

論文抄錄

廣帶域 光結合 氣體레이저 變調

Franklin R. Nash, Peter W. Smith;
 (Wideband Optical Coupling Modulation)
 IEEE Journal of Quantum Electronics
 VOL. QE4, No. 1, P26-34, Jan. 1968

레이저 共振器 內部에서의 光變調器는 同一 變調度에 對해서 外部變調 장치보다 적은 電力으로 同一 효과를 얻을수 있다는 사실이 여러사람에 의해 설명되고 입증되었다.

本論文에서는 폭스-스미스 空胴(Fox Smith Cavity)에 설치한 結合形 變調器에 對해서 變調帶域幅, 變調효율, 被變調光波電力, 歪曲等에 관해서 論했다.

그림 1과 같은 KD*P (KD₂PO₄結晶)形 變調器에 ω_c의 光周波數가 入射된다면 E₀ Cos ω_ct의 線形偏波 光搬送波界가 發生한다.

變調器를 한번 통과한 光波界는

$$E_{\parallel} = E_0 \cos\left(\frac{\Gamma}{2}\right) \cos\omega_c t$$

$$E_{\perp} = E_0 \sin\left(\frac{\Gamma}{2}\right) \sin\omega_c t$$
(1)

와 같다.

E_∥는 入射偏波이며 E_⊥는 變調器에 의한 E_∥에 直交하는 界를 나타낸다.

KD*P 結晶에선 單一通過 位相지연을 나타내

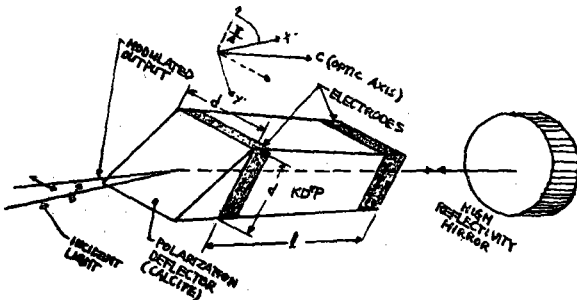


그림 1 結合形 變調器의 모형

는 Γ는 아래와 같다.

$$\Gamma = \frac{4\pi}{\lambda} \Delta n l = \frac{4\pi}{\lambda} \cdot \frac{1}{2} n_0^3 r_{63} \frac{V}{l} \cdot l$$

$$= \pi \frac{V_{dc}}{V_0} \left[1 + \frac{V_m}{V_{dc}} \cos\omega_m t \right]$$
(2)
(3)

여기서 재래의 振幅變調를 얻기위해선

$$V = V_{dc} + V_m \cos\omega_m t$$
(4)

로 해야하고 半波電壓을

$$V_0 = \frac{\lambda}{2n_0^3 r_{63}}$$
(5)

로 정의한다면 光에너지가 거울에 부딪친후 재차 變調器를 통과하게 되면 E_⊥는 다음과 같이 된다.

$$E_{\perp} = E_0 \sin(\Gamma) \sin\omega_c t$$
(6)

또한 임피던스 η인 自由空間에서의 被變調波 強度는 아래와 같다.

$$I_{\perp} = \frac{1}{2\eta} E_0^2 \sin^2(\Gamma)$$
(7)

여기서

λ : 光波長

n₀ : 굴절도

r₆₃ : 電氣光 係數(Electrooptic Coefficient)

Δn : n₀의 미소 변화분

l : 結晶의 길이

V_{dc} : 직류 바이어스 電壓

V_m : 變調電壓 尖頭值

ω_m : 變調周波數

를 나타낸다.

