

コレステリックら旋ピッチの増減を利用した 液晶カラー表示素子

三池 秀敏*・蛭名 良雄*

Color Display Device with Field-Controllable Helical Pitch in Cholesteric Liquid Crystal

Hidetoshi MIIKE and Yoshio EBINA

Abstract

A new liquid crystal two-color display device is presented. The device is based on a wave-length dependence of optical rotation angle in the nematic (MBBA) and cholesteric (CN) mixture. The change of the color utilizes discrete increment or decrement of the cholesteric helical pitch under the field. Obtained two-color display has such practically favorable features as remarkably shorter rise-and-recovery time (≤ 30 msec.).

§1. はじめに

液晶による表示素子は、省電力、低電圧動作等の利点から広く実用に供されるようになった。近年、表示情報量の拡大、視認性の向上をめざした液晶表示素子のカラー化の努力が盛んに行なわれている。

液晶によるカラー表示は、大きく分けて、二つの有力な方法が知られている。一つは、電圧の印加による液晶分子の配列変化に伴う複屈折率の変化を利用したもの¹⁾ (electrically controlled birefringence = ECB方式)である。最近、松本ら²⁾によるハイブリッド型素子の提案や、下村ら³⁾によるプレティルトを持つ液晶セルの電気光学特性の報告など、精力的に改良が試みられている。電界により多色の表示カラーが制御出来ること、低電圧駆動(数 Volt)であること、色が鮮明であることなど多くの利点を持つ一方、視角が狭いこと、温度の影響を受け易いこと、応答特性が悪いこと、製作技術の困難なこと等多くの問題点⁴⁾をかかえている。

一方、内田ら⁵⁾により提案されているコレステリック・ネマチック相転移型セルは、電界印加に伴い、コ

レステリック液晶特有の旋光分散による着色状態からネマチック液晶の無着色状態へと相転移することを利用したものである。この場合、垂直配向(homeotropic alignment)させた正の誘電異方性を持つ液晶が用いられており、表示色は単色であるが、ECB方式に比べると、視角が広く、セル厚のムラ、温度の影響が小さいという特徴を持つ。最近、閾値電圧 10V以下、応答時間 500msec 以内であざやかな表示カラーを現出するら旋ピッチとセル厚の関係が明らかにされている。

一方、著者ら^{7,8,9,10,11)}は、すでに負の誘電異方性を持つネマチック液晶 MBBA に少量のコレステリック液晶 CN を加えた混合液晶を水平配向(homogeneous alignment)させた、コレステリック・プレーナー構造の不安定性に関する報告を行なっている。すなわち、低周波交流電界の印加により、プレーナー構造のら旋ピッチ P と、セル厚 d の比 (d/P) は、離散的に変化し、これは、Helfrich 効果(電気流体力学的不安定性)による対流発生と、 (λ^-, λ^+) ディスクリネーション・ペアの形成として理解された。ここでは、そのようなら旋ピッチの増減により、コレステリック液晶の旋光分散特性を変化させ、表示特性、応答特性の良い(30msec 以内)、新たな二色カラー表示素子を実現し

* 電気工学科

たので報告する。

§2. 実 験

2.1 試 料

試料は市販のネマチック液晶 *p*-methoxybenzylidene *p*-*n* butylaniline (MBBA) に、コレステリック液晶 cholesteryl nonanoate (CN) を適当量 (数wt%) 混合したものを用いた。混合液晶は、真空中で一度等方性液体とし、十分脱水 (ガスぬき) した後、透明ガラス電極 (SnO₂ コート) からなるサンドイッチセル⁷⁾ に封入される。セル表面は、水平配向を実現する為、ラビング処理が施されている。セル厚は、今回 9μm に限定し、スペーサにはマイラ・フィルムを用いた。

2.2 測定及び装置

カラー表示は、コレステリック液晶に特有の旋光分散特性を利用したものであり、二つの偏光板の間に液晶セルをはさむと透過光が着色する。ここでは、まず CN 濃度をパラメータとした旋光分散特性と、透過光スペクトルの測定をデジタル・スペクトロメータ (M-6C, HIRAMA Lab.) を用いて行ない、鮮やかなカラーの出現する条件を考察した。次に、交流電界下での挙動を、偏光顕微鏡 (Nikon MD-2) で観察し、応答回復特性は、フォト・トランジスタ (PHT) をセンサーとして用い、透過光量の変化を、デジタル・メモリ (DM-305) を通して、ペンレコーダあるいは、オシロスコープ上に描かせて測定した。実験は主として室温で行なわれ、必要に応じて ±0.05°C の温度制御を実行している。

