

Fe:LiNbO₃ 도파로의 제작 및 광굴절 특성

강기형 · 정태혁 · 정석문 · 윤태훈 · 김재창

부산대학교 전자공학과

(1992년 12월 9일 받음)

본 논문에서는 Fe를 내부확산하여 도우핑한 Fe:LiNbO₃ 광도파로의 광굴절 특성을 연구하였다. 먼저 Fe:LiNbO₃의 광굴절 특성을 Fe를 도우핑하지 않은 LiNbO₃와 비교하여 Fe를 도우핑하였을 때 회절효율과 감도가 향상되는 것을 확인하였다. 또한 분위기 가스를 달리하여 내부확산한 시료의 경우, 순수 아르곤 가스에서 내부확산한 Fe:LiNbO₃ 광도파로의 회절효율 및 감도가 가장 크며, 감쇠시간은 가장 짧은 결과를 얻었다. 따라서 Fe 내부확산시 아르곤 가스를 분위기 가스로 사용하는 것이 광굴절 효과를 이용한 광스위치의 좋은 특성을 얻을 수 있다.

I. 서 론

반도체 레이저와 광섬유 기술이 발달함에 따라 광통신의 실용화가 이루어졌다.^[1] 또한 이 과정에서 광증폭기, 광스위치, 광변조기, 광검출기 등 다양한 광소자의 개발이 이루어졌으며,^[2,3] 광신호처리에 대한 기술도 축적되었다.^[4,5]

한편 사회가 고도정보화함에 따라 처리해야 할 정보가 방대해져, 기존의 디지털 컴퓨터로는 한계를 느끼게 되고, 그 결과 정보를 병렬, 실시간으로 처리할 수 있는 특성을 지닌 광컴퓨터에 대한 연구가 광통신의 실용화 과정에서 얻어진 기술을 기초로하여, 최근 활발히 진행되고 있다.

광통신이나 광컴퓨터에서는 다량의 광신호를 처리해야 하며, 이를 위한 필수적인 기본 광소자로서 고밀도 광스위치 어레이를 들 수 있으며, 이에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다.^[6,7] 광스위치는 전기광학 효과, 자기광학 효과, 음향광학 효과 및 광 쌍안정특성 등을 이용하여 제작될 수 있으며, 재료는 LiNbO₃, LiTaO₃ 등의 강유전체 및 GaAs 등의 각종 반도체가 사용되고 있다. 이 중에서 LiNbO₃는 삽입손실과 속도의 면에서 만족스럽지 못하지만 전기광학 효과, 음향광학 효과 및 비선형 광학계수가 크기 때문에 널리 사용되고 있다. 또한 Fe를 도우핑한 LiNbO₃는 광굴절 특성을 갖고있어 홀로그래름

이용한 기억소자로서도 응용될 수 있다. 이러한 광굴절 특성을 이용한 광스위치의 제작은 LiNbO₃ 상에 서로 교차하는 스트립 광도파로를 만들고, 도파로가 교차하는 지점에 Fe를 도우핑하여 광굴절 특성을 갖게한다. 이 때 두 광도파로에 빔을 입사시키면 교차지점에서 광굴절 격자를 형성하여 광굴절 특성을 나타낸다. 외부의 두 빔으로 도파로의 교차지점에 광굴절 격자를 형성시키면 도파하는 빔은 격자에 의해 회절되어 광스위치의 역할을 한다.^[8]

본 논문에서는 광굴절 특성을 이용한 광스위치 제작의 기초로 LiNbO₃상에 Fe를 증착한 후 내부확산시켜 도우핑하고, 이의 광굴절 특성을 조사하였다. 먼저 광굴절 현상에 대해 알아보고, Fe를 도우핑하였을 때와 도우핑하지 않았을 때의 광굴절 특성을 측정 비교하고, Fe를 내부확산시켜 도우핑할 때의 분위기 가스로 사용한 아르곤과 산소 가스의 혼합비에 따른 광굴절 특성을 조사한다.

