

## 論文抄錄

## 電氣光學 強性光學及 超音波用 裝置를 爲한 誘電材料

## I. 序 言

通信分野에서 LASER를 利用하는데 있어서 期待되는 利點의 하나는 可視光線으로부터 赤外線域에 이르는 LASER의 全周波數帶域에 걸쳐 굉장히 많은 量의 情報를 傳達할 수 있다는 點이다. 이 LASER를 使用하기 爲해서는 이를 充分한 帶域幅과 容量으로 變調시키거나 偏向시키며, Switching하고 周波數變換시키는 方法과 어떤 豫見할 수 있는 方法으로 光束을 變化시키는 手段들이 이루어 되어야 한다. 이 問題는 低損失의 光傳達特性과 電界나 磁界, 또는 外部에서의 應力에 依하여 變化될 수 있으며 同時에 어떠한 方法으로 光束과 相互作用을 할 特性等을 가진 어떤 結晶의 開發을 爲한 廣範圍한 材料에 對한 研究를 促進시켰다. 以下 요즘 開發되고 있는 몇가지 誘電材料에 對하여 簡單히 記述하고자 한다.

單磁區 強誘電體인  $\text{LiNbO}_3$ 와  $\text{LiTaO}_3$ 의 壓電特性, 超音波, 電氣光學及 彈性光學의 特性等을 잘 組合하면 아주 有用한 裝置의 應用에 利用할 수 있으며 또 어떤 境遇에는 非誘電性인  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 이나  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ 이 더 有用할 때도 있다. 아주 最近에 合成된 強誘電性 結晶系의  $\text{S}_{r-x}\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$ 은 아주 優秀한 電氣光學의 機能을 가지고 있다. 또한 化學의 或은 構造의 或은 이러한 材料에 關聯된 것으로 光의 極超短波變調에 쓰이는  $\text{Ca}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ 과 큰 二次函數의 電氣光學의 效果를 갖고 KTN ( $\text{KTaNa}_{1-x}\text{O}_3$ )과 같은 電子의 傳導性이나 異質的 構造를 갖고 있지 않은  $\text{Pb}_2\text{MgNb}_2\text{O}_7$ 이 있다.

이들 材料들과 前에 報告된 다른 結晶들과의 電氣光學의 特性의 比較에 對한 便利한 表가 Kaminow와 Turner에 依하여 만들어져 있다. 以上の 材料中에서 어떤 것들은 物理的 過程들이 거의 다 알려져 있으나 다른 것들은 아직 大略의 것밖에 알려져 있지 않아 앞으로 더 많은 實驗的 資料들이 必要하다.

## 2. 物理的 特性과 光學的 特性

모든 結晶들은 充分히 높은 溫度에서는 녹으나 分解되는 않아서 녹은 狀態에서도 結晶일때와 原子의 比

率이 같기 때문에 이 性質을 利用하여 結晶의 溶融物로부터 몇 時間에 걸쳐 천천히 끌어 당김으로 願하는 크기의 結晶을 만들수 있다. (Czochralski方法)이때 結晶의 軸은 任意的 方向으로 만들수 있다.

結晶은 比較的 단단하고 一般의인 光學的 研磨方法으로 쉽게 加工된다. 結晶들은 最終段階로 막대모양으로 만들어 지는데 이때 자르거나 研磨하여도 單磁區인 체로 남아있다. 非對稱性 結晶들은 直線性이나 二次曲線의 電氣光學特性이나 彈性光學의 效果를 나타낼수도 있다. 여기서 말한 結晶들은 大部分 直線의 效果를 나타낸다. 이와 같이 해서 電界나 變形에 依하여 光學的 屈折率을 變化시킬수 있으며(前者에 依한 것이 電氣光學의 效果이고 後者가 彈性光學의 效果)이때 變形은 逆壓電效果에 依해 電界로 얻을 수도있고 應力(彈力)에 依해서 얻을수도 있다.