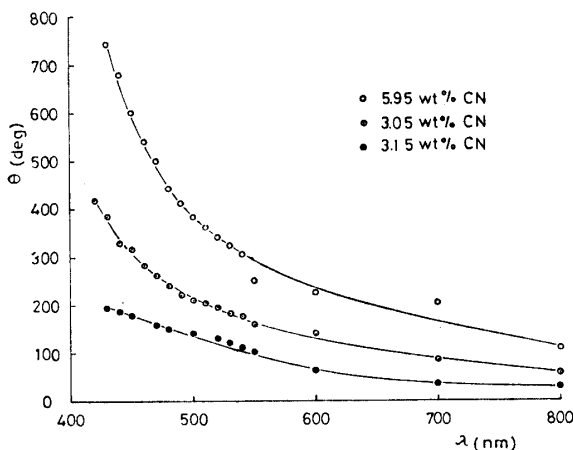


Fig. 1 Wave-length (λ) dependence of rotation angle (θ) in MBBA-CN mixture.

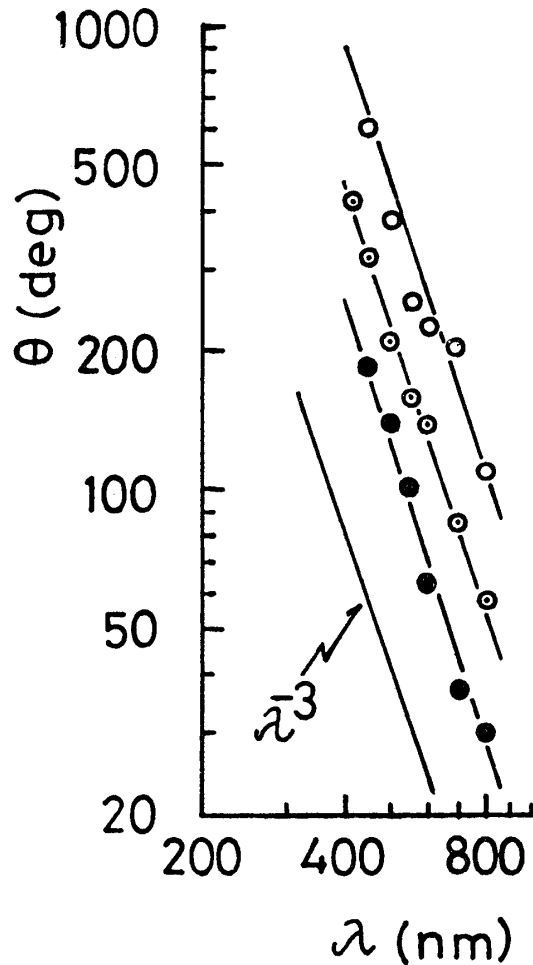


Fig. 2 Log-log plot of λ - θ relation.

§3. 結果及び考察

3.1 旋光分散特性とカラーの純度

Fig. 1. に、3.05 wt%, 3.15 wt% および 5.95 wt% の混合液晶セルの旋光分散特性を、又 Fig. 2. にはその対数プロットを示している。いずれの試料の場合も旋光分散は、およそ λ^{-3} の波長依存性を示している。このことは、従来知られていた de Vries^{12,13)} による比旋光度 ρ の表式

$$\rho = -2\pi P \cdot \frac{(\Delta n)^2}{8\lambda^2} \quad [\text{rad/mm}] \quad (1)$$

と明らかに異なる。(ここで、 P はコレステリックのら旋光ピッチ、 λ は光の波長、及び Δn は屈折率の異方性をあらわしている。) もともと (1) 式は、 P のある範囲 ($\lambda \ll P < 5\mu\text{m}$) においてのみ妥当な式であるが、我々の実験結果とは大きく異なり、表示カラーを鮮かにする条件を求める上でも、理論の再検討が望まれる。一方、三種の混合液晶のうち、最も鮮やかなカラー表示が