II. 광굴절 현상

파장이 같은 두 빔을 교차시키면 빛의 간섭현상에 의해 밝고 어두운 줄 무늬 모양의 격자가 형성되는데, 이 때 빛의 세기 I 는

$$I(x) = I_0 [1 + m \cos(Kx)]$$

본 연구는 한국과학재단의 90년도 목적기초연구 지원금으로 수행되었습니다.

이며, 여기서 m ; 변조율, K ; 격자벡터이다. 격자의 간격 L 은

$$L = \frac{\lambda}{2\pi \sin\theta}$$

이며, 입사하는 빛의 파장 λ 와 결합하는 빔의 사이각 2θ 와 관계한다.

이러한 빛의 새기분포 $I(x)$ 에 비례하여 전자가 여기된다. 여기된 전자들은 diffusion,^[9] drift,^[10] 또는 photovoltaic 효과^[11]에 의해 이동하여 재 분배한다. 외부에서 전장을 가하지 않을 때, 이 세 가지 요인 중에서 drift의 영향은 무시되고 diffusion과 photovoltaic 효과가 전자 이동의 요인이다. θ 가 크거나 λ 가 작으면 격자의 간격 L 이 작아지고 diffusion의 영향은 커진다. λ 가 정해질 때 diffusion의 영향은 θ 가 클수록 커진다. Photovoltaic 효과는 결정의 특성에 따라 달리 주어지고 photovoltaic 효과에 의한 전장이 diffusion에 의한 전장보다 충분히 크면 photovoltaic 효과는 우세하게 된다. 즉 결정의 특성에 따라 photovoltaic 효과에 의한 전장은 결정되고, 결합각에 따라 diffusion에 의한 전장은 결정된다. Photovoltaic 효과와 diffusion 두 요인이 함께 전자이동에 영향을 미치지 않 결정과 결합각에 따라 전자이동의 주요인은 달라진다. 전자의 이동으로 내부에 전장이 발생하며, 전기광학 효과를 갖는 물질내에 분포하는 전장은 굴절율을 변화시킨다. 즉 두 빔의 결합에 의해 굴절율 변화가 발생한다. 이 때 한쪽 빔을 차단하면 굴절율의 변화로 기록된 격자에 의해 투과하는 빔과 회절된 빔이 나타나는데 이러한 현상을 광굴절 현상이라 한다.^[12,13]

LiNbO₃에서의 광굴절 현상은 LiNbO₃내에 존재하여 전자 여기의 주 요인이 되는 Fe 이온들에 의해 나타난다. 광굴절 현상을 응용하려면 LiNbO₃ 결정 성장시 Fe를 도우핑하여 감도를 높인다. LiNbO₃내의 Fe는 Fe²⁺ 또는 Fe³⁺로 존재하며 Fe²⁺는 도우너(donor)의 역할을, Fe³⁺는 억셉터(acceptor)의 역할을 한다. Fe²⁺와 Fe³⁺의 농도비에 따라 광굴절 특성은 달라지며 목적에 따라 적절히 조절할 필요가 있다. Fe²⁺와 Fe³⁺의 농도비의 조절은 Fe:LiNbO₃ 결정을 Li₂CO₃ 분말속에서 450~600°C에서 어닐링하는 것과 고온에서 열처리하는 두 가지의 방법이 있다.^[12-14] 고온에서 열처리하는 경우 900~1000°C의 고온에서 산소 가스를 흘려주어 산화시켜 Fe³⁺의 농도가 큰 상태로 만들거나 아르곤 가스를 흘려주어 환원시켜 Fe²⁺의 농도가 큰 상태가 되도록 한다. 또한 아르곤 가스에 적은 량의 산소를 함께 흘려주어 Fe²⁺와 Fe³⁺의 농도비를 적절히 조절할 수 있다.^[11]

광굴절 현상을 특징짓는 요인은 회절효율, 감도와 감쇠시간이다. 두 개의 빔 I_s 와 I_r 을 서로 교차시키면 빛의 세기 분포에 따라 여기된 전자가 이동하여 격자를 형성한다. 이 때 I_s 를 차단하면, I_r 에 의해 투과한 빔 I_o 와 회절된 빔 I_w 가 발생한다. 회절효율 η 는 입사하는 빔에 대한 회절되는 빔세기의 비인

$$\eta = \frac{I_w}{I_r}$$

로 정의된다.