식(7)을 삼각함수항으로 전개시키면 아래와 같이 표시된다.

$$I_{\perp} = \frac{1}{47} E_0^2 \left\{ 1 - \text{Cos} \left(2\pi \frac{V_{dc}}{V_0} \right) \text{Cos} \left(2\pi \frac{V_m}{V_0} \text{Cos} \omega_{mt} \right) + \text{Sin} \left(2\pi \frac{V_{dc}}{V_0} \right) \text{Sin} \left(2\pi \frac{V_m}{V_0} \text{Cos} \omega_{mt} \right) \right\} \quad (8)$$

DC바이어스 電壓을 $V_{dc} = \frac{1}{4} V_0$ 로 선택한다면 식(8)은 다음과 같이 쓸수있다.

$$I_{\perp} = \frac{1}{47} E_0^2 \left\{ 1 + \text{Sin} \left(2\pi \frac{V_m}{V_0} \text{Cos} \omega_{mt} \right) \right\} \quad (9)$$

Sin(aCosθ)의 베셀 함수를 利用하여

$$I_{\perp} = \frac{1}{47} E_0^2 \left\{ 1 + 2J_1 \left(2\pi \frac{V_m}{V_0} \right) \text{Cos} \omega_{mt} - 2J_3 \left(2\pi \frac{V_m}{V_0} \right) \text{Cos} 3\omega_{mt} + \dots \right\} \quad (10a)$$

로 전개시킬수 있고 $2\pi \frac{V_m}{V_0} \ll 1$ 인 線形變調일 경우 I_{\perp} 는 다음과 같이 된다.

$$I_{\perp} \approx \frac{1}{47} E_0^2 \left\{ 1 + 2\pi \frac{V_m}{V_0} \text{Cos} \omega_{mt} \right\} \quad (10b)$$

또한

$$\frac{\text{퍼센트變調}}{100} = 2\pi \frac{V_m^{ext}}{V_0} \quad (11)$$

식(10), (11)이 外部結合形 線形變調時 被變調 強度와 변조도를 나타내는 식이다.

外部變調 일 경우 식(7)의 變數가 미소하기 때 문에 급수로 전개시키면

$$I_{\perp} \approx \frac{\pi^2}{27} E_0^2 \left(\frac{V_{dc}}{V_0} \right)^2 \left\{ \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{V_m}{V_{dc}} \right)^2 \right] + \frac{2V_m}{V_{dc}} \text{Cos} \omega_{mt} + \frac{1}{2} \left(\frac{V_m}{V_{dc}} \right)^2 \text{Cos} 2\omega_{mt} \right\} \quad (12)$$

가된다.

마찬가지로 線形變調일 경우 뒷식은

$$I_{\perp} \approx \frac{\pi^2}{27} E_0^2 \left(\frac{V_{dc}}{V_0} \right)^2 \left\{ 1 + \frac{2V_m}{V_{dc}} \text{Cos} \omega_{mt} \right\} \quad (13)$$

이되고

$$\frac{\langle I_{\perp} \rangle}{\langle I_{\parallel} \rangle} = \pi \left(\frac{V_{dc}}{V_0} \right)^2 \quad (14)$$

이되며

$$\frac{\text{퍼센트變調}}{100} = 2\pi \frac{V_m^{int}}{V_{dc}^{int}} \quad (15)$$

變調驅動力 P_m 이 아래와 같이 주어지면

$$P_m = \frac{V_m^2}{2r}$$

단 r 은 럽프드(lumped) 容量性 變調器結晶의 分路저항을 나타낸다.

同一 퍼센트 變調일 경우 식(11), (15)에 의하 다음과 같이 된다.

$$\frac{P_m^{int}}{P_m^{ext}} = \left[\frac{\pi V_{dc}^{int}}{V_0} \right]^2 = \frac{\langle I_{\perp} \rangle}{\langle I_{\parallel} \rangle} \quad (16)$$

식(16)에 의하면 内部變調器의 효율은 内部變調된 레이저로부터 結合되 나온 총레이저 電力의 미소 分割量에 직접 관계됨을 알수있다.

그런데 이 分割量은 보통 아주 극소량이므로 同一 變調器를 使用時는 内部變調가 外部變調 보다 훨씬 효율적임을 알수있다.

外部變調일 때 平均出力은 식(10)에 의해 $\frac{1}{47} E_0^2$ 이되며 이것은 총 레이저 出力의 $\frac{1}{2}$ 에 해당 한다.