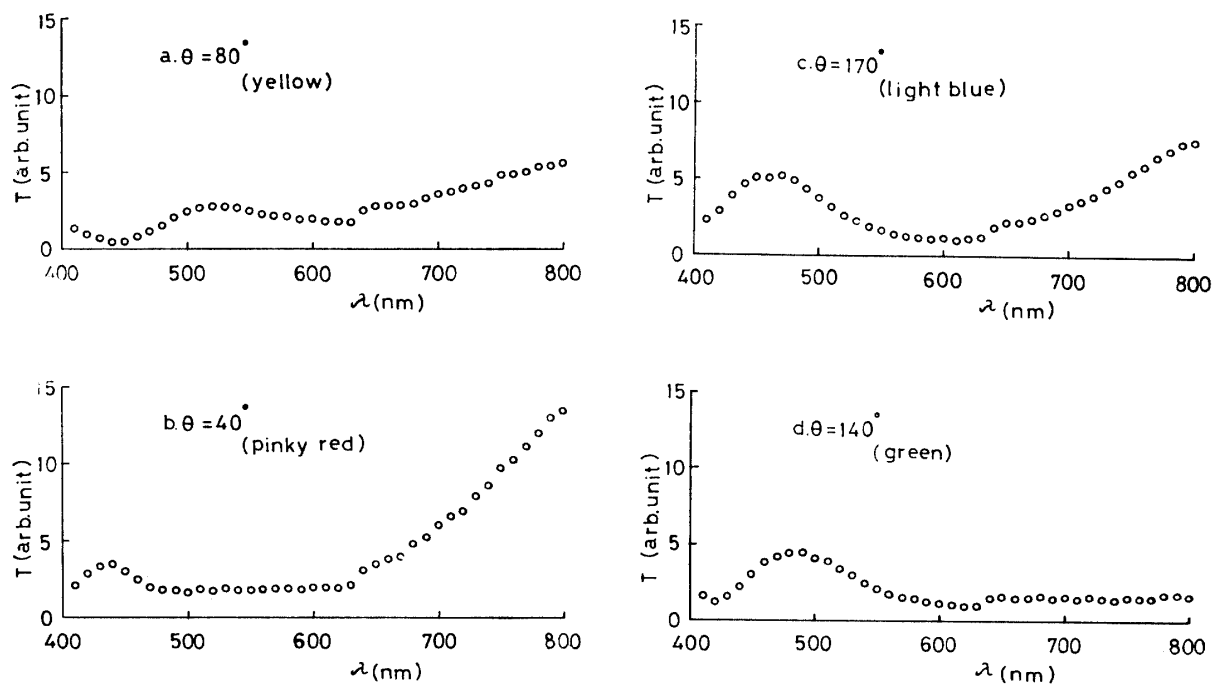


Fig. 3 Transmission (T) characteristics of 3.15 wt% CN cell.

得られたのは、3.15wt%の試料である。表示色は、二枚の偏光子の相互角が40°の場合赤色、80°で黄色、140°で緑、及び180°で水色であった。各々の透過光スペクトル特性を Fig.3 に示しているが、表示色との一致は良い。他の濃度のセル下では、主としてピンクと緑の二色のみで、他の色調は得られなかった。これは Fig. 1 の旋光分散特性とも一致し、可視光の範囲で180°の旋光分散に近い特性を持つセルが最も鮮か

な表示色を示すことがわかる。

3.2 交流電界による色相制御

3.2.a 交流電界下でのパターン

交流電界下でのプレナー構造の不安定性に関しては、前回⁹⁾ 詳しく報告しているが、セル厚 9μm、濃度 3.15 wt% CN についての結果を Fig. 4 に示す。電極間にわたるコレステリックのツイスト数 (d/P) が2以上