여기서 회절효율은 흡수계수 α 가 포함된 식으로 유도된다. 본 실험에서는 시료 표면에 Fe가 도우핑되어 있고 cylindrical 렌즈로 직접 결합하므로 흡수계수 α 의 값을 모르고 같은 입사빔에 대해 입사면의 결합효율에 따라 출사하는 빔의 power가 달라진다. 출사하는 빔의 상대적 power의 비는 LiNbO₃ 내부에서의 비와 같으므로 출사하는 빔의 power를 측정하여 두 빔의 power의 비를 결정하고 회절효율 역시 출사하는 빔의 비인 상대적 회절효율

$$\eta_{rel} = \frac{I_w}{I_o + I_w}$$

를 측정하였다. 회절효율이 클 수록 기준빔 I_r 에 대해 회절되는 신호빔 I_w 가 센 것이므로 I_r 빔으로 I_s 빔을 on/off하는 광스위치 동작에서는 큰 회절효율이 요구된다. 빔의 power를 크게 하면 회절효율곡선의 모양이 조금 변화하고, 같은 시간에 큰 에너지로 격자가 기록되므로 power에 비례하여 기록되는 시간이 짧아진다. 본 실험에서는 회절효율을 수초 단위에서 측정할 수 있도록 2~4 mW의 비교적 적은 power의 범위에서 실험하였다.

감도는 입사한 에너지에 대한 회절효율의 크기를 나타낸다. 감도가 크다는 것은 짧은 시간에 회절효율이 커진다는 것이다. 본 실험에서는 최대 회절효율의 90%에 이르렀을 때의 회절효율에 대한 시간의 비를 감도로 정의한다. 감도가 크면 기록하는 시간이 짧으므로 광스위치의 동작시간을 줄이기 위해서는 감도가 큰 특성이 필요하다.

홀로그래프의 기록후 재생시에 회절되는 빔은 시간에 따라 지수함수적으로 감쇠한다. 감쇠시간은 이 때의 회절되는 빔의 감쇠하는 정도를 나타낸다. 감쇠시간은 한쪽 빔을 차단했을 때의 회절효율이 e⁻¹배만큼 감쇠되는 시간으로 정의한다. 광굴절 효과를 이용한 광스위치의 동작에서는 회절효율이 크며, 짧은 시간에 동작하기 위하여 감도가 크고 감쇠시간이 짧은 특성이 요구된다.

III. 제작 및 특성 측정

광굴절 특성을 측정하기 위한 시스템 정열을 그림 1에 나타내었다. 1 mm 두께의 y-cut LiNbO₃ 웨이퍼를 10×20 mm 정도의 크기로 절단한 다음, 진공증착기를 이용하여 Fe를 증착하여 확산로에서 1000°C 상태로 수시간 동안 확산시킨다. 확산시 LiNbO₃의 Li의 외부확산을 막기 위해 수증기를 함유한 아르곤 가스와 산소 가스를 흘려준다. Fe도 Ti와 같이 굴절율의 변화를 일으키며 도파로의 역할을 한다. 증착된 Fe의 두께와 확산시간에 따라 도파로의 굴절을 변화와 폭은 다르다. 제작된 시료를 프리즘 결합법에 의하여 광도파 실험을 한 결과 단일 모드선이 관측되었다. 제작한 광도파로의 두께와 굴절율을 정확히 알 수는 없었으나 비슷한 조건의 Ti 평판 도파로에서 두세개의 모드선이 관측된 것에 비하면 Ti 내부확산 도파로보다 굴절을 변화는 작으며 두께는 3, 4 μm될 것으로 생각한다. 제작된 소자를 직접 결합하기 위하여 입출력 단면을 연마한 후, 그림에서와 같이 두 빔을 렌즈로 직접 결합하여 입사시키며, 입사된 빔은 기관의 내부에서 교차되어 격자를 형성하고 기관의 끝면을 통해 투과되어 나오도록 정렬한다. 사용한 레이저의 파장은 488 nm이고 두 빔의 입사각 θ는 10° 정도의 작은 각이다. 두 빔을 두 개의 렌즈를 사용하여 결합할 수 있으나, 각 렌즈 지지대의 크기 때문에 작은 각으로 입사시킬 수 없고 초점거리가 긴 렌즈가 필요하다. 따라서 본 실험에서는 cylindrical 렌즈를 사용하여 직접 결합하였다. 출사하는 빔은 렌즈로 집속시켜 광검출기로 측정하고, 광검출기를 통해 전압으로 바뀐 빔의 세기를 기록계로 시간에 따라 기록하였다. 또한 Z-stage를 이용하여 Fe가 도우핑된 Fe:LiNbO₃의 영역과 순수한 LiNbO₃ 영역에 결합하여 광굴절 특성을 비교하였다. 회절효율, 감도와 감쇠시간을 비교하는 실험에서 출사하는 빔의 power를 같게하여 실험하였으나 Fe가 도우핑되지 않은

