

Li₂O의 삼출이 없는 LiNbO₃ 광도파로의 제조방법

김상혁 · 김상국 · 조재철 · 최상삼

한국과학기술연구원 응용광학연구소

(1991년 6월 19일 접수)

리튬나이오베이트 결정에 Ti를 열확산시켜 광도파로를 만드는 방법에서 문제가 되는 out-diffusion (삼출) 문제를 해결하는 방안으로 확산과정 이전에 SiO₂ 박막을 시료 위에 입히고 Ti을 열확산시켜 광도파로를 제조하는 방법을 제안하였으며, 기존의 방법에 의해서 만들어진 광도파로와 본 연구의 방법에 의해서 만든 광도파로의 근시야상(near field pattern)을 비교하였다.

I. 서 론

리튬나이오베이트(LiNbO₃) 결정은 광학적 및 전기광학적인 성질에서 좋은 특성을 가지고 있고 또한 이것을 이용한 도파로의 제조과정도 비교적 쉽다는 장점을 가지고 있어서 박막 광도파로를 이용한 장치(device)에 능동소자로 많이 사용되고 있다.

리튬나이오베이트 결정을 사용하여 도파로를 만드는 방법으로는, 확산(diffusion), 이온교환(ion-exchange), 양자교환(proton exchange), 이온주입(ion implantation) 등이 있다. 이와 같은 도파로의 제작시에, 일반적으로 높은 온도(통상적으로 900°C~1150°C)에서 타이타늄(Ti)을 확산시키는 방법을 사용하는데, 이 방법에는 한가지 문제점이 있다. 그것은 전기광학효과를 크게 하기 위해서 입사시키는 광으로 이상광선(extraordinary wave)을 주로 사용하는데, 이때 제작된 도파로 이외의 표면에서 기대하지 않는 도파가 일어나는 것으로서, 이 표면도파는 리튬나이오베이트 결정에 타이타늄(Ti) 등의 다른 금속을 열확산시켜 도파로를 형성하는 과정에서 결정으로부터 리 옥사이드가 빠져 나오는 삼출현상(out-diffusion)에 기인한다. 이때 표면 근처의 굴절률이 결정 내부의 굴절률보다 상대적으로 높아져 일종의 도파로 구실을 하기 때문에,^[1,2] 이 삼출층(out-diffusion layer)의 깊이가 의도하는 도파로의 깊이와 유사한 경우, 이 표면도파층과 의도한 도파로 사이에 모드결합(mode coupling)을 일으켜 도파손실을 유도하므로 도파로의 도파성능을 감쇄시키게 된다.^[3,4]


따라서, 이러한 문제를 해결하여야 할 필요가 있다.

현재까지, 이 문제를 극복하기 위한, 즉 표면도파를 방지하거나 감쇄시키려는 여러가지 방법들이 제안되었는데 이들을 다음의 몇가지로 분류할 수 있다. 첫째로 금속(예를 들어 Ti)의 확산시 시료에 대한 리튬옥사이드의 분압(partial pressure)을 조절하여 리튬의 삼출(out-diffusion)을 막거나 리튬(lithium)의 양이 더 많게 하는 분위기를 갖는 도가니의 제조방법^[5]이 있고, 둘째로는 리튬나이오베이트 결정보다 굴절률이 낮은 물질을 동시에 확산시켜 리튬의 손실에 의한 굴절률의 증가를 보상하는 방법^[6]이 있으며, 셋째로 확산(diffusion)시의 분위기 가스 또는 온도의 적당한 선택을 하는 방법,^[3,4] 네째로는 리튬나이오베이트 결정의 성분비가 화학양론적(stoichiometric)으로 안정한 조성에 가까운 시료를 택하여 도파로를 만드는 방법^[8] 등으로 나눌 수 있다. 그런데 이 방법들 중에서 첫째 방법이 리튬의 삼출을 막는 방법으로 가장 좋은 특성을 가지고 있으나, 이 방법은 도가니를 특별히 제조하는 등의 번거로운 작업을 필요로 하는 단점이 있다.^[8] 두번째 방법은 마그네슘옥사이드(MgO)를 동시에 확산시키는 방법으로 마그네슘옥사이드가 리튬나이오베이트 결정에 확산되어 들어가면 굴절률을 낮추어 주지만, 전기절연율을 떨어뜨리는 단점이 있다. 셋째 방법과 네번째 방법은 삼출을 막아주는 효과가 분명하지 못하다.

