

実験の手順

- ・コノスコープを通る光で複屈折性を検証します。
- ・ポッケルスセルによる偏光面変化と電場強度依存性を検証します。
- ・ポッケルスセルの半波長電圧 U_{π} を測定します。

応用実験

目的

コノスコープを通る光路で生じるポッケルス効果を検証すること。

まとめ

ポッケルス効果はある種の材料に電場を印加すると、入射した光が互いに直交する方向に偏光した2つのビームに分離されるという電気光学効果です。複屈折性を生じるこの現象は、光の伝播と偏光の方向によって光の屈折率が異なるという性質に由来します。

本実験ではコノスコープ内の光路に配置した LiNbO_3 を使い、ポッケルス効果による屈折率の変化が印加する電場の強さに比例する事を確かめます。この互いに直交した方向に偏向したビームによる干渉パターンは二組の双曲線になります。またそれらによって、複屈折の光学軸が直接確認できます。

必要機器

品番	品名	数量
U8557250	ポッケルスセル	1
U10300	光学台、1000mm・D型	1
U103111	光学キャリア・D型、幅5cm、軸さや高9cm	3
U103161	光学キャリア・D型、幅3.6cm、軸さや高9cm	2
U21840	He-Ne レーザー	1
W30614	アクロマート対物レンズ・10倍	1
U22017	偏光フィルター	1
U17101	凸レンズ、焦点距離+50mm、絞り50mm	1
U17130	投影スクリーン	1
U8498294-JP	5kV高圧直流電源装置（PSE取得済）	1
U13812	プラグ付き安全リード線・75cm・2本セット	1

- 仕様は予告なく変更されることがあります。
- 品番・製品名をクリックすると製品仕様ページ（外部サイト）が開きます。

基本原理

ポッケルス効果はある種の物質に電場を印加すると、物質に入射した光が互いに直交する方向に偏光した2つの光線に分離されるというものです。こうした性質は複屈折性といい、光の伝播と偏光の方向によって光の屈折率が異なるという性質に起因します。ポッケルス効果は実験で検証するように電場Eに比例（電場強度の一次に比例）し、一次の電気光学効果とも呼ばれます。

光学的異方性を持つ物質中では、その対称性に従って光の偏光方向により進行速度が異なります。そのため、偏光方向により屈折率が異なります。この性質を複屈折性と呼びます。

本実験では複屈折性を示す光学軸方向にそって結晶全体に均一な電場が印加されるように、結晶はポッケルスセル内で横向きに配置されています（図1参照）。結晶中で光線は電場と垂直に進行し、複屈折性の光学軸方向に沿った通常光線と直交する異常光線に分離します。LiNbO₃の複屈折率をHe-Neレーザー（λ = 632.8 nm）で測定すると、通常光線の屈折率は $n_o = 2.29$ であり異常光線の屈折率は $n_e = 2.20$ となります。このため通常光線と異常光線の光路差Δは以下の式で与えられます。

$$(1) \quad \Delta = d \cdot (n_o - n_e)$$

dは入射光に沿った結晶の厚さで、本実験では $d = 20 \text{ mm}$ です。

また屈折率の電場依存性から光路差Δは次のようにも表せます。（詳細は別紙参照のこと）

$$\begin{aligned} \Delta &= \Delta_{\text{initial}} + \Delta_{EF} \\ &= \Delta_{\text{initial}} + k \cdot E \cdot d \\ &= \Delta_{\text{initial}} + k \cdot \frac{U}{L} \cdot d \end{aligned}$$

ここで Δ_{initial} : 電場が無いときの光路差, Δ_{EF} : 電場に依存した光路差, L: 電極間距離（結晶の厚さ）, k: 電場依存の比例係数, です。

本実験では直線偏光した発散光がポッケルスセルに入射し、アナライザを通った光がスクリーンに映されます。スクリーンの干渉パターンから複屈折の光学軸は、光学軸の持つ対称性により、背景ノイズと明確に識別できます。

本実験のポッケルスセルは複屈折の光学軸が結晶への入射面と出射面に平行であるために、スクリーンには互いに90°の角度を持つ2組の双曲線の干渉パターンが生じます。双曲線の第一組の対称軸は複屈折の光学軸と平行であり、第二組の対称軸は複屈折の光学軸に直交します。

結晶中の通常光線と異常光線の光路差が光の波長の整数倍の場合、双曲線の暗いバンドになります。これらの光線は結晶を通過する際に元の直線偏光性を保つために、アナライザでブロックされるためです。

(1)式から本実験のポッケルスセルの光路差Δは、He-Neレーザー波長の約2800倍に相当します。加工精度の問題から光路差Δは正確に波長λの整数倍にはならず、 $\Delta_m = m \cdot \lambda$ と $\Delta_{m+1} = (m+1) \cdot \lambda$ の間になります。

双曲線の第一組の暗線に対する光路差は Δ_{m+1} , Δ_{m+2} , Δ_{m+3} 等となり、双曲線の第二組の暗線に対する光路差は Δ_m , Δ_{m-1} , Δ_{m-2} 等となります（図2参照）。