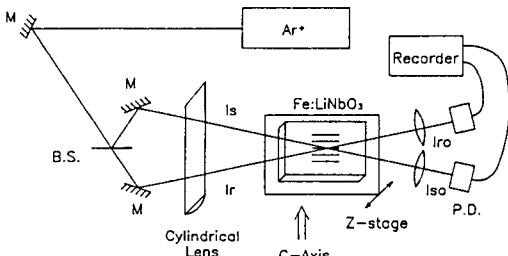


그림 1. 시스템 정열

영역과의 비교실험에서는 Fe:LiNbO₃의 광굴절 실험에서와는 달리 빛이 평판 도파로를 따라 도파하지 않으므로 빛의 세기 분포가 다르게 되는 차이점을 갖는다.

1. Fe 도우핑 영향과 축 방향 특성

Ti 내부확산 광도파로 제작에서와 같이 아르곤 가스를 5시간, 산소 가스를 1시간 동안 흘려주어 6시간 동안 확산한 Fe:LiNbO₃의 광굴절 실험에서 Fe를 도우핑한 영역과 Fe를 도우핑하지 않은 영역의 회절효율을 비교하여 Fe를 도우핑한 영향을 살펴보고, c축 방향에 따른 회절효율의 감쇠시간을 비교하여 축방향에 따른 특성을 알아보았다.

Fe를 도우핑하지 않은 LiNbO₃에서도 Fe가 적은 농도로 존재하며 광굴절 현상에서 전자를 여기하는 주 역할을 한다. LiNbO₃ 성장과정에서 Fe를 도우핑하면 광굴절 현상에서 회절효율과 감도가 크게 향상된다. 그림 2는 Fe를 도우핑한 영역과 도우핑하지 않은 영역의 회절효율이다. 앞서 이야기한 것 같이 시료 내부에서 빛의 세기분포가 서로 다르므로 출력측 power를 같게 두어도 정확한 비교는 되지 않으나, 빛의 세기분포 차에 의한 영향이 작은 것으로 가정하여 두 결과를 비교하였다. Fe를 도우핑하지 않은 영역에서의 광굴절 현상은 미세하게 나타나, 회절효율이 5%에 미치지 못하는 작은 값을