본 연구에서는 이제까지 제안된 방법이 아닌 새로운 방법으로서 리튬나이오베이트 결정에 타이타늄을 포토리소그래피(photolithography)에 의하여 증착시키고 그 위에 다시 SiO₂를 리튬나이오베이트 결정표면 전면 증착한 후에 Ti을 확산시키는 방법을 제안하였다.

II. 실험

이 방법의 공정도는 아래 그림 1과 같다. 이 방법에서 특기할 사항은 리프트오프에 의해 타이테니움이 남아있는 리튬나이오베이트 기판 위에 SiO₂를 입혀서 확산시키는 것이며, 이 방법에 의해 제작되는 경우 리튬옥사이드가 삼출(out-diffusion)이 되더라도 리튬옥사이드의 삼출속도를 많이 늦출 수 있거나 삼출이 일어나지 않을 것으로 예상된다.

이것을 확인하기 위해 아래와 같이 실험을 하였다. 결정면이 x축에 평행하게 잘린(X-cut) 리튬나이오베이트 결정 위에 포토레지스트를 입히고, 자외선(365~436Å)을 포토레지스트에 조사시켜 감광을 시킨 후에 이것을 현상하는 포토리소그래피 방법에 의하여 폭이 5 μm의 도파로 형태가 되도록 한 후, 진공증착기(전자총 방식)를 사용하여 그 위에 타이테니움을 300Å 두께로 입히고, 아세톤에 담가 포토레지스트를 녹여내는 리프트오프(lift-off) 방식으로 도파로 형태를 만들고, 그 위에 SiO₂를 250Å의 두께로 입힌 후에 1000°C에서 5시간 동안 확산시켰다. 이 방법에 의해 제작된 도파로의 도파모드의 near field pattern이 그림 2(c)와 (d)에 나타나 있다. 트랜스버스 마그네틱(TM) 모드의 경우에 도파가 잘 되고 있는 것을 볼 수 있으며 트랜스버스 일렉트릭(TE) 모드의 경우에는 도파모드가 상당히 큰 것처럼 보이고 있으나 그림에서 D로 표현한 부분은 도파로의 도파모드가 아니고 삼출(out-diffusion)에 의한 표면도파가 보이고 있는 것으로 그 모양은 사진에서는 알아보기가 쉽지 않으나 와 같으며, 실제 도파모드는 매우 작아 잘 보이지 않으나 사진에서 C로 표현된 부분으로 그 모양은

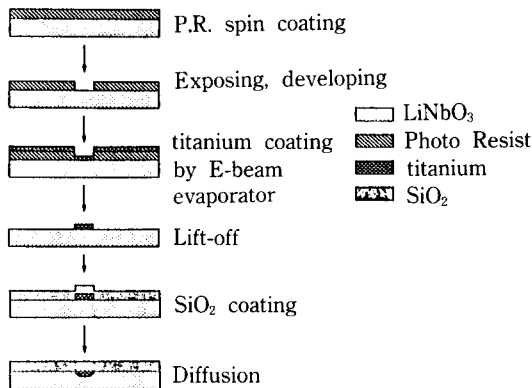


그림 1. 개선된 도파로 제작 공정의 개략도.

