

# Montage- und Messtechnologie für faseroptische polarisationshaltende Komponenten

## Aktive Orientierung und Messung der optischen Eigenschaften von faseroptischen polarisationshaltenden Komponenten

**D**ie Fertigung der faseroptischen polarisationshaltenden Komponenten erfordert die gute Kenntnis des Herstellungsverfahrens, um die spannungslose Positionierung der PM-Faser sowie deren genauen Orientierung zu gewährleisten. Dadurch ist auch die präzise Charakterisierung des Polarisationszustandes des übertragenen Lichtsignals unbedingt notwendig. Zu diesem Zweck wurde die entsprechende Ausrüstung für das Herstellungs- sowie das Messverfahren entwickelt.

### Stand der Technik

Die WDM-Technologie ermöglicht die Übertragung mehrerer Kanäle mit unterschiedlicher Wellenlänge in der gleichen Faser, die Datenübertragungsrate kann entsprechend vervielfacht werden.

Die Transferrate der einzelnen Kanäle wird durch die Erhöhung der Lichtmodulationsrate gesteigert. Dies ist gleichbedeutend mit dem Einsatz von PM-Komponenten (Polarization maintaining), wie zum Beispiel ‚pigtailed‘ Laser, externe Modulatoren, PM-Koppler, PM-Stecker und Multiplexer. Eine große Bedeutung spielen die PM-Komponenten auch in der Sensorik sowie in der Kommunikationstechnologie bei der Satellitenübertragungen.

Die PM-Technologie erfordert die Beherrschung von besonderen Parametern sowohl in

#### Autoren

Dr. Phys. ETH FRANCOIS CALOZ ist seit 1999 tätig als Leiter des Prüf- und Kalibrierlabors der Diamond SA

Dipl. Mech. Ing. ETH PATRICK ROSSINI ist seit 2001 tätig als technischer/wissenschaftlicher Mitarbeiter beim Prüf- und Kalibrierlabor

Diamond Sa Fiber optic components;  
via dei Patrizi 5, CH-6616 Losone  
Fon: +41/91 785 45-45  
Fax: +41/91 785 45-00  
E-Mail: tl@diamond-fo.com

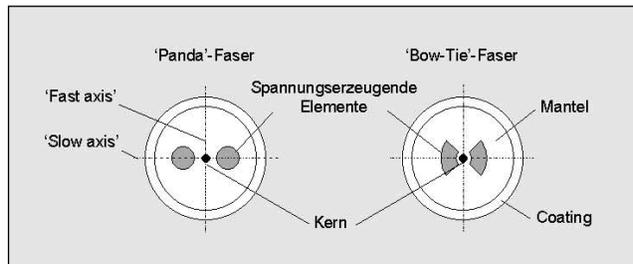


Abb. 1: Beispiele des Querschnitts zwei PM-Faser (‚Panda‘-Faser und ‚Bow-Tie‘-Faser) mit spannungserzeugenden Elementen

der Fertigung der Komponente als auch bei der Messung derer optischen Eigenschaften.

### Physik der PM-Faser

Durch spannungserzeugende Elemente oder andere Asymmetrien im Design der PM-Faser wird eine Doppelbrechung erzeugt. Die Doppelbrechung definiert zwei Hauptachsen in der PM-Faser, nämlich die langsame Achse (slow axis) und die schnelle Achse (fast axis). Abbildung 1 zeigt beispielhaft zwei PM-Fasern mit spannungserzeugenden Elementen im Querschnitt.

Die spannungserzeugenden Elemente bewirken eine sehr kleine aber hinreichende Änderung des Brechungsindexes des Faserkerns in den zwei senkrechten Hauptachsen. Wenn das elektrische Feld des Lichtes in einem dieser Achsen schwingt, wird seine Amplitude entlang der ganzen PM-Faser erhalten, dagegen ist die Phase des elektrischen Felds zwischen den zwei Hauptachsen nicht erhalten und ist von der Faserlänge, von der übertragenen Wellenlänge, von den äußeren mechanischen und thermischen Beanspruchungen der Faser usw. abhängig. Die Polarisationserhaltung ist deswegen nur dann möglich, wenn man linear polarisiertes Licht in einem der zwei Hauptachsen einkoppelt (Eigenpolarisationszustände). Jeder andere Polarisationszustand ist eine Kombination der zwei Eigenpolarisationszustände, deren Phasenunterschied entlang der Faserlänge und dadurch auch der Ausgangspolarisationszustand nicht erhalten werden. Deswegen soll das Lichtsignal parallel zur langsamen Achse oder zur schnellen Achse eingekoppelt wer-

den. Dieser Zustand entspricht dem linear polarisierten Licht.

