 진행중 경로 변화가 발생하지 않지만 표면탄성파에 에너지를 가하면 빛의 편향된다. 큰 편향 각도와 고효율을 위해서 표면탄성파의 파위, 표면탄성파의 중심주파수, IDT aperture length, waveguide thickness 등을 조절하여 빛 편향각도 및 효율변화를 관찰하였다.

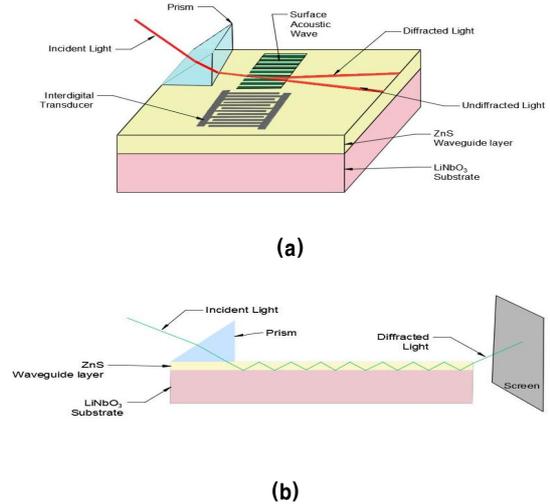
1. 서 론

컴퓨터내에서 만들어진 3D 이미지 혹은 여러대의 CCD 카메라를 통해 얻어진 3차원 이미지를 free space에 띄우기 위해서는 space light modulation(SLM)이 필요하다[1-2]. SLM을 구현하기 위해서는 현재 여러 방법들이 존재한다: optically addressed SLM, acousto-optic(AO) SLM, 그리고 magneto-optic SLM 등이 있다. 이 중에서 AO SLM이 wide bandwidth, 빛 조각의 효율성, 작은 aberrations, 구현의 용이함 등의 장점에 의해 가장 각광을 받고 있는 기술이지만 여전히 많은 기술적 난제 및 이슈가 존재하고 있다. 이에 본 연구는 AO 기술을 이용하여 high diffraction angle을 지닌, 그리고 회절된 빛의 효율이 매우 우수한 AO SLM 개발에 관한 개발이다. 입사된 빛과 표면탄성파의 적절한 메칭이 이루어질때에만 빛의 회절이 발생하는데 입사된 빛의 파장은 이미 결정되어 있으므로 실시간 표면탄성파의 적절한 파장선택의 용이함을 위해 wide bandwidth를 지닌 IDT(slanted, and chirped IDT)를 설계 제작하였다. 도파로 층의 물질선택, 두께, crystalline ZnS film 증착을 통해 빛 손실을 최소화 하면서 large deflection angle, high deflection efficiency를 얻도록 하였다.

2. 본 론

2.1 음향광학(AO) 장치의 동작원리

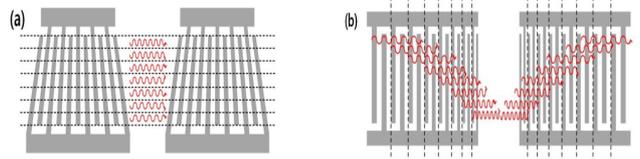
그림 1은 AO SLM의 동작원리를 보이고 있다. 시스템은 128o YX LiNbO₃ 압전기판위에 wide bandwidth IDT가 제작된다. One port IDT 위에 3.3eV의 에너지 갭 및 refractive index가 2.3을 지닌 ZnS 층이 1um 두께로 증착된다. 증착된 ZnS 층 위에는 rutile prisms 이 고정되어 있으며, R, G, B의 파장을 지닌 빛이 프리즘을 통해 waveguide 내로 입사된다. 입사된 빛은 표면탄성파가 없으면 직진하지만 표면탄성파가 인가되어 빛과 간섭이 일어나는 경우 그리고 constructive matching이 발생하는 경우 큰 deflection을 발생시킨다. 표면탄성파를 이용하여 빛의 세기, 회절, 페이즈 등을 조절할 수 있다. 표면탄성파에 의해 회절된 빛은 waveguide 층 밖으로 또 한번 굴절하여 나오게 되면 바로 앞에 위치한 2D screen에 조사하게 된다. 광학시스템의 연결 및 어레이 형태의 AO unit을 통해 스크린상에 3D 홀로그래프 이미지를 구현하게 된다. 큰 회절각도, 그리고 회절된 빛의 세기의 효율을 증대시키기 위해 소자의 여러 파라미터(IDT type, IDT aperture length, IDT center frequency, waveguide thickness, waveguide crystalline quality)를 조절하여 최적의 AO unit를 찾으려 하였다.