와 같다. 이것이 보이는 이유는 타이테니움(Ti) 위에 덮은 SiO₂의 두께가 얇아서 삼출(out-diffusion)이 타이테니움 바로 옆에서 중점적으로 일어나 도파로의 도파손실을 매우 크게 일으켜 도파모드를 알아 볼 수 없게 만든 것으로 추정된다. 그러나 도파로 근처를 제외한 표면에서의 out-diffusion을 제거한 것은 그림 2(b)의 기존방법에 의해 제작된 도파로의 도파모드의 near field pattern과 비교함으로써 확인할 수 있다.

따라서 이번에는 SiO₂를 1100Å의 두께로 타이테니움 위에 입혀 확산시켰다. 이 경우 트랜스버스 일렉트릭 모드와 트랜스버스 마그네틱 모드의 도파특성은 아래 그림 2(e), (f)와 같이 나타났다. 이 그림에서 out-diffusion에 의한 도파모드는 전혀 보이지 않고 있으며 모드의 형태는 원형에 가깝다. 따라서 도파특성이 향상된다는 것을 알 수 있다.

III. 결론

확산방법에 의한 타이테니움 리튬나이오베이트(Ti : LiNbO₃) 도파로 제조시 실리콘다이옥사이드(SiO₂)를 타이테니움 위에 덮어 확산시 발생하는 리튬옥사이드의 삼출을 막는 방법을 제안하였으며 이 방법에 의해 도파로를 제작하는 경우 out-diffusion에 의한 영향을 최소로 줄일 수 있다.

참고 문헌

- [1] I. P. Kaminow, J. R. Carruthers, Appl. Phys. Lett. **22**, 326 (1973).
- [2] J. R. Carruthers, I. P. Kaminow and L. W. Stulz, Appl. Opt. **13**(10), 2333 (1974).
- [3] J. Noda, M. Fukuma and Y. Ito, J. Appl. Phys. **51**, 1379 (1980).
- [4] V. E. Wood, N. F. Hartman, A. E. Austin and C. M. Verber, J. Appl. Phys. **52**, 1118 (1981).
- [5] R. L. Holman, P. J. Cressman and J. F. Revelli, Appl. Phys. Lett. **49**, 3150 (1978).
- [6] J. Noda, M. Fukuma and Shoichi Saito, J. Appl. Phys. **49**, 3150 (1978).
- [7] J. L. Jackel, C. E. Rice, Technical Digest of the Topical Meeting no Integrated and Guided Wave Optics, California, (Jan. 6-8, 1982) paper PDP-1.
- [8] M. N. Armenise, IEE Proceedings, Vol. **135**, No. 2 (1988)