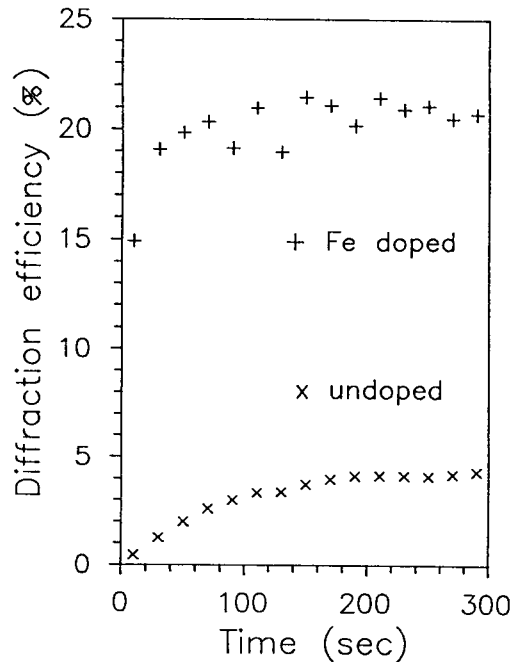


그림 2. 순수한 LiNbO₃와 Fe:LiNbO₃의 회절효율

가진다. 그러나 Fe를 도우핑하였을 때에는 20%이상의 회절효율을 얻을 수 있었으며, Fe를 도우핑하지 않은 영역에 비해 50초 이내의 상대적으로 짧은 시간에 회절효율이 포화된다. 감도를 비교하면 0.02413/sec에서 Fe를 도우핑하였을 때 0.2267/sec로 9배 이상의 향상된 값을 보인다. 광굴절 현상을 이용한 광스위치에서는 소자의 빠른 동작이 중요하므로, Fe를 도우핑하면 큰 회절효율을 얻을 수 있을 뿐 아니라 소자의 동작시간도 줄이게 된다. Fe 도우핑 농도를 달리한 광굴절 실험에서는 50% 이상의 큰 회절효율이 나타났다. Fe의 도우핑 농도를 크게하면 상대적으로 더욱 큰 광굴절 효과를 얻을 수 있을 것이다. 그러나 Fe는 광손상을 일으켜 광도파로상에서는 좋지 않은 영향을 일으키며, Fe의 농도가 너무 크게되면 흡수계수가 커져 실제 회절효율은 나빠진다.

기록후 회절되는 빔의 감쇠시간은 축방향에 따라 다른 특성을 보인다. 이는 재생할 때의 투과하는 빔과 회절되는 빔이 결합하여 격자내에서 새로운 패턴을 만들어 새로운 격자를 형성하기 때문이다. 이 새로운 격자가 이전의 격자와 정합될 때는 재생하면서 격자가 강화되어 회절되는 빔이 점점 세어지는 자기강화(self-enhancement) 현상이 나타난다.^[15] Amodei그룹은 여기된 전자의 이동이 확산에 의한 것으로 가정하였을 때 +c 축 방향으로 진행하는 빔으로 재생했을 때는 새로운 격자가 정합되지만 -c 축 방향으로 진행하는 빔으로 재생했을 때는 정합되지 않아 재생시 축 방향에 따라 다른 특성이 나타남을 보였다.^[15] 실제로는 재생시 이전의 격자가 지워지는 효과와 자기강화 현상이 같이 발생하여, +c 축 방향으로 진행하는 빔으로 재생할 때가 -c 축 방향으로 진행하는 빔으로 재생할 때보다 회절된 빔이 천천히 감쇠하는 현상으로 나타난다.

LiNbO₃의 Fe를 도우핑한 영역의 c 축 방향에 따른 감쇠시간을 비교하였다. 두 빔을 같은 세기로 결합시켜 5분간 기록한 후 한쪽 빔을 차단하여 회절된 빔의 감쇠시간을 조사하여 그림 3에 나타내었다. +c 축 방향으로 진행하는 빔으로 재생할 경우 감쇠시간이 92초로 -c 축 방향의 28초에 비해 길게 나타났다. Amodei의 실험과 비교할 때 같은 결과를 보이므로 본 실험에 사용한 Fe:LiNbO₃는 diffusion의 효과가 우수하며 photovoltaic 효과에 의한 전장은 상대적으로 작은 것으로 생각된다.

2. 분위기 가스에 따른 특성

Fe²⁺와 Fe³⁺의 농도를 조절하기 위해 산소와 아르곤 가스 상태에서 고온 열처리하는 방법은 내부확산과정과

같으므로 Fe 증착후 내부확산시 흘러주는 산소와 아르곤 가스의 혼합비를 달리하면 Fe는 각기 다른 상태로 존재하며 그 광굴절 특성 또한 다를 것이다.