Die Gewährleistung dieser Funktion wird durch die spannungslose Positionierung und die genaue Orientierung der Hauptachse bzw. der PM-Faser erreicht.

### Orientierung der PM-Faser

Es können zwei Methoden zur Orientierung der PM-Faser eingesetzt werden, nämlich die sogenannte ‚passive‘ und die ‚aktive‘ Orientierung. Die passive Orientierung basiert auf der geometrischen Orientierung der PM-Faserachse mit Hilfe der visuellen Erkennung der Position der spannungserzeugenden Elemente im Faserquerschnitt welche die geometrischen Hauptachsen bestimmen. Die aktive Orientierung dagegen setzt die optische Be-

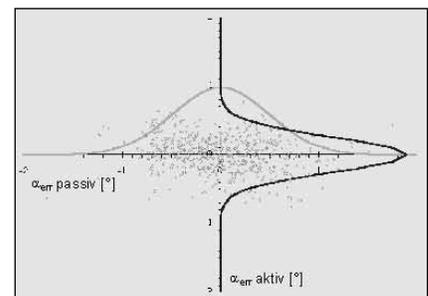
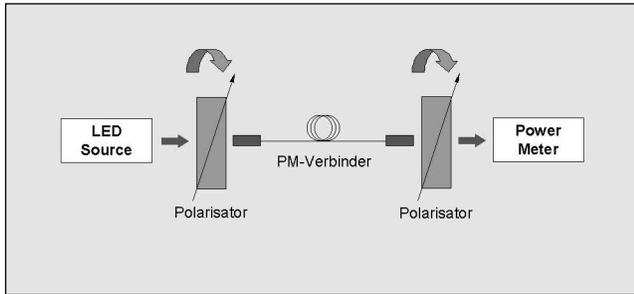
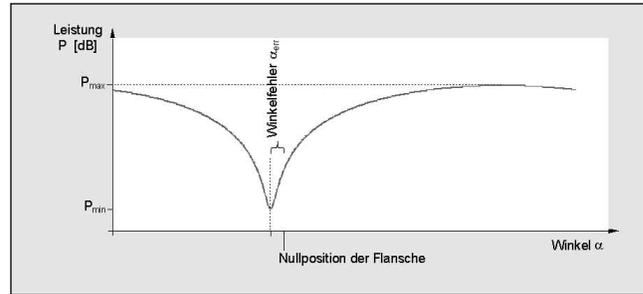


Abb. 2: Messvergleich zwischen der Verteilung des mit der Apparatur für die aktive Orientierung gemessenen Winkelfehlers (bez. der Nullposition der Flansche) und des mit der Apparatur für die passive Orientierung gemessenen Winkelfehlers bei denselben PM-Fasern, welche mit der Methode der aktiven Orientierung orientiert wurden



**Abb. 3:** Schematische Darstellung des Prinzips der Orientierung der PM-Faser bei einem PM-Verbinder durch die Methode der gekreuzten Polarisatoren



**Abb. 4:** Verlauf der Ausgangsleistung P der PM-Faser in Funktion des Winkels  $\alpha$  bezüglich der Hauptachsen bei einer Messung mit der Methode der gekreuzten Polarisatoren. Dargestellt ist auch ein fiktiver Winkelfehler  $\alpha_{err}$  bezogen auf der Nullposition der Flansche

stimmung der Faserachsen durch die Messung des polarisierten Lichtsignals voraus (optische Hauptachsen). Deshalb stimmt die Position der optischen Hauptachsen bei der aktiven Orientierung und der geometrischen Hauptachsen bei der passiven Orientierung nicht immer genau überein. Unterschiede in der Achsenbestimmung zwischen den zwei Methoden sind somit auf leichten Spannungsänderungen in der Faser oder auf externe Spannungsquellen, z.B. Klebstellen, zurückzuführen. Diese Spannungsänderungen wirken sich auf die Richtung der Hauptachsen der PM-Faser aus, sind aber mit einer Mikroskopaufnahme nicht identifizierbar.

In Abbildung 2 sind die Resultate der Messung des Positionsfehlers einer der Hauptachsen der PM-Faser dargestellt. Die PM-Faser wurde mit der Methode der aktiven Orientierung orientiert und anschließend der Positionsfehler d.h. der Winkelfehler der Orientierung sowohl mit der Apparatur für die aktive Orientierung als auch mit der Apparatur für die passive Orientierung gemessen. Der in Abb. 2 gezeigte Messvergleich zeigt, welche Genauigkeit bzw. Repetierbarkeit bei der aktiven Orientierung gegenüber der passiven Orientierung erreicht werden kann.

### Methode der aktiven Orientierung

Die eigene bei Diamond SA entwickelte Technologie zur Herstellung von PM-Steckern ermöglicht eine Genauigkeit in der Konzentrität des Faserkerns wie bei den üblichen Monomod-Anwendungen, darüber hinaus die für PM-Stecker erforderliche Faserorientierung.