有用한 裝置에 쓰이는 結晶들의 光學的 特性은 아주 臨界의이며 光學的으로 優秀한 結晶들은 大部分 電氣光學의 特性이나 彈性光學의 特性이 劣等하나 그 反對의 特性을 가진것들 보다는 使用하는데 適當하다 光學的 品質을 結晶하는데 가장 重要한 두가지 問題는 內包된 不純物, 殘留變形, 成長의 變化와 量論的 變化나 다른 成長의 결합에 依한 屈折率의 變化와 強力한 LASER beam에 依한 結晶의 過度的이나 半永久的인 損傷이다. 다음 各 材料들에 對해서 간단히 說하면

1)  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ : 強한 壓電現象을 나타내며 電氣光學의 으로는 弱하며 光을 잘 通過시켜 光學的으로 아주 活性的이다. 強한 彈性光學의 性質을 가지고 있으나 強誘電體는 아니다. 超音波特性은 아주 좋아서 超音波나 彈性光學用 器具에 使用된다.

2)  $\text{LiNbO}_3$ 와  $\text{LiTaO}_3$ : 強誘電性이며 X<sub>3</sub>方向이나 三面軸方向의 偏光軸을 가졌다.  $\text{LiNbO}_3$ 는 光學的으로 單軸의 負特性을 가졌으며(異常屈折率이 正常屈折率보다 작다.)  $\text{LiTaO}_3$ 는 單軸의 正의 特性을 가졌다. ( $n_e > n_o$ ) 높은 偏光性때문에 結晶方向에 따라 10~70%의 結合係數를 가진 強한 壓電效果를 나타내며 電氣光學의 效果도 흔히 使用되고 있는 KDP의 數倍程度나 크다 이보다 더 큰 利點은 그 效果가 橫의이라는 點이다.

$\text{LiNb}_3\text{O}_5$ 의 彈性光學的 結合은 熔融 Silica보다 十倍 程度 좋은데 그 理由는 主로 높은 屈折率에 起因한다. ( $n=2.2$ ).

3)  $\text{Ca}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ : 雙軸의 負特性을 가졌고 光學的 性質이 아주 優秀하나 壁閉性때문에 光學的 研磨가 잘 되지 않는다. 그러나 自然的 壁閉面이 電氣光學的 測定에 使用하기에는 充分하다.

4)  $\text{S}_x\text{B}_{a1-x}\text{Nb}_2\text{O}_7$ : 四面結晶系에 속하며 x의 値는 0.25~0.75이다.  $\text{LiNb}_3\text{O}_5$ 나  $\text{LiTaO}_3$ 의 75倍 程度의 橫 方向의 直線의 電氣光學特性을 가졌다. x值에 따라서 連續的인 範圍의 誘電常數, 光學的 屈折率, 電氣光學 常數及 Curie溫度等を 갖는다.

### 3. 電氣光學的 効束와 그 材料

電氣光學的 効束는 結合된 電子의 構造와 格子形態에 直接的으로 相互作用하는 印加된 電界가 誘電特性을 變하게 할때 일어나며 印加된 電界는 靜電界이거나 極超短波일 수도 있고 또는 光學的 電界일 수도 있다. 結晶에서의 電氣光學的 効束에 依한 偏光은 다음과 같은 式으로 나타내진다.

$$P_i = \epsilon_0 n_i^2 r_{ijk} n_j^2 E_{j(w)} E_{k(o)}$$

$n_i$  主屈折係數

$r_{ijk}$  直線性 電氣光學係數

[表 1]  $\text{LiNb}_3\text{O}_5$ 의 電氣光學的 測定值

光	電界方向	$x_1$	$x_2$	$x_3$
$x_1$	電氣光學係數	—	$r_{22} = 2.2 \times 10^{-7} \text{cm/Statvolt}$	$ 0.9r_{33} - r_{13}  = 5.2 \times 10^{-7} \text{cm/Statvolt}$
	$[E \cdot \ell] \lambda / 2$	—	7230Volts	2940Volts
$x_2$	電氣光學係數	—	$r_{22} = 1.8 \times 10^{-7} \text{cm/Statvolt}$	$ 0.9r_{33} - r_{13}  = 5.1 \times 10^{-7} \text{cm/Statvolt}$
	$[E \cdot \ell] \lambda / 2$	—	9000Volts	3150Volts
$x_3$	電氣光學係數	$r_{22} = 2.0 \times 10^{-7} \text{cm/Statvolt}$	$r_{22} = 1.9 \times 10^{-7} \text{cm/Statvolt}$	—
	$[E \cdot \ell] \lambda / 2$	4,000Volts	4250Volts	—

印加電壓: DC

光의 波長: 633m $\mu$ .

