Aufbau von faserbasierten Interferometern für die Quantenkryptografie

- Gehäuse, Phasenstabilisierung, Fasereinbau -

Masterarbeit
im Studiengang Elektrotechnik und
Informationstechnik
Vertiefungsrichtung Photonik

an der

FernUniversität in Hagen

in Kooperation mit der

HUMBOLDT-UNIVERSITÄT · ZU BERLIN ·

vorgelegt von

Björnstjerne Zindler

geboren am 13. November 1966 in Görlitz

eingereicht am 21. November 2011

Erstgutachter: Herr Professor Dr. A. Richter
Zweitgutachter: Herr Professor Dr. O. Benson

Meiner Mutter gewidmet
*03. Juli 1940
+22. September 2010

Abschätzung der maximal aufzubringenden Zugkraft beim Bewickeln eines Piezorohres.

- **Basierend auf:**

- „Dämpfung einer Faser infolge Normalspannung."
- „Berechnung der Faserlängenänderung mehrlagiger Systeme."

- **Vorbetrachtungen:**

Eine Faser kann bis zu ihrer zulässigen Bruchspannung beansprucht werden, ohne dass diese reißt.

$$\sigma_V \leq \sigma_B$$

Mit: σ_V = Vorhandene Normalspannung
σ_B = Bruchspannung

Will man erreichen, dass die Faser normalspannungstechnisch ausgenutzt wird, steht eine mechanische Spannung „σ_D" zur Verfügung:

$$\boxed{\sigma_D = \sigma_B - \sigma_V}$$

- **Anwendung:**

Die vorhandene Normalspannung „σ_V" entsteht ursächlich aus der Größenänderung des Piezorohres. Die Längenänderung „ΔL" der Faser ist definiert mit:

$$\Delta L = N \cdot \pi \cdot d_E$$

Mit: N = Windungsanzahl
d_E = maximale radiale Dehnung des Piezorohres

Damit ist die Dehnung feststellbar:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Mit: L_0 = Ausgangslänge der Faser

$$\varepsilon = \frac{N \cdot \pi \cdot d_E}{N \cdot \pi \cdot d_0}$$

⇒

$$\varepsilon = \frac{d_E}{d_0}$$

Mit: d_0 = Ausgangsdurchmesser des Piezorohres

Durch die Kenntnis der Dehnung „ε“ kann „σ_V“ abgeschätzt werden und somit auch „σ_D“:

$$\sigma_V = E_F \cdot \varepsilon = E_F \cdot \frac{d_E}{d_0}$$

⇒

$$\sigma_D = \sigma_B - E_F \cdot \frac{d_E}{d_0}$$

Mit: E_F = Elastizitätsmodul der Faser

Die Spannung „σ_D“ an sich ist uninteressant. Die dadurch maximal wirkende Kraft „F_D“ ist die gesuchte Größe:

$$\frac{F_D}{A_F} = \sigma_B - E_F \cdot \frac{d_E}{d_0}$$

⇒

$$\boxed{F_D = \frac{\pi}{4} \cdot d_F^2 \cdot \left(\sigma_B - E_F \cdot \frac{d_E}{d_0} \right)}$$

Mit: A_F = Faserfläche
d_F = Faserdurchmesser

- **Beispiel:**

Gegeben sei ein Fasersystem mit folgenden Werten:

d_F = $125 \cdot 10^{-6}$ m
σ_B = min $0{,}1 \cdot 10^{+9}$ N/m^2 (theoretisch $16 \cdot 10^{+9}$)
E_F = $73 \cdot 10^{+9}$ N/m^2
d_E = $8 \cdot 10^{-6}$ m
d_0 = $74 \cdot 10^{-3}$ m

$$F_D = \frac{\pi}{4} \cdot \left(125 \cdot 10^{-6}\right)^2 \cdot \left(0{,}1 \cdot 10^{+9} - 73 \cdot 10^{+9} \cdot \frac{8 \cdot 10^{-6}}{74 \cdot 10^{-3}} \right)$$

⇒

$$F_D = \frac{\pi}{4} \cdot 15{,}625 \cdot 10^{-9} \cdot \left(0{,}1 \cdot 10^{+9} - 7{,}892 \cdot 10^{+6}\right)$$

$\Rightarrow$

$$F_D = \frac{\pi}{4} \cdot 15{,}625 \cdot 10^{-9} \cdot 92{,}108 \cdot 10^{+6}$$

$\Rightarrow$

$$F_D = 1{,}1N$$

$\Rightarrow$

$$\boxed{F_D \approx 0}$$

- **Zusammenfassung:**

Die aufzuwendende Kraft beim Bewickeln des Piezorings sollte gering gehalten werden, da die Bruchspannung von Glas schon durch die spätere Kontraktion des Piezorings während des Betriebs erreicht wird.

Die Schwankung der angegebenen Bruchspannung von minimalen 0,1 bis theoretischen 16 GPa ist der Empfindlichkeit des Glases auf Oberflächenspannungsrisse geschuldet. Da beim Bewickeln des Piezorohrs davon ausgegangen werden muss, dass solche Risse entstehen werden, wird hier vom Minimalwert ausgegangen.

- **Nachtrag:**

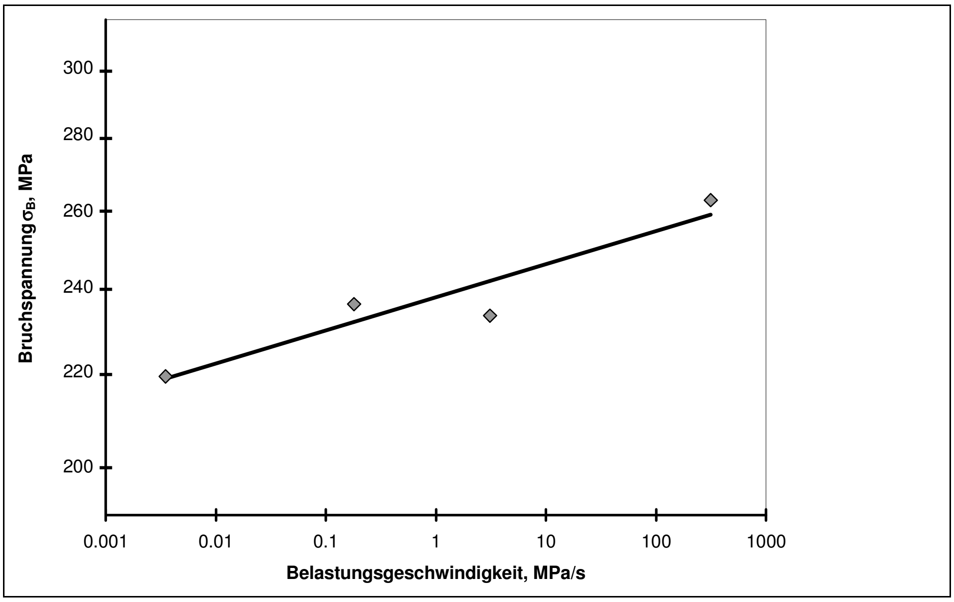

Abbildung 1: Abb.I.3.7: Bruchspannungen von Al_2O_3 im Biegeversuch (Quelle: Brückner- Foit „Keramik_Temperatur_Zeit“, Fa. GHK).

Für Korund liegt die Bruchspannung mit gleichbleibender Belastung bei etwa 0,21 GPa. Für Glas lag eine äquivalente Tabelle nicht vor.