반면 内部變調일 때는 $\frac{1}{27} E_0^2$ 이지만 이것은 變調器內의 불가피한 容積에 의한 손실로 인해 감소된다.

따라서 일반적으로 出力은 内部, 外部 變調時 거의 비슷하리라 예측할수 있다.

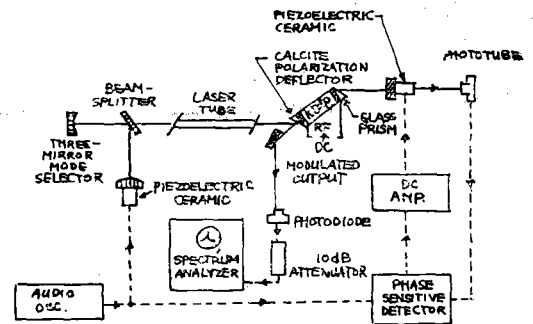


그림2 實驗장치의 系統圖

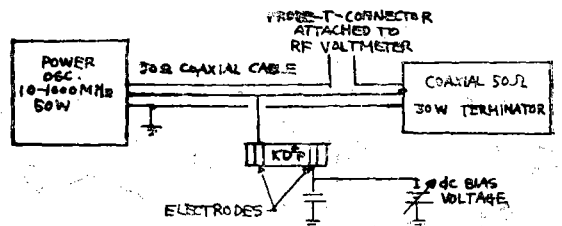


그림3 變調回路의 構成圖

三面鏡(Three Mirror System)에 의한 單一周

波數로 6328Å에서 동작하는 내경 4mm 길이 130cm의 He-Ne레이저 장치를 실험에 사용했다.

그림 2는 실험장치의 系統圖를 나타낸다.

사용한 變調用 結晶은 斷面積이 3×3mm²이고 C축 길이가 2cm인 KD*P(KD₃PO₄)이다.

사용한 KD*P의 半波電壓은 약 3.7KV이고 유전율 ε과 C방향 損失正切 (losstangent)는 각각 44, 9.5×10⁻¹²이다.

본실험에 이용한 變調器 回路은 그림 3과 같고 이것의 定在波比는 1.5GHz이하의 周波數에 대해 2.0이하 였다.

最大 光出力과 바이어스 電壓이 零일때 最小 出力의 比는 20dB이상이고 最大出力은 3.6mW를 얻었다.

RF 變調周波數에 對한 beat신호 진폭을 측정 한 결과가 그림 4의 그래프이며 變調器의 周波

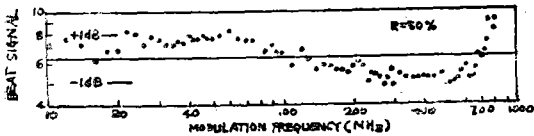


그림 4 비트신호의 진폭과 變調周波數의 測定值

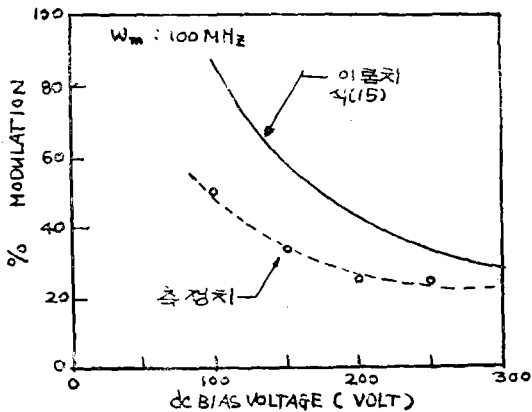


그림 5 퍼센트 變調度對 직류바이어스 電壓

數 응답특성이 700MHz까지 대략 ±1dB 범위 내에서 평탄함을 보여 준다.

