

마감: 2023.9.25

1. BS matrix

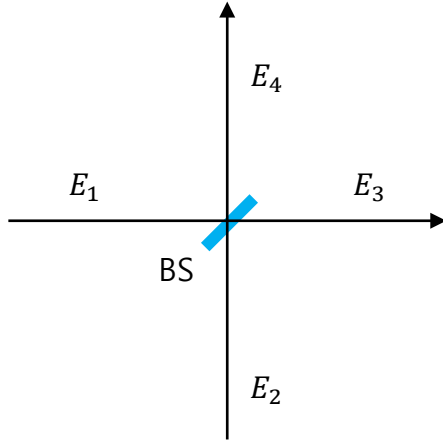


그림 1. BS physics. BS: beam splitter.

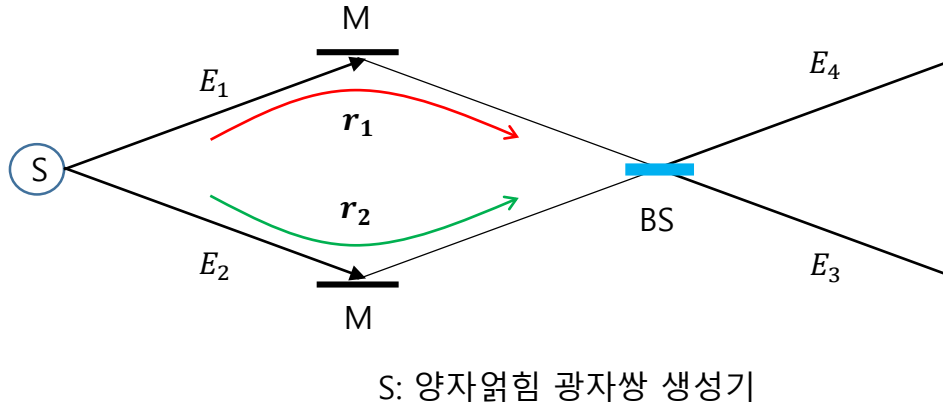


그림 2. 일반적인 HOM dip 실험 구성도. M: mirror, BS: beam splitter.

$$E_j(r, t) = E_0 e^{i(\mathbf{k}\mathbf{r}_j - \omega t + \varphi_j)}, \text{ where } j=1\sim 4.$$

E_j 에서 $\mathbf{k}\mathbf{r}$ 은 vector product로 모든 파(포톤)에 대해 동일한 값을 산출: $k = \frac{2\pi}{\lambda}$; $\omega = 2\pi f$; f 는 동일 주파수

힌트 1: $e^{i(\mathbf{k}\mathbf{r}_j - \omega t + \varphi_j)} = e^{i\mathbf{k}\mathbf{r}_j} e^{-i\omega t} e^{i\varphi_j}$ 에서 $e^{-i\omega t}$ 는 모든 파에 대해 공통으로 처리하고, $\varphi_1 = \varphi_2$ 로 가정

힌트 2: $e^{i\mathbf{k}\mathbf{r}_j}$ 에서 $\mathbf{k}\mathbf{r}_j$ 는 각 경로차에 대한 E_j 의 위상차를 나타냄

힌트 3: 결국 두 개의 입력원 E_1 과 E_2 에 있어 유일한 차이점은 BS에 도달할 때 $e^{i\mathbf{k}\mathbf{r}_2} - e^{i\mathbf{k}\mathbf{r}_1}$ 에 의한 위상차

힌트

HOM dip 조건:

$$\begin{bmatrix} I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = I_0 \begin{bmatrix} 0 \\ C \end{bmatrix} \text{ 이거나}$$

$$\begin{bmatrix} I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = I_0 \begin{bmatrix} C \\ 0 \end{bmatrix}.$$

C는 상수

- 양자얽힘쌍 일반적인정의: 두 개의 얽힘포톤쌍 사이에는 특별한 결맞음이 존재한다.

2. 위상조절기

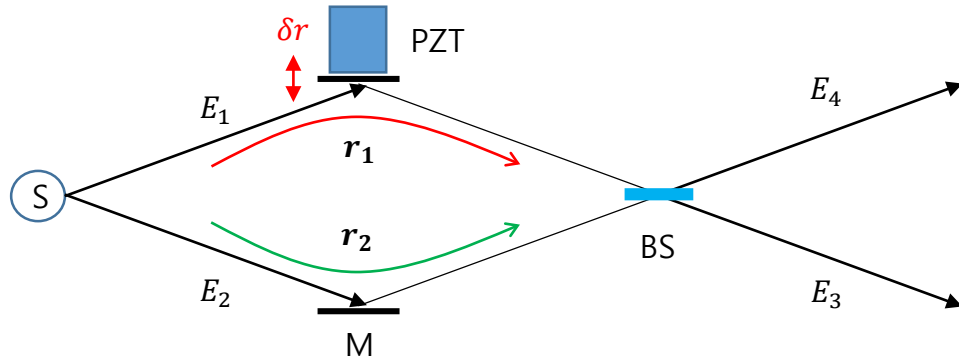


그림 3. 위상조절기(phase controller). PZT: Piezo-electric transducer, M: Mirror, BS: beam splitter.

