

最近の技術から

液晶偏光干渉計を用いた分光画像計測

伊 東 一 良

大阪大学工学部応用物理学科 〒565 吹田市山田丘 2-1

1. はじめに

最近、液晶ディスプレイが実用化され、ワープロや携帯用パソコンなどに大量に使用されている。また、液晶を用いたさまざまなタイプの空間光変調素子も実用化されつつある。これらは、液晶の光学的な性質をフルに利用したかなり高級な素子である。しかし、液晶の光学的な応用には、初歩的なものを含めて、まだ多くの可能性¹⁻³⁾が残されているように思われる。本稿では、ホモジニアス配向されたネマティック液晶と CCD イメージセンサーを用いて 2 次元フーリエ分光器アレーを構成し、分光画像を効率よく計測する方法⁴⁾について紹介する。

2. 原 理

図 1 に、装置全体の概略を示す。物体 (O) を出た光は、レンズ (L) と液晶セル (LC) を通過した後、イメージセンサー (S) 上に結像される。この画像を、液晶への印加電圧を画像 1 枚ごとに変化させながら取り込んでいく。次に、この液晶セルの構造と分光画像の再生原理を説明する。液晶セルは、偏光子 (P)、ネマティック液晶層 (L)、検光子 (N) から構成されている。液晶層は透明電極付きのガラス板に挟まれており、厚さは比較的厚く、液晶分子はホモジニアス配向されている。偏光子と検光子の角度は、おのおの液晶分子の配向方向と 45 度の角度をなし、互いに直角になるようにセットされている。液晶への印加電圧は V であるものとし、簡単のために 2 次元物体を仮定する。物体上の点 (x, y) から発せられる光に注目しよう。偏光子を通過し直線偏光となった入射光は、液晶中で等振幅の常光と異常光とに分かれて伝播する。液晶層通過後のこれらの光の間の位相差を ϕ とすると、検光子を通過後の光強度は、

$$I(V) = \int g_{x,y}(k) (1 - \cos \phi) dk \quad (1)$$

に比例する。ここで、 $g_{x,y}(k)$ は物体上の点 (x, y) からやってくる光のパワースペクトル分布、 k は波数であ

る。位相差 ϕ は印加電圧 V の関数であり、

$$\phi(V) = \Delta n k d f(V) \quad (2)$$

で与えられる。ここで、 Δn は印加電圧が 0 V のときの垂直入射光に対する液晶の複屈折 (常光と異常光との屈折率差)、 d はセルの厚さ、 $f(V)$ は複屈折の印加電圧依存性を最大値が 1 になるように規格化した関数である。

図 2 に $\phi(V)$ の測定例を示す。立上りの部分はほぼ線形であるが、その後強い非線形性を示しているのがわかる。この関数 $f(V)$ は適当な方法で測定が可能であるから、既知であるものとし、 $V = f^{-1}(V_c)$ のように変数変換を行うと、 ϕ を V_c に対して線形的に変化させることができる。このとき、光強度は

$$I(f^{-1}(V_c)) = \int g_{x,y}(k) (1 - \cos(\Delta n k d V_c)) dk \quad (3)$$

で与えられるので、これを V_c について逆余弦変換すれば、 $g_{x,y}(k)$ を得ることができる。以上が、液晶偏光干渉計を用いたフーリエ分光法の原理である。

図 1 中のイメージセンサーからは、物体上の各点での干渉信号が得られるので、上で述べた原理に基づくデータ処理を物体上の各点ごとに行えば、分光画像が得られる。本方式は、機械的な走査を必要とせず、また原理的にフーリエ分光法と同様のメリットをもっているため、効率のよい分光画像計測法となる可能性をもっている。

3. 実験結果と今後の課題

図 3 に陶器の人形の分光画像の測定例⁵⁾を示す。分光画像 (3 次元) の各波長ごとの断面 (空間分布) が示されている。波長は各断面中の小さな数値 (nm 単位) で示されている。画面サイズは 64×64 点、スペクトルのチャンネル数は 64 である ($k = 0 \sim 31, 600 \text{ cm}^{-1}$ の区間を 64 等分)。用いた液晶層の厚さは約 $50 \mu\text{m}$ 、スペクトル分解能は 633 nm 付近で約 19 nm である。図 3 には、適当な間隔で選び出された断面が示されている。