4개의 기관에 Fe를 같은 두께로 증착한 후, 확산시 흘러주는 분위기 가스의 전체량을 250 ml/min로 일정하게 하고 아르곤 가스와 산소 가스의 혼합비를 각각 다르게 하여 1000°C에서 7시간 40분 동안 내부확산하여 도우핑하였다. 확산후 산소 가스에서 확산한 시료는 서서히 냉각하고 다량의 아르곤 가스에서 내부확산한 시료들은 냉각시 Fe가 Fe²⁺ 상태에서 Fe³⁺ 상태로 전환되는 것을 막기 위해 15분내에 확산로에서 꺼내어 빨리 냉각하였다. 아르곤 가스에서 내부확산한 시료는 반투명하고 산소 가스가 함유될수록 시료 표면은 맑은 황색을 띄게 된다. 표 1에서 4개의 시료에 대한 조건을 나타내었다.

LiNbO₃내에서 Fe는 Fe²⁺와 Fe³⁺로 존재한다. Fe²⁺는 전자를 제공하는 도우너로서의 역할을 하고, Fe³⁺는 역셉터로서의 역할을 한다. Fe²⁺의 농도가 클 경우 전자가 여기될 확률이 높으므로 회절효율이 빠른 시간에 커져 입사한 에너지에 대한 회절효율의 비인 감도가 높다. Fe³⁺의 농도가 클 경우 도우너의 수가 작으므로 전자가 여기될 확률이 낮아 회절효율이 천천히 증가해 감도는 낮아진다. 재생시에는 Fe³⁺가 많으면 역셉터가 많으므로 트랩된 전자들이 다시 여기될 확률이 낮아져서, 기록된 격자가 천천히 지워지므로 회절되는 빔이 서서히 감쇠

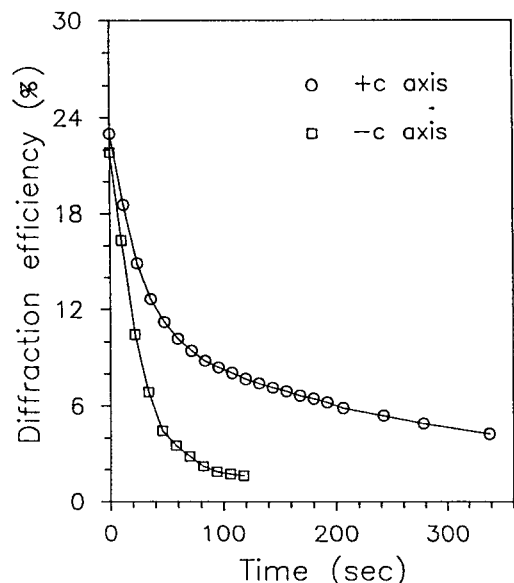


그림 3. Fe:LiNbO₃의 c-축 방향에 따른 감쇠곡선

표 1. 시료의 제작 조건 및 광굴절 특성

| | 분위기 가스 (아르곤:산소) | 최대효율 (%) | 감도 (/sec) | 상대적 감도 (/sec) | 감쇠시간 (sec) |
|------|--------------------|-------------|--------------|------------------|---------------|
| 시료 1 | 순수 아르곤 | 45.5 | 4.4669 | 11.71 | 24 |
| 시료 2 | 3:1 | 22.9 | 0.7556 | 1.98 | 71 |
| 시료 3 | 1:1 | 20.9 | 0.5152 | 1.35 | 115 |
| 시료 4 | 순수 산소 | 13.3 | 0.3815 | 1 | 198 |

