Pockelseffekt

Andrej Golubkov
Georg Meierhofer

Betreuer: Binder Christopher, Dr.
Datum: 10.05.2004

Inhaltsverzeichnis

1 Grundlagen

1.1 Polarisation

Die elektrischen Feldvektoren von Licht sind im allgemeinen Fall irgendwie im Raum ausgerichtet. Mit Polarisatoren kann eine ganz bestimmte Schwingungsrichtung ausgewählt werden, es werden sozusagen nur die Projektionen des Vektors auf die gewählte Ebene transmittiert. Dieses Licht nennt man linear polarisiert.
Durch Überlagerung zweier linear polarisierter Wellen gleicher Kreisfrequenz ω entsteht eine elliptische Polarisation, deren Amplitude sich aus der Vektoraddition der linearen Amplituden ergibt.

$$E_x = E_{0x} \cdot \cos(kz - \omega t)$$
$$E_y = E_{0y} \cdot \cos(kz - \omega t + \Delta\varphi)$$

E_i ... Betrag des elektrischen Feldvektors
E_{0i} ... Betragsamplitude des elektrischen Feldvektors
k ... Wellenzahl
$\Delta\varphi$ ... Phasenverschiebung

Der Winkel α in Abb.1 ergibt sich aus der Phasenverschiebung über

$$\tan 2\alpha = \frac{2E_{0x}E_{0y}\cos\Delta\varphi}{E_{0x}^2 - E_{0y}^2} \tag{1}$$

Im für experimentelle Zwecke bedeutenden Spezialfall $\alpha = 45°$ gilt $E_{0x}^2 = E_{0y}^2$, da der Tangens in Gl. 1 in diesem Fall ∞ ist. Die Halbachsen dieser Ellipse kann man über

$$\frac{b}{a} = \tan\frac{\Delta\varphi}{2} \tag{2}$$

a ... große Halbachse
b ... kleine Halbachse

berechnen. Für einen Phasenunterschied $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$ gilt $a = b$, man spricht von zirkular polarisiertem Licht.

1.2 Doppelbrechung

Unter Doppelbrechung versteht man die Eigenschaft einiger Materialien Licht verschiedener Schwingungsebenen richtungsabhängig zu brechen. Normalerweise breiten sich die Wellenflächen von einem Punkt kugelförmig aus, das gilt bei doppelbrechenden Medien jedoch nur für einen Teil des Lichts, den sog. ordentlichen Strahl. Der andere Teil breitet sich anisotrop (eine Richtung ist ausgezeichnet) aus, er wird außerordentlicher Strahl genannt. Die Wellenfläche des außerordentlichen Strahls ist ein Rotationsellipsoid, dessen

Abbildung 1: Umlauf des elektrischen Feldstärkevektors bei elliptisch polarisiertem Licht

eine Halbachse dem Radius der Kugel des ordentlichen Strahls entspricht. Die Richtung in der dies der Fall ist heißt optische Achse.
Der Vektor des außerordentlichen Strahls schwingt in der Ebene, die durch die Einfallsrichtung und die optische Achse aufgespannt wird (Hauptschnitt), der ordentliche schwingt normal dazu. Geht das Licht nicht genau entlang der optischen Achse, wird es zu einer Aufspaltung der beiden Strahlen nach dem Fermatschen Prinzip (Licht durchläuft den Weg für den es die kürzeste Zeit braucht) kommen.
Grundsätzlich kann man zwischen zwieschen Kristallen unterscheiden:

negativer Kristall: $c_{ao} \geq c_o \quad , n_{ao} \leq n_o$
positiver Kristall: $c_{ao} \leq c_o \quad , n_{ao} \geq n_o$

1.3 Polarisatoren

Die Doppelbrechende Eigenschaft kann auf verschiedene Arten zur polarisierung von Licht verwendet werden. Einige dieser Medien haben die Eigenschaft einen der Teilstrahlen stark zu absorbieren, sodaß nur einer der beiden transmittiert wird. Man kann auch künstliche Materialen dieser Eigenschaft herstellen, indem man erhitzte Kunststoffe dehnt und so die Kristalle ausrichtet. Beim Erkalten bleibt dieser Zustand bestehen, sie bleiben dauerhft

doppelbrechend.
Das Nicol´sche Prisma nutzt aus, daß sich die Brechzahlen von ordentlichem aund außerordentlichem Strahl unterscheiden. Zwei geeignet geschnittene Kalkspatprismen werden mit Kanadabalsam verkittet. Für den ordentlichen Strahl ist der Kanadabalsam ein optisch dünneres Medium und er wird total reflektiert. So bleibt nur der außerordentliche Strahl übrig, der eine lineare Polarisation aufweist.

1.4 $\frac{\lambda}{4}$-Plättchen

In einem doppelbrechendem Medium unterscheiden sich die Brechzahlen für ordentlichen und außerordentlichen Strahl, so daß es neben der Aufspaltung in verschieden Richtungen auch zu einer Verschiebung der Phase kommt. Das $\frac{\lambda}{4}$-Plättchen wird so geschnitten, daß die Phasen um $\frac{\pi}{2}$) verschoben werden, das entspricht einem Gangunterschied von $\frac{\lambda}{4}$.

Je nachdem ob es sich um einen positiven oder negativen Kristall handelt, erfolgt die Verschiebung des außerordentlichen Strahls um $\frac{\lambda}{4}$ nach vorne oder nach hinten.