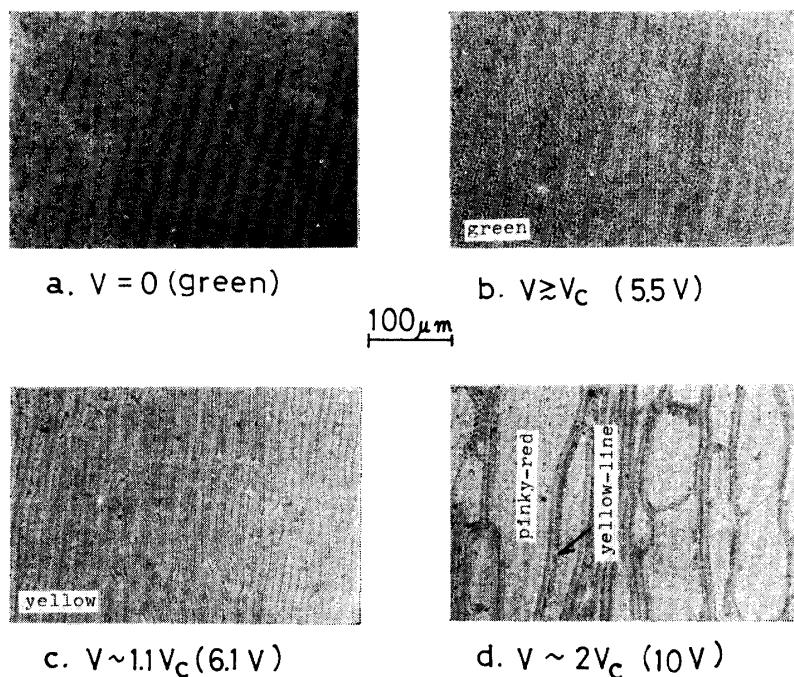


Fig. 4 Field-induced flow pattern in 3.15wt% CN cell.

の今の場合、閾値電圧 (V_c) 付近で出現するパターンは格子状 (Fig. 4b) であり、ここまでは色相の変化は見られない。このパターンの出現は、電気流体力学的不安定性に基づくものである。電圧増加に伴い、約 $1.1 V_c$ で (λ^-, λ^+) のディスクレーションが発生し、パターンは格子状からストライプ状 (Fig. 4c) となり、色相の変化が生じ始める。さらに電圧が増加し、約 $2V_c$ で d/P 値が +1 増加した領域が広がり、(Fig. 4d) 最初 (0V) の色相 (4a 緑色) と補色関係に近い色相 (赤色) が出現する。

このように、 d/P 値の増加に伴い、色相の変化が生じ、電界による色相の制御 (二色表示) が可能である。以下電圧 0V の a 状態と電圧約 $2V_c$ の d 状態の切り変えに伴う二色表示の動特性に着目し話を進める。

3.2.b 旋光分散特性の電圧変化

Fig. 5 に 3.15 wt% CN の別のサンプルについての旋光分散特性の電圧変化を示している。電圧印加 (80 Hz 10V, $V_c=5.5V$) により、旋光角は、ほぼ全波長領域で減少しており、 d/P の +1 の増加、すなわち、ピッチの減少に伴い比旋光度の低下が見られる。この場合、表示色は二枚の偏光子の相互角に依存するが、緑色から赤色、あるいは赤色から緑色へと変化する。図中、相互角を 100° とした時に、約 626nm (赤色) から約 530nm (緑色) へ切り変わる様子を矢印で示している。

一方、電圧 0V の状態で、約 460nm 以下で旋光分

散特性には、奇妙な振舞いが見られる。このような振舞いは、他のサンプルの場合でも二・三例見受けられ、又逆に電圧印加時に見られることもある。現在のところ理由は明らかではないが、考えられる一つの理由として、 d/P の値が離散的¹⁴⁾ (0.5 毎) に変化する為、コレステリック液晶が自然に持っているピッチと一致しない場合、らせん構造に歪を生じていることが挙げられる。このような特性は、表示カラーを鮮かにする立場 (旋光角と波長の一対一の対応) からは好ましいものではなく、今後原因を明らかにしてゆく必要がある。

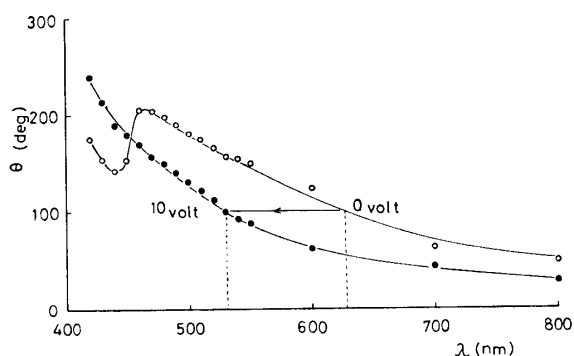


Fig. 5 Change of the wavelength (λ) dependence of rotation angle (θ) under the field (80 Hz, 10Volt).

