

Untersuchung der Messgenauigkeit eines modengekoppelten Lasers im externen Resonator als Abstandssensor für raue Oberflächen

Jasper Möbius*, Karsten Moldenhauer*, Thorsten Pfister*, Jürgen Czarske*, Wolfgang Ertmer*, Thomas Müller-Wirts**

*Laser Zentrum Hannover e.V. Hannover

**TEM-Messtechnik GmbH, Hannover

<mailto:cz@lzh.de>

Ein Laserabstandssensor für die industrielle Fertigungsmesstechnik und Prozesskontrolle wird durch Strommodulation synchron zum Longitudinalmodenabstand einer Laserdiode im externen Resonator realisiert. Im Vergleich zu nichtresonanten Messverfahren wird eine höhere Messauflösung erzielt. Der Einfluss der Laserdiode als aktives Element in der Messstrecke auf das Messergebnis wird untersucht.

1 Einführung

Die präzise Messung von Abständen ist eine bedeutende Aufgabe in der modernen Produktionstechnologie.

Konventionelle Lasermessverfahren [1] nutzen Messeffekte außerhalb der Lichtquelle. Im Folgenden wird ein Messverfahren vorgestellt, das durch Einbeziehung der Messoberfläche in die Erzeugung des Laserlichtes die gesuchte Abstandsinformation dem Laserlicht direkt aufgeprägt. Hierdurch wird eine erhöhte Messauflösung im Vergleich zu passiven Verfahren erreicht.

2 Messprinzip

Die Funktionsweise des Sensors [2] ist in Abbildung 1 dargestellt.

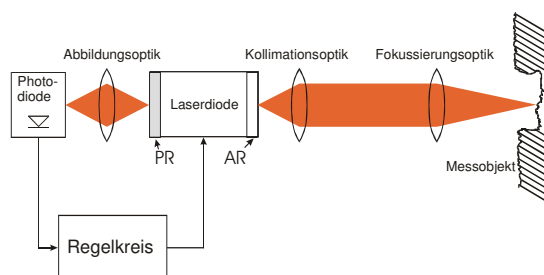


Abb. 1 Schematischer Aufbau des Abstandssensors.

Die teilreflektierende (PR) Facette einer einseitig antireflexbeschichteten (AR) Laserdiode bildet zusammen mit dem Messobjekt einen externen Fabry-Perot-Laserresonator. Streuverluste am Messobjekt werden durch die hohe Verstärkung der Laserdiode ausgeglichen, so dass sich ein stationärer Laserbetrieb einstellt. Ein elektrischer Regelkreis auf Basis eines Phasenregelkreises (Phase Locked Loop, PLL) moduliert den Laserdiodenstrom synchron zum Longitudinalmodenab-

stand Δf , der über die Gleichung $\Delta f = c / (2nL)$ in eindeutiger Beziehung zur Resonatorlänge L steht (c : Vakuumlichtgeschwindigkeit, n : mittlerer Brechungsindex im Resonator). Durch die resonante Modulation werden die Longitudinalmoden gekoppelt, so dass eine Emission kurzer Laserpulse erfolgt. Hierdurch lässt sich eine erhöhte Messauflösung im Vergleich zu nichtresonanten Messverfahren erreichen.

3 Messauflösung

Der optische Resonator kann als Übertragungssystem aufgefasst werden. Der Modulationsstrom der Laserdiode bildet das Eingangssignal, während die emittierte Lichtleistung das Ausgangssignal darstellt. Abbildung 2 zeigt den gemessenen Phasengang eines solchen Resonators unter Verwendung unterschiedlicher Messobjekte als externe Resonatorspiegel.

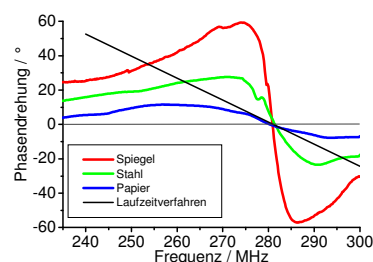


Abb. 2 Phasengang des optischen Resonators für unterschiedliche Endspiegel. Zum Vergleich die Phasenverschiebung bei Messung mit Laufzeitverfahren.

Deutlich ist das resonante Durchschwingen der Phase durch 0° im Bereich der Resonanzfrequenz Δf zu erkennen. Die PLL verwendet die gemessene Phase als Regelkriterium, um auf Δf einzuregeln. Die Steigung des Phasenganges im Bereich der Resonanzfrequenz ist daher zusammen mit

der Phasenaufösung ein Maß für die erreichbare Messauflösung. Sie ist abhängig von den Reflexionseigenschaften des Messobjekts, d.h. von der Finesse des optischen Resonators. Für gut reflektierende Objekte (Spiegel, Stahl) ist sie bis zu zwei Größenordnungen höher als bei einem phasenauwertenden Laufzeitverfahren, das mit einer vergleichbaren Frequenz betrieben wird (schwarze Linie in Abb. 2).

