

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

THz 時析光譜學之研究 1-液晶材料之遠紅外光電特性

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 90-2112-M-009-053

執行期限：90 年 8 月 1 日至 91 年 7 月 31 日

主持人：潘犀靈 國立交通大學光電工程研究所

處理方式：可立即對外提供參考

(請打✓) 一年後可對外提供參考

兩年後可對外提供參考

(必要時，本會得展延發表時限)

執行單位:國立交通大學光電工程研究所

中華民國 91 年 7 月 31 日

一、中文摘要

我們利用 THz-TDS 技術量測 5CB 液晶樣品在 0.2-0.8THz 的折射率，實驗結果顯示，5CB 在 THz 波段的雙折射為~0.18-0.20。另外，我們也對 5CB 液晶做變溫的實驗，其結果顯示折射率對溫度的變化在可見光與近紅外波段的特性一致。實驗結果顯示液晶 5CB 具有在 THz 波段光電調製元件的潛力。

關鍵詞：兆赫輻射、液晶 5CB、雙折射、折射率

Abstract

We have determined the refractive indices of nematic LC 5CB in the 0.2 to 0.8 THz range at 25 to 41°C. The 5CB have comparatively large birefringence with approximate values in the of ~0.18-0.20 range. These results demonstrate the key features of 5CB and potential device applications in the THz frequency range.

Keywords: terahertz radiation, liquid crystal, 5CB, birefringence, index of refraction

二、緣由與目的

在過去二十年間，在 THz 波段的研究有顯著的進展。在可見光、近紅外和微波波段液晶的雙折射已被研究過，而且被利用來當該波段的電光調變器。研究液晶在 THz 波段的光學特性有助於我們將液晶應用於此波段。另外了解液晶在 THz 波段折射率對溫度的關係圖也是我們研究的課題之一。如圖 1 所示，厚度為 L 的 5CB 液晶(介質 2)被置放於介質 1 與介質 3 之間。假設 THz 波經過介質 1 與介質 3 時，THz 波為平面波，THz 波的穿透電場可以寫成式(1)

$$S_{sample}(\omega) = T_{12}(\omega)P_2(\omega, L)T_{23}(\omega) \cdot \sum_{k=0}^{\infty} \{R_{23}(\omega)P_2^2(\omega, L)R_{21}(\omega)\}^k \cdot E(\omega) \quad \text{式 1}$$

$$R_{ij}(\omega) = \frac{n_i - n_j}{n_i + n_j}, \quad T_{ij}(\omega) = \frac{2n_i}{n_i + n_j},$$

$$P_i(\omega, d) = \exp[-i\frac{n_i \omega d}{c}] \quad , n_i(\omega) = n_i - ik_i$$

而經過沒有液晶樣品的 THz 波的電場可寫成式(2)

$$S_{REF}(\omega) = T_{air}(\omega)P_{air}(\omega, L)T_{air3}(\omega) \cdot \sum_{k=0}^{\infty} \{R_{air3}(\omega)P_{air}^2(\omega, L)R_{air1}(\omega)\}^k \cdot E(\omega) \quad \text{式 2}$$

而液晶樣品的複數穿透係數定義為有樣品的 THz 波電場除以無樣品的 THz 波電場，如式(3)

$$T(\omega) = \frac{S_{SAMPLE}(\omega)}{S_{REF}(\omega)}$$

式 3

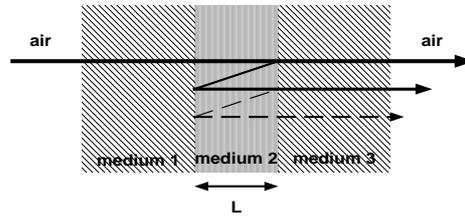


圖 1 三明治結構的液晶樣品示意圖

三、實驗步驟

液晶樣品盒的結構為一三明治結構，是介於兩個石英玻璃基板之間。液晶樣品的厚度為 $119\mu\text{m}$ 。液晶的配向為水平均勻配向。圖 2 為實驗架構圖。鎖模脈衝雷射 (中心波長 800nm ，脈衝寬度為 35fs 、功率為 400mW) 被分成兩道光，一道為激發光束，另一道為探測光束。激發光束打在 $\text{As}^+:\text{GaAs}$ 的天線上產生 THz 輻射源。探測光束導到電光晶體上用以偵測 THz 輻射。電光晶體 ZnTe 厚度為 1.5mm 。