Elliptisch polarisiertes Licht kann man sich durch Überlagerung zweier orthogonaler Wellen gleicher Frequenz, aber beliebiger Amplitude und beliebigem Phasenunterschied vorstellen. Die Halbachsen stehen dabei jeweils im Winkel von 45° zum Hauptschnitt, was durch die diagonale Polarisatorstellung (s. Abb. 2) erreicht wird. Alternativ kann auch bei beliebiger Amplitude und konstanter Phasendifferenz $\Delta\phi = \frac{\pi}{2}$ gearbeitet werden. Hierbei liegt eine der Halbachsen im Hauptschnitt.
Fällt die optische Achse des $\frac{\lambda}{4}$-Plättchen mit einer Halbachse des elliptisch polarisierten Lichtes zusammen, so kann das Licht als durch ungleiche Amplitude und einer Phasendifferenz von $\Delta\phi = \frac{\pi}{2}$ erzeugt interpretiert werden. Das Plättchen bewirkt nun einen weiteren Phasenverschub um $\frac{\pi}{2}$ und erzeugt so wieder linear polarisiertes Licht. Die Polarisationsebene nimmt einen Winkel α mit der optischen Achse des Plättchens ein.

$$\alpha = arctan(\frac{b}{a}) \tag{3}$$

Aus Gleichnung 2 und 3 folgt:

$$\alpha = \frac{\Delta\varphi}{2} \tag{4}$$

bzw.

$$\Delta\varphi = 2 \cdot arctan(\frac{b}{a}) \tag{5}$$

Das Ergebnis beinhaltet die beiden Spezialfälle $\Delta\phi = 0$ (linear polarisiertes Licht), hier tritt keine Verkippung auf und $\Delta\phi = \frac{\pi}{2}$ (zirkular polarisiertes Licht) wo $\alpha = arctan(1) = \frac{\pi}{4}$ ist.

1.5 Elektrooptischer Effekt

Viele Medien zeigen in einem elektrischen Feld doppelbrechende Eigenschaften. Je nach Abhängigkeit des doppelbrechenden Verhaltens von der elektrischen Feldstärke unterscheidet man den linearen (Pockels-) und quadratischen (Kerr-) Effekt. Von Interesse ist hier nur der Pockelseffekt.

1.5.1 Pockelseffekt

Kristalle bei denen der Pockelseffekt auftritt haben auch ohne Anliegen eines elektrischen Feldes doppelbrechende Eigenschaften. Durch das Feld wird eine zweite optische Achse induziert, die nicht in Richtung des Teldes liegt und das System extrem verkompliziert. Das läßt sich vermeiden, indem man eine der beiden Achsen (in der regel die permanente) parallel zur Einstrahlrichtung legt.
Der Aufbau einer longitudinalen Pockelszelle ist in Abb. 2 dargestellt. Das elektrische Feld verläuft parallel zum Strahl, was eine durchsichtige Ausführung der Elektroden erfordert. Diese Art ist weit häufiger als der transversale Aufbau (änlich der Kerrzelle), da durch die geringe Kapazität viel kürzere Schaltzeiten möglich sind.

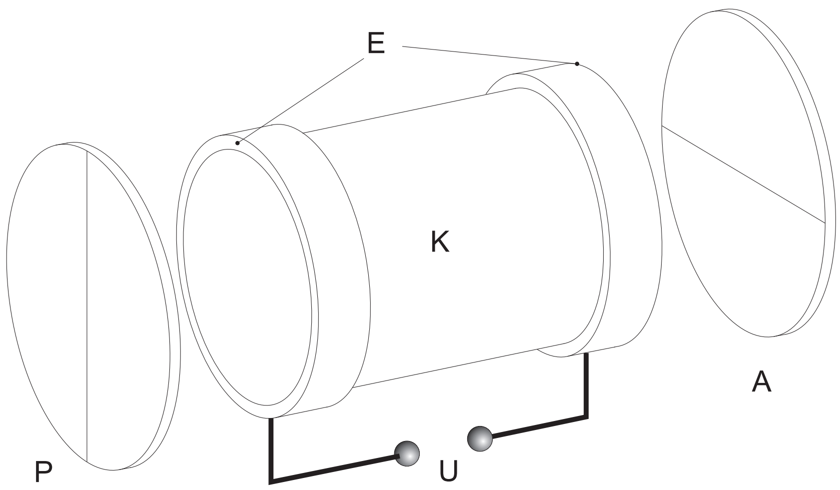

Abbildung 2: Aufbau einer Pockelszelle; E Elektroden, U Spannung, K Kristall (z.B.: KD*P), P Polarisator, A Analysator

Die Linearität der Pockelszelle sieht man an folgender Gleichung:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot n_0^3 \cdot r_{63} \cdot U \qquad (6)$$

$\Delta\varphi$	... Phasenverschiebung der Teilstrahlen
λ_0	... Vakuumwellenlänge des Lichtes
r_{63}	... von λ_0 und dem Material abhängige elektrooptische Konstante
n_o	... Brechungsindex des ordentlichen Strahles

U ... angelegte äußere Spannung

Durch Einführen der Spannung U (E = $\frac{U}{l}$) fällt die Länge des Lichtweges heraus. Es läßt sich für jede Zelle eine Spannung angeben, bei der eine Phasenverschiebung um $\frac{\pi}{2}$ auftritt. Diese Spannung ist die sog. Viertelwellenspannung.