〈그림 1〉 음향광학시스템구성도 (a) 상면 (b) 옆면

2.2 광대역 표면탄성파의 구현

COM 모델링을 이용하여 slanted 그리고 chirped IDT를 구현하였다. 구현된 IDT로부터 375MHz~440MHz의 표면탄성파가 발산하도록 설계 하였다. Slanted IDT의 경우 그림 2(a)에서와 같이 맨 위에서 고주파 표면탄성파가 발산하고 있으며 맨 아래 overlap에서 저주파의 표면탄성파가 발산한다. Chirp IDT(그림 2(b))의 경우 IDT의 간격이 harmonic을 이루면서 전체 aperture length로부터 표면탄성파가 발산하도록 설계 하였다. 따라서 chirp IDT의 경우가 빛 회절 효율을 증대시킬수 있는 구조이나 임피던스 메칭이 매우 어렵고 제작과정중 에러에 의해 노이즈 삽입등으로 scattering parameter S21의 측정에서는 Slanted 구조가 더 나은 결과를 보이고 있다. Wide bandwidth를 지닌 IDT 구조이므로 입사되는 빛의 파장에따른 constructive 메칭을 위해 적절한 중심주파수를 지닌 SAW를 방사시켜 deflection efficiency 및 빛의세기, 페이즈를 조절가능해진다.

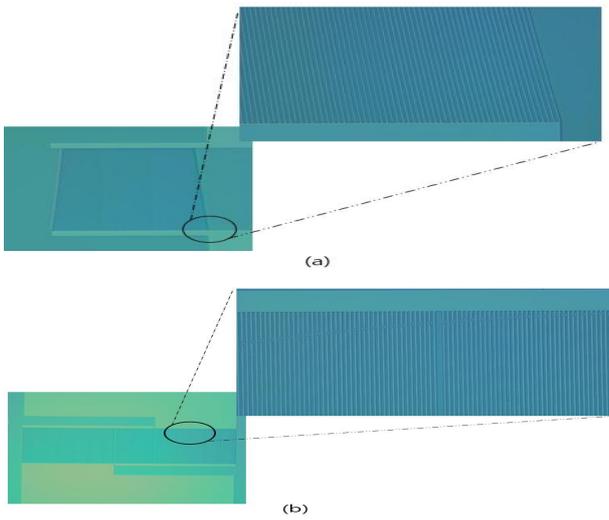


〈그림 2〉 표면탄성파 지연선 구조 (a)Slanted 구조 (b) Chirp 구조

2.3 음향광학(AO) 장치의 제작 및 측정시스템

압전 기판으로 128°YX-LiNbO₃ 웨이퍼에 AZ5214 감광액(PR, Photoresist)을 도포한다. Chrome mask를 이용하여 UV exposure이후 developer에서 패터닝한다. 이후 200nm aluminum을 증착후 lift-off를 이용하여 IDT를 완성하였다. 이 위에 1μm 두께의 ZnS를 전자 빔 증착(E-beam evaporation)을 이용하여 증착시킨다. 그림3는 제작된 소자의 IDT를 보이고 있다. 확대 사진을 통해 광대역 IDT전극이 정상적으로