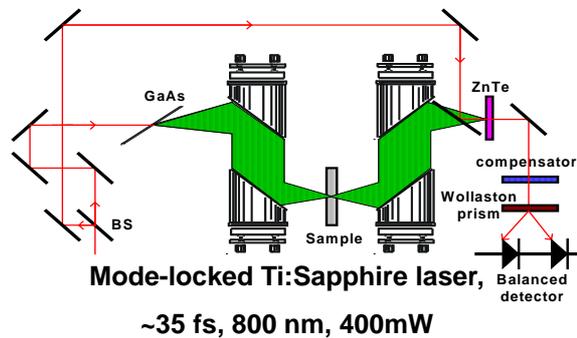


圖 2 THz-TDS 系統架構圖

四、結果與討論

經過空樣品盒的 THz 波形被定義為參考訊號。因為液晶為一單軸晶體，所以我們利用水平均勻的配向來量測 n_e 和 n_o 藉由旋轉液晶樣品。圖 3 為我們量測到空樣品盒與液晶的 THz 在時域上的波形。利用公式 3 經由數值計算可獲得 5CB 液晶的折射率[4]。

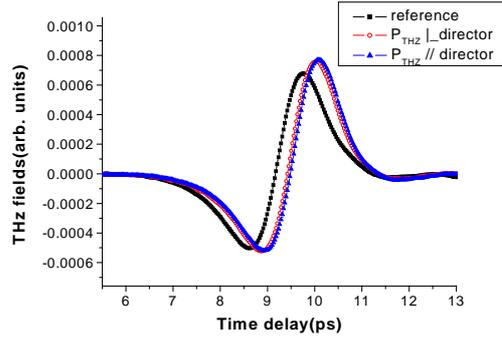


圖 3 25°C 下, 5CB 液晶的 THz 波形

圖 4 為 5CB 液晶在次毫米波段的尋常折射率(n_o)與非尋常折射率(n_e).結果顯示 n_e 與 n_o 隨著頻率增加而遞增。雙折射 $\Delta n = n_e - n_o$ 的結果顯示於圖 6。在 0.30THz 時, 5CB 液晶的雙折射為 0.15;在 0.49THz 時, 雙折射為 0.17;而 0.68THz 時, 雙折射為 0.18。此結果與可見光波段的雙折射接近(約 0.17)

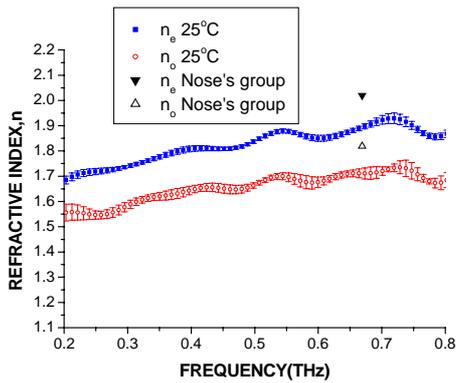


圖 4 25°C 下, 5CB 液晶在 THz 波段的折
射率

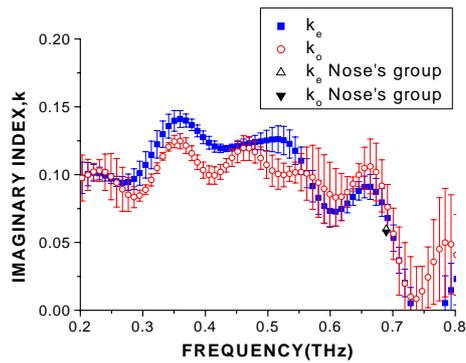


圖 5 25°C 下, 5CB 液晶在 THz 波段的
吸收

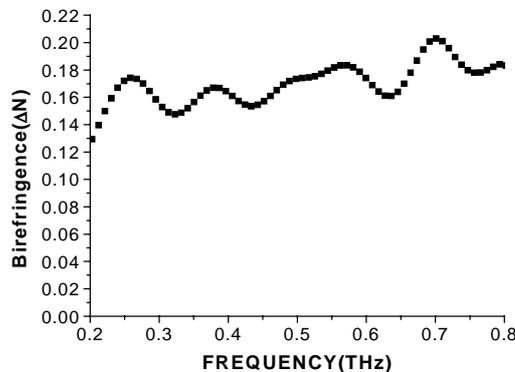


圖 6 25°C 下, 5CB 液晶在 THz 波段的雙折射

另外，我們研究 5CB 液晶在次毫米波段折射率對溫度的變化。結果顯示 5CB 液晶在均勻狀態(isotropic state)下其折射率介於溫度在 25°C 下之 n_e 與 n_o 間，如圖 7 所示。

