

Ti:LiNbO₃ 집적광학형 편광모드 조절기의 이론적 고찰

A Theoretical Study on Ti:LiNbO₃ Integrated Optical Polarization Mode Controller

문제영, 정홍식, 이한영*

홍익대학교, 대학원, 전자전산공학과

*전자부품연구원, 광통신연구센터

e-mail : zzagalch@lycos.co.kr

전송용량이 10Gpbs가 넘어감에 따라 PMD(Polarization Mode Dispersion)에 의한 광신호의 왜곡현상은 더 많은 전송용량을 필요로 하는 광 전송 시스템에 커다란 문제로 인식되고 있다. 이러한 PMD를 보상하기 위한 소자는 모든 편광상태(SOP : State of Polarization)에 대해서 원하는 편광상태로의 변환이 가능해야하며, 편광이 계속 변화하는 시간보다 원하는 편광상태로의 시간이 짧아 실시간으로 조절이 가능해야한다. 특히 x-cut, z-propagation LiNbO₃를 이용한 λ/4(quarter), λ/2(half)-λ/4(quarter) wave-plate들을 조합시킨 형태의 집적광학 편광모드 조절기는 비교적 위의 조건을 만족시킨다.^[1]

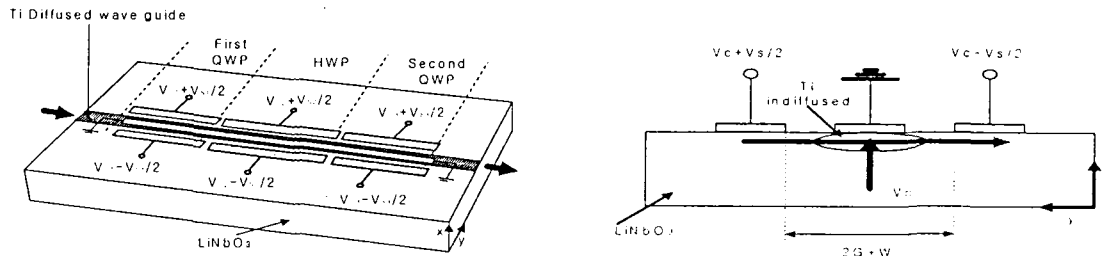


그림 1. Ti:LiNbO₃의 전기광학효과를 이용한 집적광학 편광 조절기의 구조와 Field 분포

각 wave-plate의 Ex와 Ey field는 모드 결합과 두 PSP(Principle State of Polarization)사이의 굴절률의 변화로 DGD값을 보상하게 된다. 각 field에 의한 TE, TM 모드 간 전기광학 효과에 의한 위상차는 다음과 같다.

$$\xi_i = \Gamma_y \frac{2\pi}{\lambda_0} n_0^3 r_{22} L_i \frac{V_{Si}}{2G+W}, \quad \eta_i = \Gamma_x \frac{\pi}{\lambda_0} n_0^3 r_{61} L_i \frac{V_{Ci}}{G}$$

Γ_y, Γ_x 는 광도파로 내에서 전계 Ex, Ey와 광파가 서로 결합하는 정도를 나타내는 중복(overlap) 상수 값을 나타내며, λ_0 와 n_0 는 각각 빛의 파장과 정상파 굴절률(ordinary refractive index) 그리고, W,G는 전극 폭과 간격을 의미한다.

그림 1의 구조에서 각각의 wave-plate들의 TE↔TM 모드 변환과 TE-TM 위상변화의 조합이 궁극적으로는 고정된 선형 위상 지연 π (HWP) 또는 π/2 (QWP)를 나타내야 하며, 이를 위해서 전압 V₀, V_π와 전극 길이를 적절히 조절해야 된다. V₀는 TE↔TM 간에 완벽한 모드변환을 일으키는데 필요한 전압이고, V_π는 TE-TM 간에 π 만큼 위상변화를 일으키는데 필요한 전압이다. 한편 V_T는 광도파로에 원하지 않게 나타나는 복굴절(birefringence)을 보상시키는데 필요한 전압이다. 따라서 각 wave-plate들 (QWP/HWP/ QWP)에 인가 되는 전압은 아래와 같이 정의된다.

$$V_{C1} = (V_0/2)\sin\alpha, \quad V_{S1} = V_T + (V_\pi/2)\cos\alpha, \quad V_{C2} = V_0\sin\gamma, \quad V_{S2} = V_T + V_\pi\cos\gamma$$

$$V_{C3} = (V_0/2)\sin(\alpha + \epsilon), \quad V_{S3} = V_T + (V_\pi/2)\cos(\alpha + \epsilon)$$