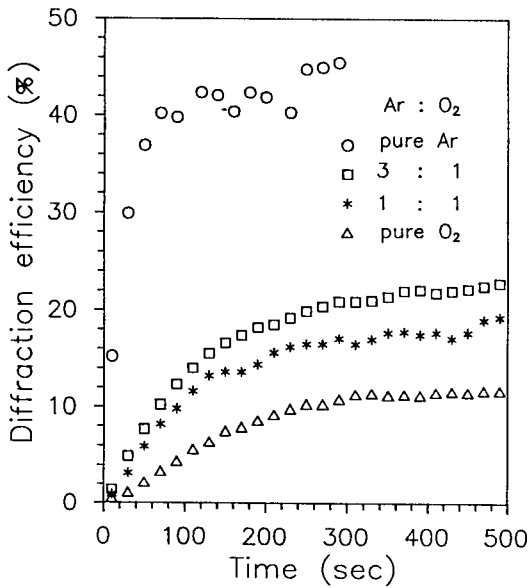


그림 4. 시료 1~4의 회절효율

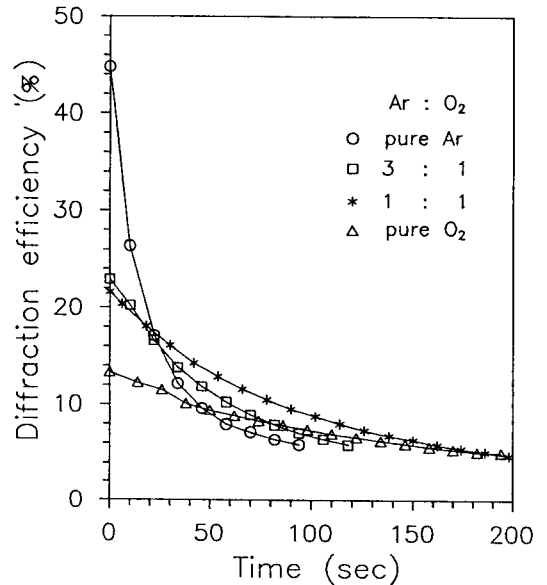


그림 5. 시료 1~4의 감쇠곡선

하여 오랜 시간동안 나타난다. 위의 사실로부터 광굴절 특성 중 회절효율과 감쇠시간을 비교하면 Fe의 상대적 존재 상태를 알 수 있다. 제작된 시료들의 회절효율과 감쇠시간을 조사하였다.

그림 4는 시료 1~4의 회절효율을 비교한 그림이다. 두 빔의 power는 2 mW로 같이 두었고, 결합각 θ 는 10° 이다. 회절효율은 순수 아르곤 가스에서 확산한 시료 1부터 순수 산소 가스에서 확산한 시료 4까지 순차적으로 낮게 나타나며, 아르곤 가스에서 확산한 시료 1에서 회절효율이 가장 크다. 시료 1에서 회절효율의 곡선은 시간축에 대해 급격히 증가하는 모양을 갖고 시료 4에 이르기까지 점차적으로 완만히 증가하는 형태를 갖는다. 아르곤 가스에서 확산한 Fe:LiNbO₃의 경우 60초 정도에서 회절효율이 포화되고 산소 가스에서 확산한 Fe:LiNbO₃는 250초 정도에 이르러 포화된다. 시료 1은 시료 4에 비하여 11배 이상의 감도값을 가져, 감도 또한 아

르곤 가스에서 확산한 시료 1에서 가장 크다. 회절효율 곡선에서 회절효율과 감도가 높은 것을 통해 아르곤 가스에서 확산하였을 때 Fe²⁺의 농도가 가장 큰 것으로 생각할 수 있다.

시료 1~4의 기록후 재생시 감쇠곡선을 그림 5에 나타내었다. 감쇠곡선의 감쇠시간 역시 시료 1부터 4까지 순차적으로 길게 나타났다. 아르곤 가스에서 확산한 시료 1에서 감쇠시간은 28초인데 비해 산소 가스에서 확산한 시료 4에서는 198초로 큰 차이를 보인다. 감쇠시간을 통해서도 아르곤 가스에서 확산하였을 때 Fe²⁺의 농도가 가장 큰 것으로 보인다.

만약 아르곤 가스에서나 산소 가스에서 확산을 하였을 때 대부분의 Fe가 Fe²⁺ 상태나 Fe³⁺ 상태로 존재한다면, 회절효율이나 감도가 최고치가 되는 Fe²⁺나 Fe³⁺의 존재비가 있을 것이므로 아르곤 가스와 산소 가스의 농도를 조절하여 회절효율이나 감도가 최고치가 되도록 할 수

있을 것이다.^[14] 실험에서 회절효율이 최고치를 보이는 모양으로 나타나지는 않았으며 아르곤 가스에서 확산하였을 때 회절효율이 가장 크고 산소 가스가 혼합될수록 작아지는 것을 보아, Fe 확산시 완전히 Fe²⁺ 상태나 Fe³⁺ 상태만으로 존재하지는 않는 것으로 생각된다. 회절효율과 그 감쇠시간의 일치하는 결과들을 통해 Fe 확산시 산소 가스에서 보다 아르곤 가스에서 확산하였을 때 Fe²⁺의 농도가 더욱 큰 것을 알 수 있다. 또한 이때의 회절효율과 감도는 가장 크며 감쇠시간은 가장 짧다. 따라서 큰 회절효율과 감도를 얻기 위해서는 Fe 내부확산시 아르곤 가스를 분위기 가스로 사용하여야 한다.