暗い干渉縞の位置（正確にはその中心）からの距離は、Δと $m \cdot \lambda$ の差に依存します。ポッケルス効果は印加する電圧により屈折率の差 $n_o - n_e$ を変化させます。これは差 $\Delta - m \cdot \lambda$ が変化することであり、暗い干渉縞の位置も変化します。半波長電圧 U_{π} が印加されるとΔは半波長分だけ変化します。この時、暗い干渉縞は明るい干渉縞の位置に移り、その逆も生じます。この過程は電圧が U_{π} だけ増加するたびに繰り返されます。

参考

光源であるHe-Neレーザーは直線偏光ですが、偏光面は実験中に変わることがあります。その為、長時間の観察では干渉パターンが最初の調整から暗くなることがあります。

また光源が直線偏光なので、類書にあるように光源とポッケルスセルの間に偏光板を置く必要はありません。

評価

電圧が U_1 で2つの +1次の暗い干渉縞が中心で接し、電圧 U_2 で中心で互いに接する暗い干渉縞が+2次となった場合、半波長電圧 U_π は次の式で与えられます。

$$(2) \quad U_\pi = \frac{U_1 - U_2}{2}$$

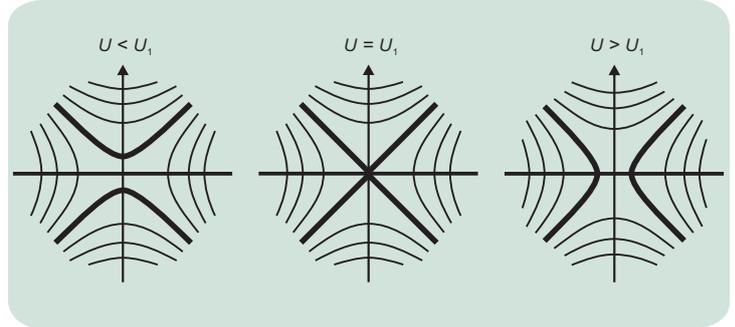


図3：ポッケルス効果による干渉縞の変化
太い線で示した双曲線は、0次の干渉縞を表しています。

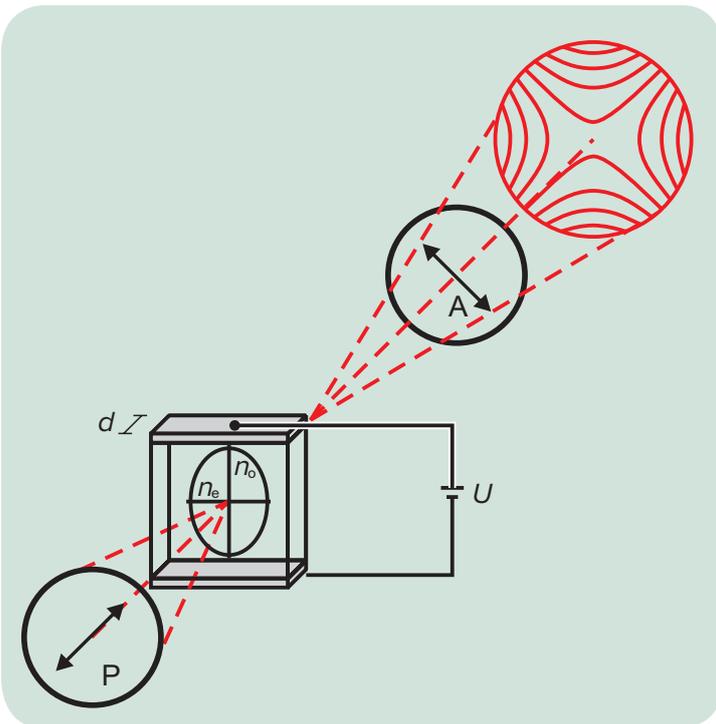


図1：コノスコープの光路でのアナライザとポッケルスセルの概略図

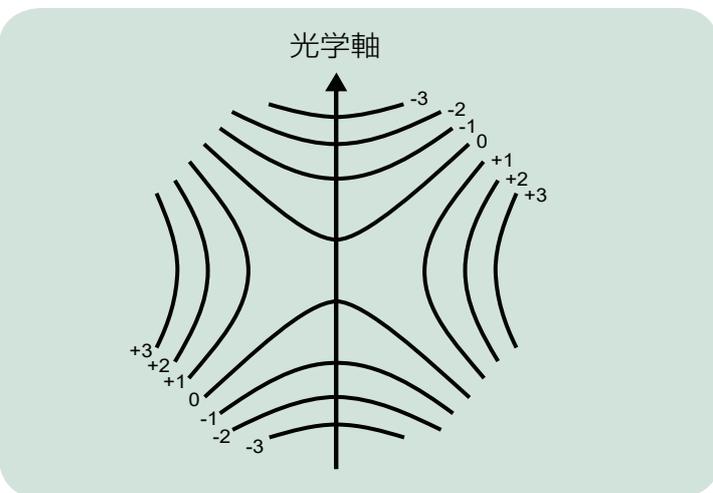


図2：結晶の光学軸が矢印の方向にある場合の干渉縞
干渉縞の暗線次数は、波長単位で数えた通常光線と異常光線との光路差を示しています。