3.2.c 応答・回復特性

3.2.b で用いたサンプルについて、電圧 (80Hz 10V) の印加、消去に伴うパターンの変化、及びフォト・トランジスタを用いた透過光量 (T) の時間変化を、それ

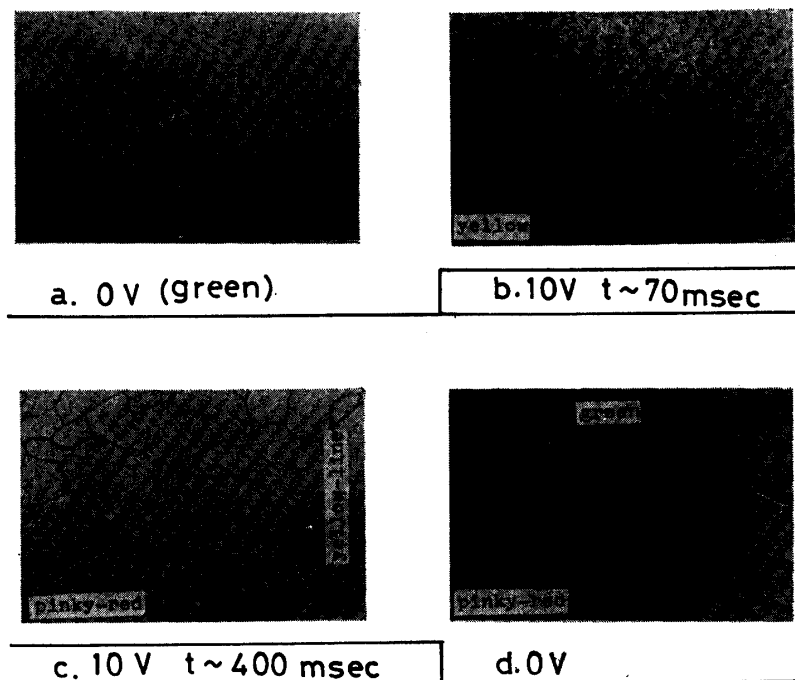


Fig. 6 Dynamic behavior of the pattern in 3.15wt% CN cell under the field (80Hz, 10Volt).

ぞれ Fig. 6, Fig. 7 に示す。この場合、電圧印加前 (Fig. 6a) は緑色となるよう偏光子の角度が調整されており、印加直後、乱流状のパターン (Fig. 6b) を示し、透過光は大きく減少している。この状態で、色相は黄色に変化している。ここまでの立ち上がりは 100 msec 以内である。時間の経過に伴い、約 400msec 後に、パターンは完全に分離し、 d/P の増加した c の状態となり、色相は赤色を呈する。パターンの分離につれて透過光の漸時的な回復が見られる。 d の状態は電界消去直後で d/P の少ない領域が急速に広がっている。この時、ディスクリネーションの二重ラインが観測され、 d/P 値に $+1$ のとびがあることを確認させる。約 200msec 後には完全に元の状態へ復帰している。二色カラー表示としては、 a 状態 (緑色) から b 状態 (黄色) への立ち上がり、及び c 状態 (赤色) から d 状態 (緑色) への回復を利用することが出来よう。今応答時間 (τ_{rise}), 回復時間 (τ_{rec}) を透過光量がそれぞれの状態までの 63% ($1-1/e$) 変化する時間として定義する。Fig. 8 は、 τ_{rise} 及び τ_{rec} の電圧依存性を示したもので、今回実験した中で最も特性の良い例である。低電圧側で τ_{rise} が急速に増大しているのは、電気流体力学的不安定性を生ずる閾値電圧 ($V_c \approx 5.5V$) に近づく為であり、又 8V 以上で τ_{rec} が増大するのは、ディスクリネーションの発生に伴いその消滅に時間を要する為である。立ち上がり、回復ともに、30msec 以内 (10V 付近) という優れた特性を持った二色カラー表示素子を実現することが出来る。

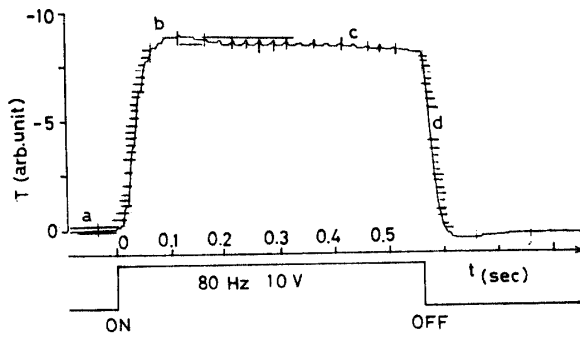


Fig. 7 Time variation of transmittance (T) as a response characteristics of 3.15wt% CN cell.