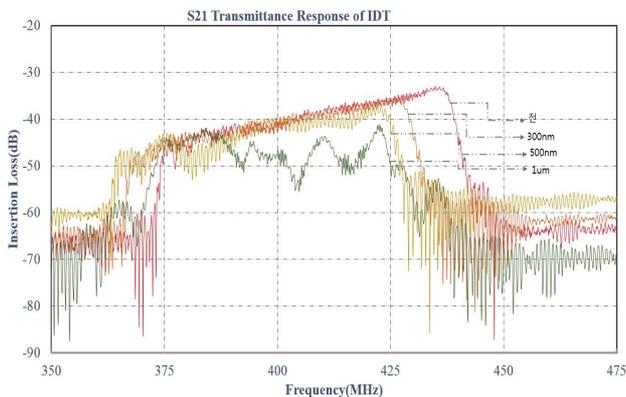
형성되어 있는 것을 확인 할 수 있다. 도파모드를 형성하기 위해 입사빔의 각을 정확하게 맞춰주어야 한다. 레이저 광선 방진기는 수평을 맞추어 고정되어 있어야 하므로 소자를 수직으로 고정시킨 후 회전 스테이지(Rotary stage)를 이용하여 프리즘 입사각을 조절해주어야 한다[3-4]. 이 때 소자는 프리즘을 통해 도파되는 빛이 bragg각을 가질 수 있도록 수직 고정되어야 하며, 미세한 각도 차이로도 결과에 큰 영향을 미치기 때문에 수동보다는 컴퓨터로 조절 가능한 자동회전 스테이지를 사용하는 것이 좋다. 레이저 광선의 도파를 위한 구성이 완성되면 함수 발생기(Function Generator)에 연결하여 RF 신호의 인가를 가능하게 한다. RF 신호의 주파수는 설계한 표면탄성파의 통과대역 범위 내에서 조절할 수 있으며, 진폭은 함수 발생기로 구동 가능한 최대로 설정한다. 모든 실험준비가 완료되면 암실에서 표면탄성파의 가동여부에 따라 스크린에 비치는 광점의 위치를 관찰한다.



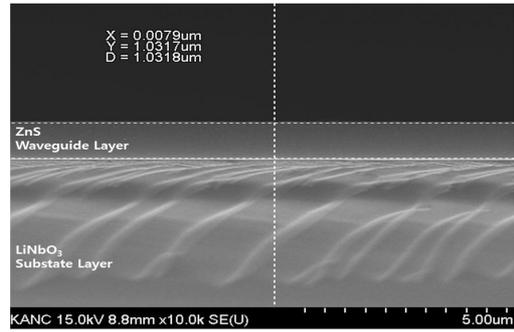
〈그림 3〉 제작된 IDT(Inter Digital Transducer)의 광학사진 (a)Slanted 구조 (b)Chirp 구조

2.4 실험 결과 및 분석

그림 4는 도파로 층으로 사용하는 ZnS를 올리기 전후의 IDT의 S21 측정 결과이다. Bragg 회절이 일어나기 위해서는 충분한 두께의 ZnS가 필요하지만 너무 두꺼운 도파로 층이 형성되면 기관 위의 IDT가 무너질 수 있기 때문에 적당한 두께를 찾는 것이 중요하다. 따라서 300nm, 500nm, 800nm, 1um의 두께를 달리한 도파로 층을 만들었고 그림 4는 ZnS를 올리지 않았을 때, 300nm, 500nm, 1um의 두께를 올렸을 때의 결과이며 ZnS를 많이 올릴수록 왼쪽으로 shift되고 손실이 발생함을 확인할 수 있다. 또한 그림 5는 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, SEM)을 이용하여 단면을 측정한 결과를 보이고 있다. ZnS 두께가 $Y=1.0317\mu\text{m}$ 로서 설계한 것과 비슷한 도파로 층을 확인 가능하다. 이후 레이저(wavelength $\sim 0.55\mu\text{m}$)를 이용하여 빛을 도파로로 전사시킬 때 함수 발생기를 이용하여 표면탄성파를 발생하게 되며 이때 전사된 빛은 표면탄성파와 만나 영향을 받아 회절하게 된다. 하지만 빛은 도파로에서 진행됨에 따라 표면탄성파 감쇠는 줄어들었을 것으로 본다.