4 Systematische Messabweichung

Der Vorteil der erhöhten Messauflösung wird allerdings dadurch erkauft, dass die Laserdiode als aktives Element in der Messstrecke einen systematischen Messfehler verursachen kann. Dieser hängt von äußeren Parametern wie rückgekoppelte Lichtleistung, Laserdiodengleichstrom und Temperatur ab (Abb. 3) und kann mehrere Prozent des Messergebnisses betragen.

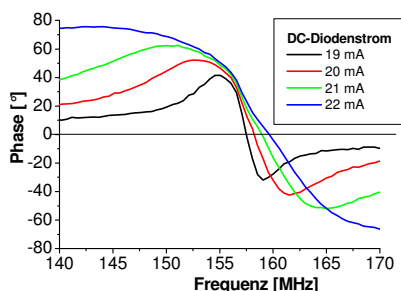


Abb. 3 Phasengang der Übertragungsfunktion des optischen Resonators für unterschiedliche Diodengleichströme. Die Verschiebung des Phasennulldurchgangs bewirkt einen systematischen Messfehler.

5 Fehlerkorrektur

Der systematische Messfehler lässt sich durch die folgenden Ansätze um mehrere Größenordnungen verringern:

Optimierung der Laserdiodeigenschaften: Durch die numerische Lösung der Laserdiodengleichungen lässt sich das Übertragungsverhalten des optischen Resonators bestimmen. Die Eigenschaften der Laserdiode können derart optimiert werden, dass der systematische Messfehler auf ein Minimum reduziert wird.

Zustandsschätzung / Kalibration: Neben der Messung der Resonanzfrequenz werden noch weitere kritische Parameter wie der Laserdiodengleichstrom, die resonatorinterne Lichtleistung oder die Temperatur präzise erfasst. Eine rechnerische Korrektur des Messergebnisses erfolgt anhand von bekannten Abhängigkeiten des Messfehlers von diesen Parametern. Diese Abhängigkeiten lassen sich zuvor mit einer Kalibrationsmessung feststellen.

Automatische Verstärkungsregelung (AGC):

Die Lichtleistung im optischen Resonator wird gemessen und der Laserdiodengleichstrom derart nachgeregelt, dass die Leistung konstant bleibt. Durch diese Art der AGC wurde eine Verringerung des systematischen Messfehlers um bis zu zwei Größenordnungen erreicht (Abb. 4).

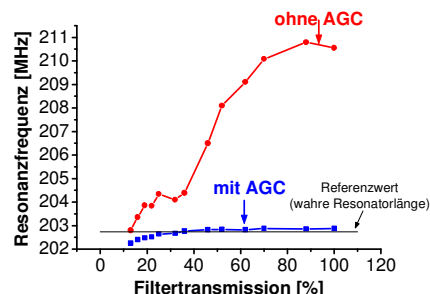


Abb. 4 Resonanzfrequenz variabel bedämpfter Resonatoren mit und ohne Verwendung eines AGC.

Nichtharmonische Strommodulation: Die Ladungsträgerdynamik der Halbleiterlaserdiode führt zu Relaxationsoszillationen der emittierten Lichtleistung. Sie sind die Ursache für einen erheblichen Anteil des systematischen Messfehlers. Durch pulsformige Modulation des Pumpstromes lassen sie sich unterdrücken, so dass der Messfehler um mehrere Größenordnungen verringert werden kann.

6 Zusammenfassung

Durch ein resonant betriebenes aktives Messverfahren wird ein Laserabstandssensor mit hoher Messauflösung realisiert. Der systematische Messfehler lässt sich durch geeignete Korrektur- und Kalibrationsverfahren um mehrere Größenordnungen verringern. Mögliche Anwendungsgebiete des Sensors sind: Onlineüberwachung bei Dreh-, Fräs- oder Schleifprozessen und die Prozesskontrolle in Lasermaterialbearbeitungsanlagen. Die Vorteile sind: absolute Positionsmessung von rauen Oberflächen, hohe Messauflösung, hohe Messgeschwindigkeit, preiswerter Aufbau.

7 Danksagung

Die vorgestellten Arbeiten werden im Rahmen des Projektes 13N8316 vom BMBF gefördert.

Literatur

[1] H. K. Tönshoff, I. Inasaki (Ed.), *Sensors in Manufacturing*, Wiley-VCH, Weinheim (2001)
 [2] J. Möbius, J.Czarske et. al., "MoLECL-Mode Locking External Cavity Laser Sensor, ein innovatives Messverfahren für die hochauflösende Metrologie" in *Photonik* 6:58-61 (2003)