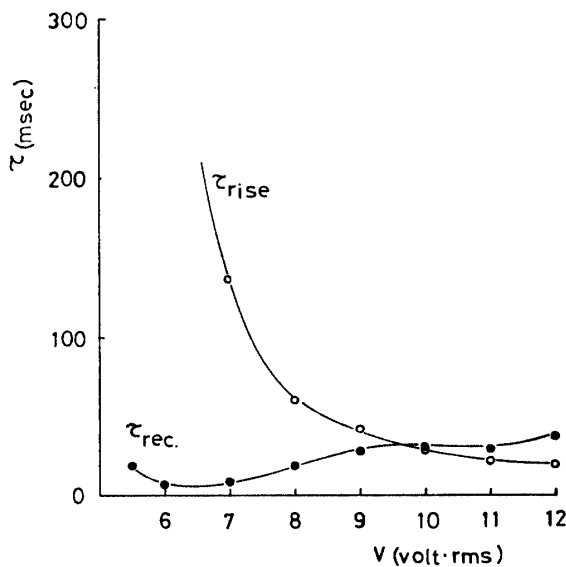


Fig. 8 Field dependence of the rise-time (τ_{rise}) and recovery-time (τ_{rec}).

態 (緑色) への回復を利用することが出来よう。今応答時間 (τ_{rise}), 回復時間 (τ_{rec}) を透過光量がそれぞれの状態までの 63% ($1-1/e$) 変化する時間として定義する。Fig. 8 は、 τ_{rise} 及び τ_{rec} の電圧依存性を示したもので、今回実験した中で最も特性の良い例である。低電圧側で τ_{rise} が急速に増大しているのは、電気流体力学的不安定性を生ずる閾値電圧 ($V_c \approx 5.5V$) に近づく為であり、又 8V 以上で τ_{rec} が増大するのは、ディスクリネーションの発生に伴いその消滅に時間を要する為である。立ち上がり、回復ともに、30msec 以内 (10V 付近) という優れた特性を持った二色カラー表示素子を実現することが出来る。

§4. おわりに

負の誘電異方性を持ち、水平配向させたコレステリック液晶の旋光分散特性と電気流体力学的不安定性 (電界による d/P の制御) を利用して、応答、回復特性のすぐれた二色カラー表示が可能であることを明らかにした。二色ながら、カラーの純度は旋光分散特性を調整することにより、かなり高めることが可能であり、応答、回復時間も色相の変化という立場からは、約 30msec 以内に行うことが出来、視角が広い等の特徴も合わせて非常に有力なカラー表示素子といえよう。

今後、望ましい旋光分散特性が安定に得られる条件、液晶材料による特性の違い、及び温度依存性等について検討し、明らかにしてゆく予定である。

謝辞 実験にあたって、装置製作、データ整理等の手助けをいただいた。谷戸宗吉技官、および卒研生の山田健仁、井上隆両君に謝意を表する。

参考文献

- 1) M.F. Schiekkel and K. Fahrenshon; Appl. Phys. Lett., **19**, 391 (1971)
- 2) 松本正一, 河元正博, 水野谷清: 応用物理, **45**, 853(1976), 電子材料研究会資料 EFM-78-5 p1
- 3) T. Shimomura, H. Mada and S. Kobayashi; Japan J. Appl. Phys. **16**, 1431(1977), 下村輝夫, 間多均, 小林駿介: 応用物理, **45**, 1179(1977)
- 4) 和田正信・内田龍男: 応用物理, **45**, 1153(1976)
- 5) T. Uchida, C. Shishido and M. Wada; Mol. Cryst. Liq. Cryst., **39**, 127(1977)
- 6) 内田龍男, 三村芳人, 和田正信: 信学論 (C) **61-C**, 3, p.171 ('78-3)
- 7) H. Miike, T. Kohno, K. Koga and Y. Ebina; J. Phys. Soc. Japan **43**, 727(1977)
- 8) 河野辰彦, 三池秀敏, 古賀和利, 児玉洋二, 蛭名良雄: 山口大学工学部研究報告, **28**, 73(1977)
- 9) 河野辰彦, 三池秀敏, 古賀和利, 蛭名良雄: 山口大学工

- 学部研究報告, 28, 211(1978)
- 10) T. Kohno, H. Miike and Y. Ebina; J. Phys. Soc. Japan, 44, 1678(1978)
- 11) H. Miike, T. Okazaki, T. Kohno and Y. Ebina; J. Phys. Soc. Japan, 45, 1174(1978)
- 12) Hl. de Vries; Acta Cryst. 4, 219(1951)
- 13) 松村清利, 岩柳茂夫: 応用物理 43, 126(1974)
- 14) S.V. Belyaev and L.M. Blinov; Sov. Phys-JETP, 43, 96(1976)

(昭和53年10月14日受理)