紙面の制約で触れなかったが、液晶の複屈折による位相差は光の入射角度に強く依存する⁵⁾。コントラストのよい干渉信号を得るには、図 1 中の瞳面におかれた絞

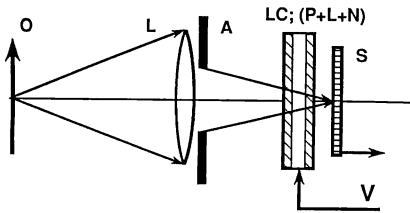


図1 装置全体の概略

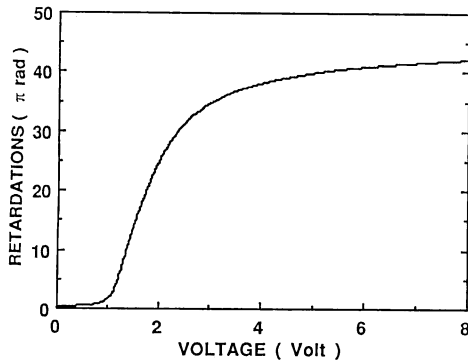


図2 液晶層による位相差の印加電圧依存性

(A)を液晶分子の配向方向に狭くして、この入射角に制限を加えるか、液晶セルの厚さを薄くする必要がある。液晶セルの厚さはスペクトル分解能に比例するので、スペクトル分解能が高くかつ明るい光学系を実現するには、さらにもう一工夫する必要がある。平行度の十分高い液晶セルの製作が可能であれば、液晶干渉計を瞳面に挿入する方式をとることができる。この方式では、干渉信号のコントラストの低下はなく、像面上の各点ごとに入射角度の補正を行うので、瞳の大きさに対する制限はなくなる。

液晶の時間応答の遅さも実用上の大きな問題である。特に本方式の場合、液晶セルの厚さが厚くなるため、ただでさえ遅い応答速度が非常に遅くなる。1)高温で動作させる、2)セルを多層化する、3)応答の早い材料を探す。などの方法を検討中である。

分光画像を計測するための手軽な方法として本方式が広く利用されるためにも、以上の課題が克服されること

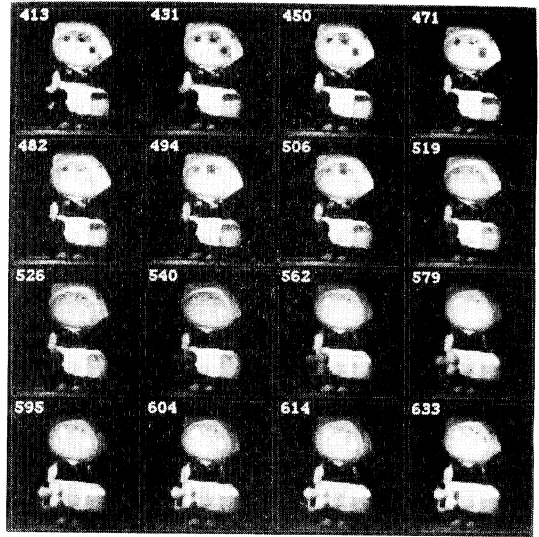


図3 人形の分光画像。各波長ごとのパワー密度の空間分布が示されている。各分布中の小さな数値は波長 (nm 単位) を意味する。

を望んでいる。

最後に、実験に用いた液晶セルの便宜を図っていただいたシャープ(株)の船田文明氏、日頃からご指導いただいている本学の一岡芳樹教授、ともに実験や議論をしている本学の井上卓助手、大学院学生の太田隆志君に感謝します。

文 献

- 1) S. T. Wu: "Design of a liquid crystal based tunable electrooptic filter," *Appl. Opt.*, **28** (1989) 48-52.
- 2) S. T. Wu, U. Erfron and L. D. Hess: "Birefringence measurements of liquid crystals," *Appl. Opt.*, **23** (1984) 3911-3915.
- 3) S. Sato, A. Sugiyama and R. Sato: "Variable-focus liquid-crystal Fresnel lens," *Jpn. J. Appl. Phys., Part 2*, **24** (1985) L626-L628.
- 4) K. Itoh, T. Inoue, T. Ohta and Y. Ichioka; "Liquid-crystal imaging Fourier-Spectrometer array," *Opt. Lett.*, **15** (1990) 652-654.
- 5) 伊東一良, 井上 卓, 太田隆志, 一岡芳樹: 第51回応用物理学学会学術講演会予稿集 (1990) p. 810.

(1990年12月27日受理)