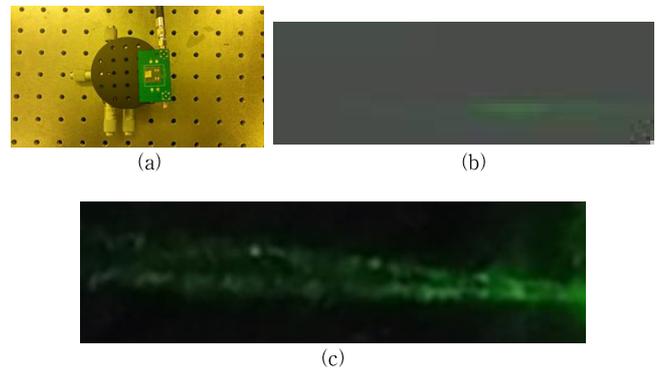


〈그림 4〉 IDT의 S21 Transmittance Response



〈그림 5〉 주사전자현미경(SEM) 측정결과

Laser beam(wavelength $\sim 0.55\mu\text{m}$)이 도파로내에서 SAW와 어느정도의 각도를 가지면서 입사하였다. SAW의 인가가 없을시에는 직진하였으며(그림 6(b)) ZnS와의 빛의 scattering에 의해 intensity의 약간의 감소 및 빛의 spreading이 발견되었다(그림 6(c)). 430MHz의 RF 에너지가 function generator를 이용하여 인가되어 입사된 빛과 간섭이 일어났다. Bragg diffraction에 의한 빛의 회절이 관찰되었다. waveguide내에서 직진하던 laser beam은 SAW 웨이브의 간섭에 의해 밀도의 변화, 속도의 변화, grating의 변화에 의해 빛의 회절이 관찰되었다. 회절각은 SAW IDT의 period, 입사빔의 wavelength, 그리고 입사빔과 SAW의 기울어진 각도에 의해 결정되었으며, deflection efficiency는 IDT aperture length, IDT input power, waveguide thickness에 의해 변화가 관찰되어졌다. 하나의 픽셀의 SLM만이 구현되었으며 추후 어레이 형태에 의한 3D SLM을 목표로 한다.



〈그림 6〉 (a) Rotor위에 올려진 AO unit. (b) SAW 간섭이 없을시 빛은 직진한다. (c) SAW의 인가에 따른 입사된 빛의 회절 한다.

3. 결 론

본 논문에서는 광대역 표면탄성파를 이용한 음향광학(AO)소자를 구현하기 위해 소자 제작에 필요한 파라미터들을 도출하는 여러 이론들을 정리해 설계에 적용하였는데 저효율 압전 특성을 극복하기 위해 Rayleigh파를 구동 할 수 있는 $128^\circ\text{YX-LiNbO}_3$ 를 사용 하였다. 635nm의 빛이 도파층 따라 전사될 때 IDT Slanted 구조와 chirp구조 모두 표면탄성파의 중심은 440MHz이며, 직선의 빛이 Bragg 회절 결과 5° 의 미미한 회절이 발생했다. 하지만 프리즘을 이용하여 커핑한 결과 광선의 손실을 줄일 수 없어 확인이 어려웠지만 예컨대 1GHz 정도로 IDT의 중심주파수를 향상시키면 그 각은 증폭될 것이다. 또한 입력 전력의 간섭을 증가시켜 표면 탄성파의 진폭이 커져 회절효과가 커질 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] C. S. Tsai, "Guided-wave acousto-optics" Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1990
- [2] Colin K. Campbell, "Surface acoustic wave devices for mobile and wireless communication.", Academic press, London, 1998.
- [3] Daniel E. Smalley, "Integrated optics for holographic video.", Diss. Massachusetts Institute of Technology, 2006
- [4] J. P. Sharpe et al. "Fabrication and characterization of optical waveguides and grating couplers." European Journal of Physics 34.5 (2013): 1317.