PZT를 이용 한 쪽 경로의 위상차를 통제: $e^{ikr_2} - e^{ikr_1} = e^{ikr_2}(1 - e^{ik\delta r})$, $\delta r = r_1 - r_2$.
 $e^{ik\delta r} = e^{i\varphi}$, $\varphi = k\delta r$: 두 개의 입력포톤(파)에 대한 상대적 위상차

$\begin{bmatrix} E_3 \\ E_4 \end{bmatrix} = [BS] \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \end{bmatrix}$: $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$ 가 위상조절기 matrix solution

$[BS] = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & i \\ i & 1 \end{bmatrix}$, $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 는 에너지 보존법칙을 위한 normalization 상수.

- 행렬순서는 사건순서와 반대

$[\varphi] = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = ?$

3. MZI matrix

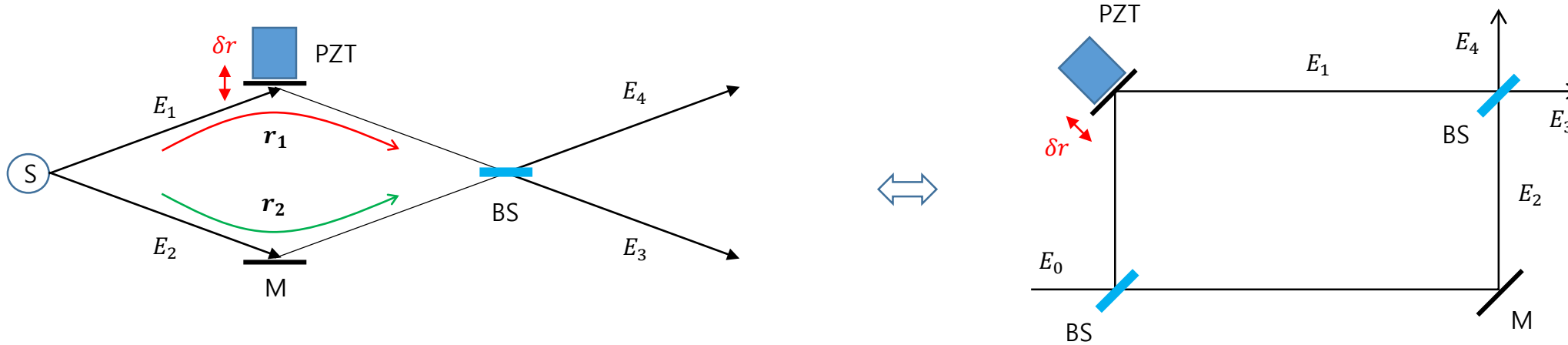


그림 4. Mach-Zehnder interferometer. MZI

$$g^{(1)} = I_j = E_j E_j^*$$

E_j^* : complex conjugate of E_j .

$$I_0 = E_0 E_0^*$$

Ex: complex conjugate of $Ae^{i\alpha}$ is $A^*e^{-i\alpha}$.

[MZI] =?
 $I_3 = ?$
 $I_4 = ?$

4. MZI matrix: 직교편광

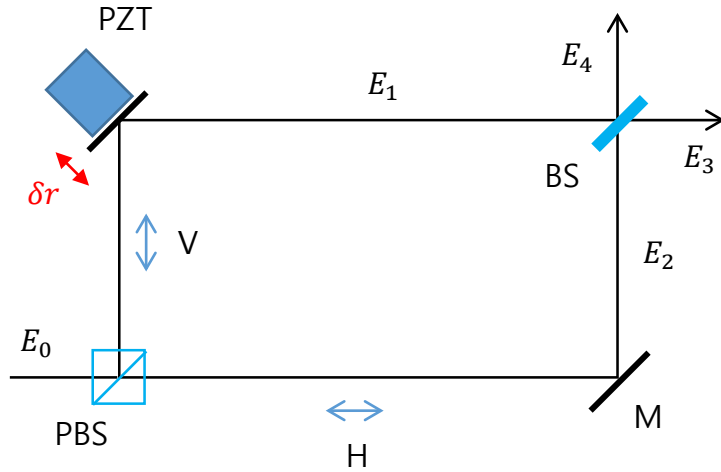


그림 5. Mach-Zehnder interferometer: 직교편광.
 PBS: polarizing beam splitter, V: vertical, H: horizontal.

PBS matrix:

$$\begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \end{bmatrix} = [PBS] \begin{bmatrix} E_0 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} V & 0 \\ 0 & H \end{bmatrix}$$

$$V = -E_0 \hat{y}; H = E_0 \hat{x}$$

\hat{j} : j 축 벡터

$$g^{(1)} = I_j = E_j E_j^*$$

E_j^* : complex conjugate of E_j .

$$I_0 = E_0 E_0^*$$

Ex: complex conjugate of $Ae^{i\alpha}$ is $A^*e^{-i\alpha}$.

[MZI] =?
 $I_3 = ?$
 $I_4 = ?$

Hint: Fresnel-Arago law

→ 동일편광일때만 서로 간섭. 직교편광일때는 간섭없음