[表 2]  $\text{LiTaO}_3$ 의 電氣光學的 測定值( $\lambda = 632.8\text{m}\mu$ . 印加電界方向: ||  $x_3$ )

光    $x_1$ , or $x_2$ 電氣光學係數 dc.	$ 1.007r_{33} - r_{13}  = 6.5 \times 10^{-7} \text{cm/Statvolt}$
$[E \cdot \ell] \lambda / 2$	2,800Volts
電氣光學係數 50-86MHz	$ r_{33}  = 9.1 \times 10^{-7}$ $ r_{13}  = 2.1 \times 10^{-7}$ $ 1.007r_{33} - r_{13}  = 7.1 \times 10^{-7} \text{cm/Statvolt}$

$E_{j(w)}$ : optical field,  $E_{k(o)}$ : 印加된 低周波 電界

여기서 論한 結晶의 가장 重要한 電氣光學的 効束는 transverse効束이며 이는 half-wave field-distance product  $[E \cdot \ell] \lambda / 2$ 로 나타내진다. ( $\ell$ 은 optical length이며 E는 電界強度)이 値는  $\ell/d=1$ 되는 ( $d$ 는 印加된 電界方向의 結晶의 두께) 結晶에서  $\lambda/2$ 만큼 遲延시키는 데 必要한 電壓을 意味한다. KDP와 같이 널리 使用되는 材料의 transverse効束와 longitudinal効束의 差異는 이러한 點에서 區別된다. 大部分 longitudinal効束가 使用되고 있으며 이때  $\ell/d$ 는 항상 1이다. KDP의 境遇 要求되는 半波遲延電壓은 8,000Volts인데 transverse効束에 對해서는 24,000Volts이다. 요즘의 transverse KDP變調器는  $\ell/d=250$ 으로 하여  $[E \cdot \ell] \lambda / 2$ 를 100Volts로 하여 實用化하게 되었다. 이 境遇 代表의 例로 길이 20cm幅 0.8mm의 매우 얇고 긴 結晶이 要求된다. 또 結晶에서의 光學的 位相遲延  $\Gamma$ 는 다음式으로 表示된다.

$$\Gamma = 2\pi \ell / \lambda_0 [n_1(E) - n_2(E)]$$

$\lambda_0$ : 眞空中에서의 光의 波長

$n_1(E), n_2(E)$ : 電界에 따른 屈折率

다음 表들은 各材料들에 對한 電氣光學的 測定值들을 몇가지 拔萃한 것이다. <表1>에서 보면半波遲延電壓은光의 傳播方向과 印加電界의 方向에 따서 3倍程度 變한다.

[表 3]  $\text{LiNbO}_3$ 와  $\text{LiTaO}_3$ 의 電氣光學的 特性 ( $\Gamma_{ind}$ )

電界方向 光	$\parallel x_1$	$\parallel x_2$	$\parallel x_3$
$\parallel x_1$	—	$\frac{\pi \ell_1 v_1 n_1^3 r_{12}}{\lambda_0 d_1}$	$\frac{\pi \ell_1 v_3}{\lambda_0 d_3} (n_o^3 r_{33} - n_o^3 r_{13})$
$\parallel x_2$	—	$\frac{\pi v_2 n_o^3 r_{33}}{\lambda_0}$	$\frac{\pi \ell_2 v_3}{\lambda_0 d_3} (n_e^3 r_{33} - n_o^3 r_{13})$
$\parallel x_3$	$\frac{2\pi \ell_3 v_1 n_1^3 r_{12}}{\lambda_0 d_1}$	$\frac{2\pi \ell_3 v_3 n_o^3 r_{12}}{\lambda_0 d_3}$	—

$\ell$ : 結晶에서의 Optical Path length

$d$ : 電界方向으로의 結晶의 두께

$V = E \cdot d$ : 印加電壓

$n_o$ : 正常 屈折率

$n_e$ : 異常 屈折率

[表 4]  $\text{Ca}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ 의 電氣光學的 測定值

光의 傳播方向	電氣光學係數(d.c) ( $\text{Cm/Statvolt}$ )	半波遲延電壓 [ $E \cdot \ell$ ]	
		d.c	3GHz
(100) 面 $X_1$ 에 垂直	$ r_{12} - 1.01r_{33}  = 4.1 \times 10^{-7}$	4,550volts	4,700volts
結晶軸 $X_3$	$ r_{12} - 0.76r_{13}  = 3.7 \times 10^{-7}$	5.080volts	測定되지 않았음