그림 1과 같은 구조의 편광조절기의 전체적인 전달 매트릭스와 입·출력간 SOP의 관계는 QWP/HWP/QWP의 Jones 매트릭스와 Jones 벡터를 조합하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \cos\theta_{out} + i\sin\theta_{out}e^{-i\psi_{out}} \\ i\cos\theta_{out} + \sin\theta_{out}e^{-i\psi_{out}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A-iB & -C-iD \\ C-iD & A+iB \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos\theta_{in} + i\sin\theta_{in}e^{-i\psi_{in}} \\ i\cos\theta_{in} + \sin\theta_{in}e^{-i\psi_{in}} \end{bmatrix}$$

$$A = -\cos\gamma' \cos(\epsilon/2) \quad B = -\sin\gamma' \sin(\alpha + \epsilon/2) \quad C = -\cos\gamma' \sin(\epsilon/2) \quad D = +\sin\gamma' \cos(\alpha + \epsilon/2)$$

$\gamma' = \gamma - \alpha - \epsilon/2$ 결국 입력과 출력편광상태의 정보를 알게 되면, 위에 있는 식을 이용하여 α, γ 를 구할 수 있고, 다시 각 wave-plate(QWP/HWP/ QWP)들 사이에 인가되는 전압을 구할 수 있다.

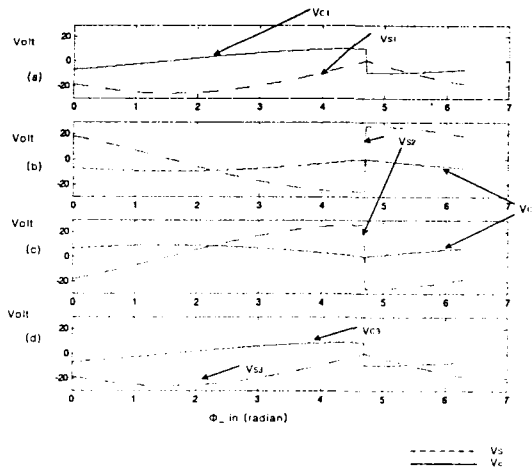
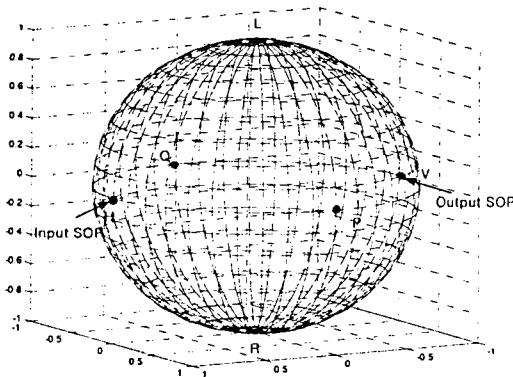


그림 2. (a) Poincare 구 좌표계 : TE 입력→TM 출력. (b) 입력 편광 변화에 따른 인가전압변화

위 그림 2(a)는 Poincare에서의 TE 입력→TM 출력으로의 편광 변화를 나타낸 것으로 입력 편광 파라미터가 $\theta_{in}=45^\circ, \psi_{in}=90^\circ, \theta_{out}=45^\circ, \psi_{out}=-90^\circ, \epsilon = 0^\circ$ 일 경우 $V_{S1}=-20.99V, V_{C1}=V_{S2}=0V, V_{C2}=\pm 7.63V, V_{S3}=-20.99V, V_{C3}=0V$ 의 인가전압이 필요하다. 그림 2(b)는 고정된 TE 편광에서 $\phi_{in} (0 \leq \phi_{in} \leq 360^\circ)$ 로의 입력 편광을 TM 출력 편광으로 변화함에 따라 필요한 편광조절기에 인가되는 전압들의 변화추이를 나타낸 것이다.

z-축 방향으로 진행하는 Ti:LiNbO₃ 광도파로와 전기광학효과를 이용하여 집적광학형 편광조절기를 검토하였다. 이 소자는 $\lambda/4 - \lambda/2 - \lambda/4$ wave-plate들로 구성되었다. Jones 매트릭스에 근거하여 유도된 전달 매트릭스와 Poincare 구 좌표계를 이용하여 소자의 동작원리를 체계적으로 분석하였다. 편광제어에 필요한 전압들을 전산모사 하였으며, 이로부터 본 연구에서 제안된 편광조절기는 어떠한 입력 편광 상태에서부터 특정한 출력 편광 상태로 변화시킬 수 있음을 확인하였다.

본 연구는 한국과학재단 지역대학우수과학자사업과 전자부품연구원의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] F. Heismann "Analysis of a reset-free polarization controller for fast automatic polarization stabilization in fiber-optic transmission systems," Lightwave Technology, vol. 12, pp. 690-699, Apr 1994.

F
D