Dazu erlaubt das Design der PM-Ferrule eine spannungslose Fixierung der Faser, die Mechanik des PM-Steckers sorgt für die genaue Orientierung der Ferrule im Steckerkörper.

Bei der aktiven Orientierung werden die Hauptachsen der PM-Faser mit der Methode

der gekreuzten Polarisatoren orientiert. Abbildung 3 zeigt eine schematische Darstellung dieses Prinzips. Die Anwendung der Methode der gekreuzten Polarisatoren setzt eine erste passive Vororientierung des PM-Steckers auf der Eingangsseite des Lichtsignals voraus, damit das Licht in die richtige Hauptachse eingekoppelt wird. Dabei ist die Verwendung einer Lichtquelle mit niedriger Kohärenz unabdingbar.

Zuerst wird der Polarisator auf der Eingangsseite bei der minimalen Ausgangsleistung positioniert. Anschließend wird durch eine Rotation von  $180^\circ$  des Polarisators auf der Ausgangsseite die Änderung der Leistung in Abhängigkeit des Kopplungswinkels gemessen und damit der Winkel bei minimaler Ausgangsleistung bestimmt, welcher dem gesuchten Orientierungswinkel entspricht. Der Ausgangspolarisator wird dann in dieser Position gehalten und der Eingangspolarisator wird wiederum um das Minimum der Ausgangsleistung rotiert, um den korrekten Eingangswinkel zu bestimmen.

Das Extinktionsverhältnis ER (Extinction Ratio) ist ein Wert zur Quantifizierung der Eigenschaften von PM-Steckern. Gleichung 1 zeigt, wie ER aus dem Verhältnis der minimalen ( $P_{min}$ ) und der maximalen Ausgangsleistung ( $P_{max}$ ), bei Variation des Ausgangswinkels  $\alpha$  bestimmt werden kann.

$$ER = -10 \log\left(\frac{P_{min}}{P_{max}}\right) \quad (1)$$

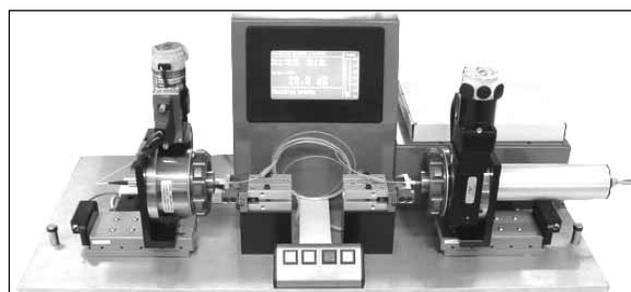
Die Nullposition der zu messenden Komponente bei der Messung des ER-Werts wird mit Hilfe von kalibrierten Flanschen definiert. Der Unterschied zwischen der Nullposition der kalibrierten Flansche und die Lage bei minimaler Leistung ist als Winkelfehler  $\alpha_{err}$  definiert (Abb. 4).

Die praktische Umsetzung dieses Prinzips resultierte in einem Tischgerät bestehend aus LED-Lichtquelle, zwei motorisierten Polarisatoren mit entsprechenden Flanschen für verschiedenen Steckertypen, optischen Messkopf und kompakten Steuerungspult mit Bildschirm (Abb. 5).

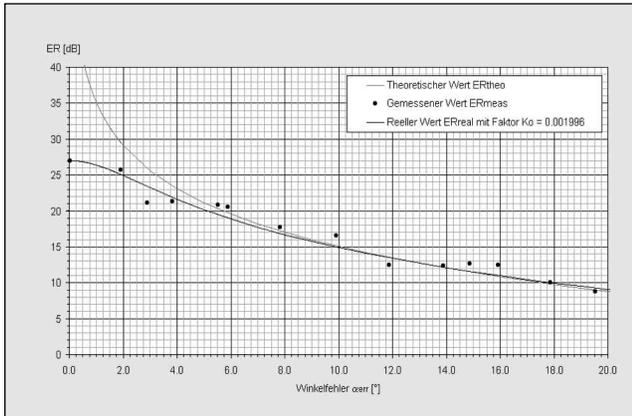
Durch die Anwendung der Methode der gekreuzten Polarisatoren wird in der Praxis eine Genauigkeit in der Orientierung der PM-Faser von  $\pm 0,8^\circ$  erzielt.