[表 5]  $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$ 의 半波遲延電壓 [ $E \cdot \ell$ ] $\lambda/2$

freq	$x=0.75$	$x=0.50$	$x=0.25$
dc	37volts	250volts	—
1MHz	80 $v_{pp}$	676 $v_{pp}$	1,340 $v_{pp}$
15MHz	48 $v_{pp}$	580 $v_{pp}$	1,236 $v_{pp}$
100MHz	—	580 $v_{pp}$	—

[表 6]  $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$ 에서 振幅變調에 對한 實效的 電氣光學係數  $\left| \frac{n_e^3}{n_o^3} r_{33} - r_{13} \right|$  ( $\lambda = 633m\mu$ )

單位:  $\text{Cm/Statvolt}$

freq	$x=0.75$	$x=0.50$	$x=0.25$
d-C	$4.15 \times 10^{-5}$	$6.15 \times 10^{-5}$	—
1MHz	$1.92 \times 10^{-5}$	$2.28 \times 10^{-5}$	$1.14 \times 10^{-5}$
15MHz	$3.2 \times 10^{-5}$	$2.7 \times 10^{-5}$	$1.24 \times 10^{-5}$
100MHz	—	$2.7 \times 10^{-5}$	—

### 4. 彈性光學의 特性과 그 材料

印加된 外部의 應力에 依해서 物質의 屈折率이 變하는 것을 Piezo光學效果라 부르며 內部의 變形에 對한 屈折率의 變化를 彈性光學의 效果라 한다.

어떤 結晶에서 平面彈性波로 勵起시키면 音波와 같은 波長의 週期的인 Strain Pattern을 發生하며 이 Strain Pattern은 回折格子와 같은 量의 彈性光學의 屈

折率의 變化를 생기게 한다. 彈性光學裝置에의 理想的인 結晶은 超音波損失이 적고 壓電效率과 彈性結合效率이 커야 한다.

$\text{LiNbO}_3$ 와  $\text{LiTaO}_3$ 는 赤外線帶에서 可視光線에 이르기까지 透明하며 그 屈折率이 매우 크므로 큰 彈性光學效果가 豫想되며 또앞에서 말한 超音波損失이 적어서 彈性光學裝置의 應用에 아주 有用하다. Ballman, Warner, Onoe, Coquin등이 測定한바에 依하면 壓電

結合効率は  $\text{LiNbO}_3$ 에서  $x_1$ 方向으로 傳播되는 垂直波가 30%이며  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 이 약 23%程度이다.

또 結晶에서의 Microwave의 彈性損失은 다음과 같을때 最小로 된다.

- 1) 密度가 클것.
- 2) Debye溫度가 높을것.
- 3) 彈性波速度가 적을것.
- 4) 彈性的 等方性이 클것.
- 5) 熱傳導度가 낮을것.

다음 表들은  $\text{LiNbO}_3$ ,  $\text{LiGaO}_3$ ,  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 들에 對한 彈性波速度와 Piezoelectric Coupling Constant에 關한 것들이다.

[表 7]  $\text{LiNbO}_3$ 와  $\text{LiTaO}_3$ 의 Piezoelectric結合常數

面 方 向	$\text{LiNbO}_3$ K(%)	$\text{LiTaO}_3$ K(%)
x-Quasi-shear	68	44
y-Quasi-shear	60	38
z-Quasi-shear	0	0
y-Quasi-extensional	30	20
z-Quasi-extensional	18	19

from Warner et al

[表 8]  $\text{LiNbO}_3$ 의 主方向에 따른 彈性波速度

Mode	傳播方向	粒子運動	波速度 $10^3\text{m/sec}$	L=Longitudinal S=Shear
L	x	x	6.54873	
S	x	$\perp x, \approx 31^\circ y$	4.75976	
S	x	$\perp x; \approx 59^\circ y$	4.03406	
L	y	Quasi-Ingit	6.83789	
S	y	Quasi-shear	4.46667	

E. G Spenceet P. V. Lene A. A. Ballnam  
 "Dielectric Materials for Electrooptic, Elastooptic and Ultrasonic Device Applications" Proc. Vol. 55. No.12 Dec. 1967