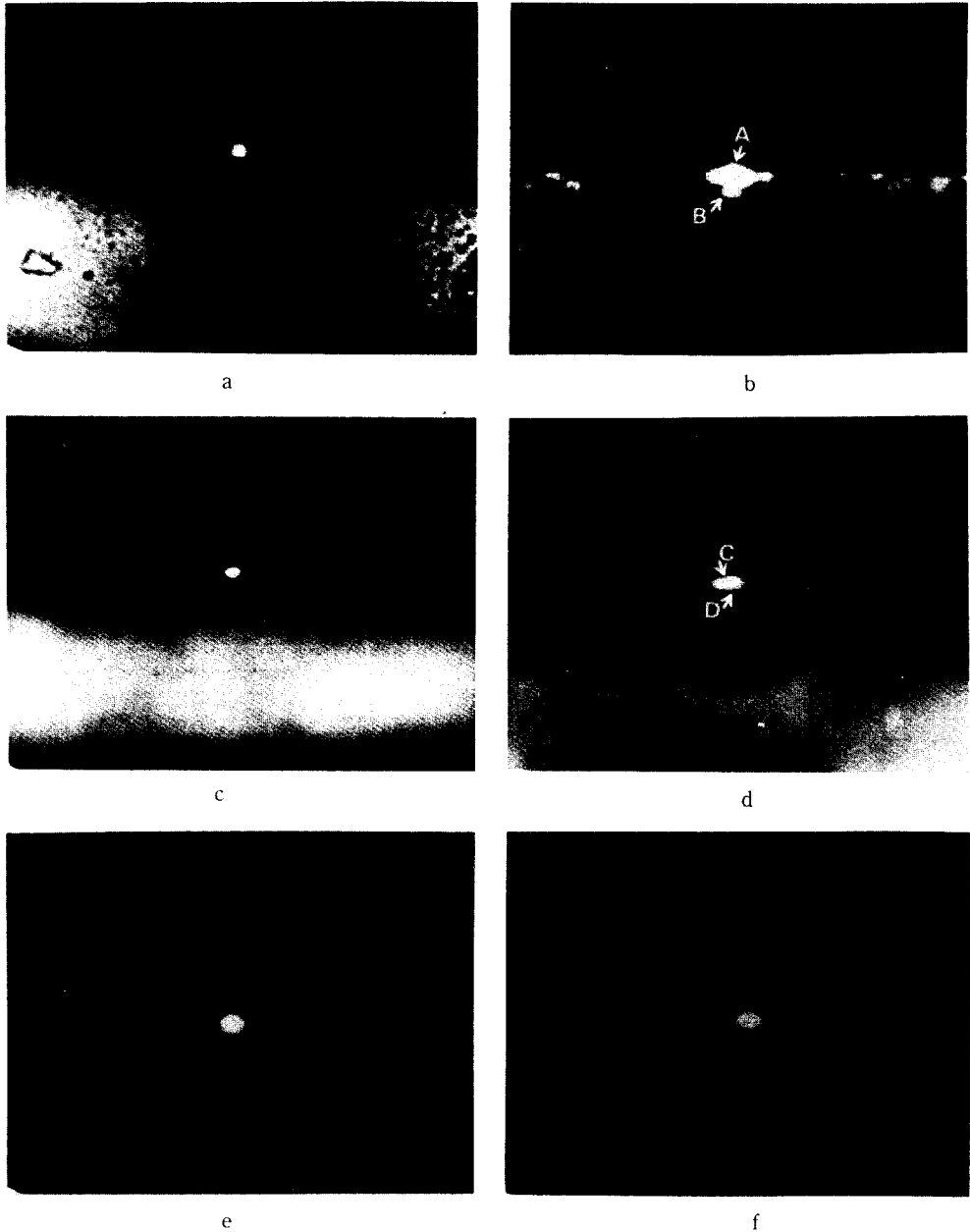


그림 2. 기존 방법에 의해 제작된 도파로와 SiO_2 박막을 입혀 제작한 도파로의 도파모드 근사야상. Ti thickness 300\AA , diffusion time (5 hr at 1050°C) no SiO_2 coating; a) Ordinary wave의 경우, b) Extraordinary wave의 경우 SiO_2 thickness 1100\AA ; c) Ordinary wave의 경우, d) Extraordinary wave의 경우 SiO_2 thickness 1100\AA ; e) Ordinary wave의 경우, f) Extraordinary wave의 경우

- A점 : guided mode pattern
- B점 : surface guided light by out-diffusion layer
- C점 : guided mode pattern
- D점 : surface guided light by out-diffusion layer

New Fabrication Method of Ti:LiNbO₃ Waveguide with Suppressed Out-Diffusion

Kim Sang Hyuck, Kim Sang Kuk, Jo Jae Cheol and Choi Sang Sam
Korea Institute of Science and Technology, Applied Optics Laboratory

(Received: June 19, 1991)

We report a new method of fabricating a Ti:LiNbO₃ waveguide with no out-diffusion by coating the waveguide with SiO₂ thin film. It was coated before diffusion process, and the Li₂O out-diffusion was prevented in the diffusion process. We compare the near field patterns of the guided modes between the typical waveguide and the waveguide fabricated by new method proposed here.