### Messbeispiel

Wie beschrieben, bewirkt der bei Kopplung zweier PM-Stecker entstehende Winkelfehler eine Verschlechterung des Extinktionsverhältnisses. Ein Bruchteil des polarisierten Lichtes wird außerhalb der ursprünglichen Hauptachse verlaufen, und dadurch ist die vollständige Lichtpolarisation nicht mehr gewährleistet. Das Extinktionsverhältnis kann somit als Funktion des Kopplungswinkelfehlers dargestellt werden. Je größer der Winkelfehler, desto größer wird der nicht erhaltenen Anteil des polarisierten Lichtes sein und desto kleiner der ER-Wert. Mit Formel Gl. 2 lässt sich



**Abb. 5:** Bei Diamond SA entwickeltes Gerät zur Orientierung der PM-Faser durch die Methode der gekreuzten Polarisatoren



**Abb. 6: Theoretischer Wert  $ER_{theo}$ , gemessener Wert  $ER_{meas}$  und mit Faktor  $K_0$  modellierter Wert  $ER_{real}$  in Funktion des Winkelfehlers  $\alpha_{err}$  bezüglich der Hauptachse eines PM-Steckers**

der theoretische Wert des Extinktionsverhältnisses  $ER_{theo}$  in Funktion des Winkelfehlers  $\alpha_{err}$  bei einer Kopplung zweier PM-Fasern bzw. PM-Stecker bestimmen.

$$ER_{theo} = -10 \log[\tan^2(\alpha_{err})] \quad (2)$$

Bei einem Winkelfehler gleich Null wäre in einer idealen PM-Kopplung ein unendlich großes Extinktionsverhältnis ER zu erwarten. Dies ist aber in der Praxis schwer vorstellbar, da die PM-Faser selbst einen endlichen ER-Wert ausweist. Sämtliche Abweichungen von dem idealen Zustand können bei der Bestimmung des Extinktionsverhältnisses durch ein zusätzliches modellierendes Faktor ausgedrückt werden. Die Formel Gl. 3 ergibt den realen Wert des Extinktionsverhältnisses  $ER_{theo}$  als Funktion des Winkelfehlers  $\alpha_{err}$  bei einer Kopplung zweier PM-Fasern bzw. PM-Stecker an.

$$ER_{theo} = -10 \log[\tan^2(\alpha_{err}) + K_0] \quad (3)$$

Wobei  $K_0$  dem auftretenden modellierenden Faktor entspricht.

Zu diesem Zweck wurden PM-Stecker mit explizit vorgegebenen Winkelfehler hergestellt und mit der Methode der gekreuzten Polarisatoren vermessen. Als Beispiel sind in Abbildung 6 die Verläufe des theoretischen Wertes  $ER_{theo}$ , des gemessenen Wertes  $ER_{meas}$  eines PM-Steckers und des realen, mit dem Faktor  $K_0 = 0,001996$  modellierten Wertes  $ER_{real}$  als Funktion des Winkelfehlers  $\alpha_{err}$  aufgeführt.

Im Beispiel ist der Faktor ( $K_0 = 0,001996$ ) für einem ER-Wert von 27 dB bei einem Winkelfehler von  $\alpha_{err} = 0^\circ$  berechnet worden. In Abbildung 6 ist die Übereinstimmung des gemessenen Wertes  $ER_{meas}$  mit dem Verlauf des modellierten Wertes  $ER_{real}$  sichtbar. Bei der Messung des Extinktionsverhältnisses ER ist mit einer Standardabweichung der

gemessenen ER-Werten von der modellierten Kurve von 1,07 dB zu rechnen, was ein Hinweis auf die mit der Methode der gekreuzten Polarisation erreichbaren Messgenauigkeit entspricht.

### Zusammenfassung

Die vorgestellte Technologie bietet die Möglichkeit der aktiven Orientierung der PM-Hauptachsen, unabhängig von der nicht idealen Spannungsverteilung in der PM-Faser selbst und den äußeren unerwünschten Spannungsquellen.

Der Hauptvorteil der entwickelten Technologie besteht in der Möglichkeit zwei wichtigen Phasen nacheinander durchzuführen, nämlich die Zentrierung des Kerns der PM-Faser in der Ferrule und die Orientierung der optischen Hauptachsen. Die Messung der optischen Eigenschaften von PM-Komponenten mit der Methode der gekreuzten Polarisatoren ist mit einer guten Genauigkeit verbunden.

### Literatur

- [1] Eugene Hecht, „Optics“, 3rd Edition, 1998, Addison Wesley Longman Inc., USA
- [2] Dennis Derickson, 'Fiber optic test and measurement', 1998, Prentice Hall Inc., USA
- [3] Dieter Eberlein, „Lichtwellenleiter-Technik“, 3. Auflage, 2000, Expert-Verlag, Deutschland
- [4] Christian Hentschel, „Fiber optics handbook“, 1989, Hewlett-Packard GmbH, Deutschland

### Beitrag als PDF im Internet:

www.duv24.net  
[more @ click TK4B0602](#) 