S	y	x	3.94043
L	z	Z	7.33059
S	z	$\perp y; \parallel x$	3.5885
S	z	$\perp z; \parallel x$	3.5885

from Bateman and Spencer

[表 9]  $\text{LiTaO}_3$ 의 主方向에 따른 彈性波速度

Mode	傳播方向	粒子的變位方向	波速度 $10^3\text{m/sec}$
L	$x_1$	$x_1$ 面	5.552
S	$x_1$	$x_2, x_3$ 面-55°to y	4.212
S	$x_1$	$x_2, x_3$ 面-35°to y	3.366
QL	$x_1$	$x_2, x_3$ 面+10.3°to y	5.690
QS	$x_1$	$x_2, x_3$ 面-10.3°to y	3.883
S	$x_2$	$x_1$	3.529
L	$x_3$	$x_3$	6.160
S	$x_3$	$x_1, x_2$ 面(任意角)	3.604

QL:Quasi-Longitudinal, QS:Quasi-Shear

[表 10]  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 의 彈性波速度와 Pure Mode에 對한 結合係數

Mode	傳播方向	波速度 $\times 10^3\text{m/sec}$	K(%)
Shear	[100]	1.646	—
Shear	[111]	1.859	—
Longitudinal	[111]	3.332	15.5
Shear	[110]	1.706(計算值)	23.5(計算值)

from Oroe et al

한국 과학기술연구소

李 文 炯 抄譯

## 學 會 消 息

### 電 子 工 學 會 理 事 會

日 時 : 1968年 6月 11日 午後 6時半

場 所 : 本學會事務室

出席理事 :

吳鉉禕, 李寅觀, 姜晉求, 趙吉相, 沈柱燮, 朴永煥, 李永根, 金世鎮, 楊仁應, 尹泰允, 李允哲, 金教侃, 朴權基, 金鍾吉, 權五鎮, 曹顯明, 朴寅用, 崔柱根, 高瓊植, 鄭萬永, 俞炳殷, 田鎔寅, 金圭漢 以上 23名

監 查 : 朴麒洙, 金丙殷 2名

經過報告 :

1. IC學術 Seminar 盛況裡에 終了하였음.
2. 學會誌 1963年度 第5卷 第1號 發刊됨
3. 吳鉉禕會長 Electronic Experts 會議에 韓國代表로 參加豫定

議決事項 :

1. 新規加入 會員의 資格審查는 高瓊植, 曹顯明理事에게 委囑 .
2. 電話交換方式에 關한 Seminar는 순수한 學術的 見地에서 繼續的으로 하되 아울러 外國學者中 이 方面의 Experts를 초빙하여 共同 Seminar를 갖기로 하자는 結論을 얻고 研究調查分科委員會에서 研究分析하도록 委任함.
3. 一般電子工學에 關한 時代的 問題를 가지고 公開講座를 갖자는 前理事會 決議를 促進하도록 擔當 姜晉求, 金世鎮理事에게 促求함.

### IC學術 Seminar開催

IC 學術 Seminar를 韓國電子工業協同組合과 協同主催로 5月 20日부터 5月 25日까지 6日間에 걸쳐 午後 6時 30分에서 9時까지 電氣會館講堂에서 盛況裡에 開催되었다.

參加者數는 約 130名이었고 教材로 冊을 單行本으로 發行하였고 講師陣과 題目은 다음과 같다.

- |       |                   |
|-------|-------------------|
| 5月20日 | 電子工學會長 吳鉉禕        |
|       | IC의 基本            |
| 5月21日 | 서울工大 電子工學科 李忠雄    |
|       | IC의 設計            |
| 5月22日 | 原子力研究所 電子工學室 安柄星  |
|       | IC의 製作            |
| 5月23日 | Signetics Co. 金根昌 |
|       | IC의 製作            |
| 5月24日 | 光云工大 應用電子科 金映權    |
|       | IC의 應用            |
| 5月25日 | 서울工大 電子工學科 金惠鎮    |
|       | IC의 薄膜과 新技術       |

△ 吳鉉禕會長 Electronic Experts 會議 參加  
유네스코 極東支部 科學技術委員會 主催인 Electronic Experts의 東京會議에 韓國代表로 6月17日에서 6月22日까지 參席하고 6月 27日에 歸國하였다.

△ 金圭漢 總務理事 渡美  
金圭漢 總務理事는 事業次 2~3個月 豫定으로 渡美하였다.