IV. 결 론

LiNbO₃ 웨이퍼에 Fe를 증착한 후 내부확산 방법에 의해 Fe:LiNbO₃를 제작하여 광굴절 특성을 조사하였다. 감쇠시간의 비교에 의한 축방향 특성은 +c축 방향의 감쇠시간이 길게 나타나, diffusion이 전자기동에 큰 영향을 미치는 것으로 생각되었다. 또한 내부확산과정의 분위기 가스를 달리한 실험에서, 산소 가스에서 확산하였을 때보다 아르곤 가스에서 확산하였을 때 더욱 큰 회절효율과 감도의 광굴절 특성을 보였다. 이로써 산소 가스에서 보다 아르곤 가스에서 확산하였을 때 Fe²⁺가 많은 상태로 존재함을 알았다. Ti:LiNbO₃ 광도파로 상에 Fe를 도우핑한 광스위치 제작시 확산과정에서 아르곤 가스를 분위기 가스로 사용함으로써 광스위치의 효율을 높일 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] S. E. Miller, Proc. IEEE, **68**, 1173 (1980).
- [2] L. Thylen, J. of Lightwave Tech., **6**, 847 (1988).
- [3] M. Erman, P. Jarry, R. Gamonal, P. Autier, J.-P. Chan, and P. Frijlink, J. of Lightwave Tech., **6**, 837 (1988).
- [4] S. H. Lee, *Optical Information Processing Fundamentals* (Springer-Verlag, 1981).
- [5] J. L. Horner, *Optical Signal Processing* (Academic Press, Inc., 1987).
- [6] H. Bulow and K. Aretz, J. of Lightwave Tech. **7**, 2003 (1989).
- [7] H. A. Elion, *Optoelectronic Switching Systems in Telecommunications and Computers* (Marcel Dekker, Inc., 1984).
- [8] L. B. Aronson and L. Hesselink, Opt. Lett., **15**, 30 (1990).
- [9] J. J. Amodei, Appl. Phys. Lett., **18**, 22 (1971).
- [10] J. J. Amodei, RCA Review, **32**, 185 (1971).
- [11] A. M. Glass, D. Von der Linde, and T. J. Negran, Appl. Phys. Lett., **25**, 233 (1974).
- [12] A. M. Glass, Opt. Engr. **17**, 470 (1978).
- [13] W. J. Burke, D. L. Stabler, W. Phillips and G. A. Alphonse, Opt. Engr. **17**, 308 (1978).
- [14] W. Phillips and D. L. Stabler, J. Electronic Mat. **3**, 601 (1974).
- [15] D. L. Staebler, J. J. Amodei, J. Appl. Phys., **43**, 1042 (1972).

Fabrication of Fe:LiNbO₃ Waveguides and Their Photorefractive Properties

Ki Hyung Kang, Tae-Hyuk Jeong, Suk Moon Chung, Tae-Hoon Yoon, and Jae Chang Kim
 Dept. of Electronics Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

(Received: December 9, 1992)

In this paper, we study the photorefractive properties of Fe indiffused LiNbO₃ waveguides. Comparing the photorefractive properties of Fe:LiNbO₃ with those of LiNbO₃, we confirm the increase of the diffraction efficiency and the sensitivity by Fe doping. Also for the photorefractive properties of Fe:LiNbO₃ waveguides with different ambient gases, the diffraction efficiency and the sensitivity of Fe:LiNbO₃ indiffused in pure argon gases are the highest and its decay time is the shortest. Therefore, it is recommended that pure argon gases be used in Fe indiffusion process for good optical switches with photorefractive effect.