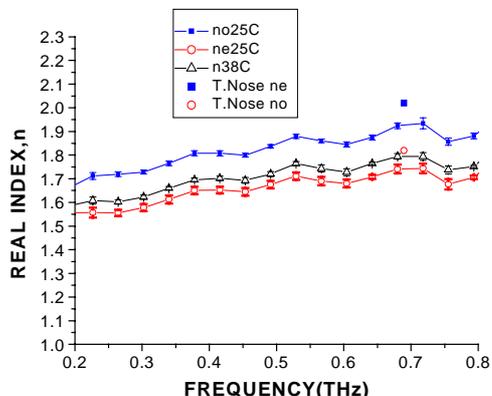


圖 7 25°C、38°C 下，5CB 液晶在 THz 波段的折射率

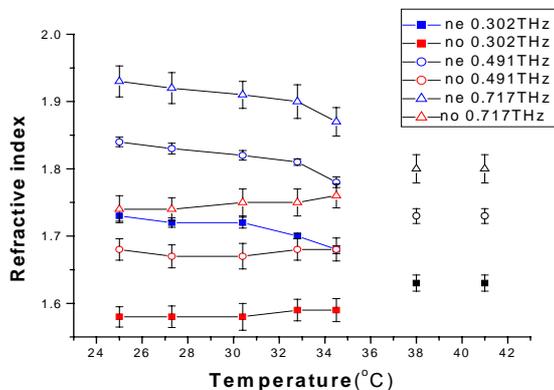


圖 8 不同溫度下，5CB 液晶在 0.302THz、0.491THz、0.717THz 下折射率與溫度的關係圖

變溫實驗結果顯示，液晶在頻率 0.302THz、0.491THz 與 0.717THz 下， n_e 與 n_o 對溫度的關係如圖 8 所示。結果顯示， n_e 會隨溫度升高而降低， n_o 會隨溫度升高而升高。液晶的雙折射會隨溫度升高而降低，如圖 9 所示

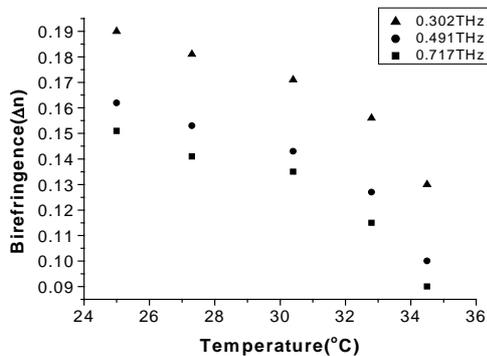


圖 9 不同溫度下，5CB 液晶在 0.302THz、0.491THz、0.717THz 下雙折射對溫度的關係圖

五、結論

我們利用次毫米波時析光譜技術量測到 5CB 的液晶材料在遠紅外波段的光學特

性，頻率從 0.2THz 到 0.8THz 範圍。5CB 液晶在 0.2THz 到 0.8THz 範圍折射率 n_e 從 1.6 變化到約 1.9；折射率 n_o 從 1.55 變化到約 1.7，且 n_e 大於 n_o 。5CB 的雙折射光性(n) 高達~0.18-0.20。另外，我們也對 5CB 液晶做變溫的實驗，其結果顯示折射率對溫度的變化在可見光與近紅外波段的特性一致。從此結果我們可以預期，當 THz 波在 5CB 液晶元件裡走的路徑達數個釐米時，我們將可利用液晶元件來當作 THz 波的調制器。

六、參考文獻

1. M. C. Nuss and J. Orenstein, "Terahertz Time-Domain Spectroscopy", in *Millimeter and submillimeter wave spectroscopy of solids*, edited by G. Gruner, Springer, Berlin 1998.
2. P. Y. Han and X.-C. Zhang, "Time-Domain Spectroscopy Targets the Far-Infrared", *Laser Focus World* October, 117, 2000.
3. P. G. de Gennes and J. Prost: *The Physics of Liquid Crystals*, Oxford Press, London, 1993.
4. L. Duvillaret, F. Garet, and J. Coutaz, *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* 2, 739, 1996.