變調器用 結晶 바이어스 電壓 變化에 對한 퍼센트 變調度的 계산치 (식15에 의한)와 측정치가

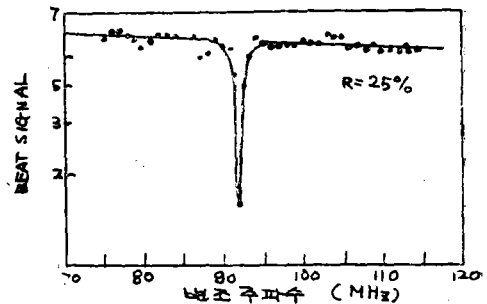
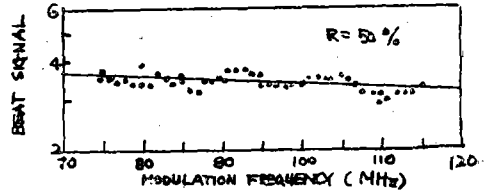


그림 6 비트신호 對 變調周波數

그림 5이며 계산과 측정값의 不一致 原因은 電氣光 係數, 유전율과 結晶電極 구조의 직류와 고주파에서의 불일치 에 의한 것이 주된 이유이다.

$\frac{C}{2L}$ (~95MHz)와 $\frac{2C}{2L}$ (~190MHz) 부근에서의 能動姿態(Active mode)와 인접 冷姿態(Cold Mode)間的 結合에 의한 被變調出力의 變調를 측정 한 결과 그림 6의 曲線을 얻었는데 Beam splitter의 특성이 R=65%, R=50%의 경우는 별로 變化가 없지만 R=25% 일경우는 $\frac{C}{2L}$ 부근에서 큰 變化가 발생했다.

結合形 變調器의 帶域 周波數 下限値는 結晶自體의 音響共振에 의한 Spike歪曲과 레이저出力이 追從할려고 하는 저주파 驅動 임계주파수에 의해 결정된다.

반면에 上限値는 變調用 結晶의 구조, 電氣的 回路, 그리고 驅動素子等에 의해 결정지워진다.

結晶의 용량에 의해 上限周波數는 $f_m \leq \frac{1}{2\pi RC}$ 로 주어지고 空胴終端鏡에 結晶이 대단히 접근되었을 경우는 差動位相지연이

$$\Gamma' = 2\pi \frac{V_{dc}}{V_o} \left\{ 1 + \left(\frac{V_m}{V_{dc}} \right) \frac{\sin \omega_m \tau}{\omega_m \tau} \right\} \cos \omega_m (t + \tau) \quad (18)$$

Crystal	KD*P (PRESENT CASE)	KD*P (4 Crystals)	KD*P	LiTaO ₃	LiTaO ₃ (Denton et al)
Configuration	AM internal	AM internal	transverse-field internal	transverse-field internal	transverse-field external
% modulation proportional to	$n_o^3 r_{e3}$	$4n_o^3 r_{e3}$	$l/2d[n_o^3 r_{e3}]$	$l/2d[n_o^3 r_{e3} - n_o^3 r_{i3}]$	$l/2d[n_o^3 r_{e3} - n_o^3 r_{i3}]$
Bandwidth limitation	transit time	Crystal Capacitance & transit time	Crystal Capacitance	Crystal Capacitance	Crystal Capacitance
B, bandwidth (estimated)	3000MHz	750MHz	820MHz	840MHz	840MHz
l/d	1	1	7	7	28
performance Index = Pm/B	5mW/MHz	0.1mW/MHz	0.7mW/MHz	0.07mW/MHz	0.2mW/MHz

<表 1> 結合形 變調器特性的 比較

이되므로 이때는

$f_m \leq \frac{1.9}{2\pi\tau}$ 가 된다. 여기서 τ 는 單一通過變移

時間을 나타내고 $\tau = \frac{n_o l}{C}$ 가 된다.

또한 變調用 結晶體內的 유전체 姿態의 勵起에 의해서도 周波數 上限值가

$$f_m \leq \frac{5}{2\pi} \frac{C}{d\sqrt{\epsilon}}$$

단 d 는 橫軸 結晶長을 나타낸다.

<表1>에 본실험에 사용한 變調器와 他變調器의 구조와 動作特性을 비교했다.

(延世大學校 李文基 抄譯)