

Kurzfassung

Forschungsvorhaben:

Entwicklung eines transparenten Quantumwell-Fotosensors für ein Stehende-Wellen-Interferometer

Laserinterferometrische Messverfahren für die Messgröße Länge stellen in den Bereichen der Fertigungstechnik eine unentbehrliche Grundlage für Forschung und Qualitätssicherung dar. Wichtige Einsatzgebiete sind die Bereiche der Halbleitertechnik und Feinmechanik/Optik, deren Produkterneuerungsprozesse in den nächsten Jahren durch den Einfluss der Mikro- und Nanotechnologien charakterisiert sein werden. Daraus ergeben sich für die Interferometrie neue Anforderungen hinsichtlich der Integration interferometrischer Messverfahren in technologische Prozesse (In-Prozess-Messung) sowie der Integration in fertige Produkte. Damit ist die laserinterferometrische Messtechnik selbst mit der Aufgabe konfrontiert, Messverfahren und –anordnungen in mikromechanischer Konfiguration zu entwickeln.

Die gegenwärtigen Laserinterferometer basieren auf dem Michelson-Konzept (Bild 1). Ein Laserstrahl wird in einem Stahlteiler in Mess- und Referenzstrahlen geteilt.

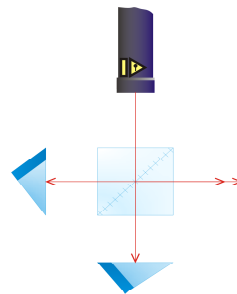


Bild 1: Michelson-Interferometer

Nach Durchlaufen unterschiedlicher Wegstrecken werden die Strahlen in **gleicher** Ausbreitungsrichtung wiedervereinigt. Die geometrischen Abmessungen dieser Interferometer sind relativ groß und die Baugruppen können nur mit optischen Präzisionstechnologien hergestellt werden.

Das Stehende-Wellen-Interferometer ist ein neues interferometrisches Konzept (Bild 2). Ein Laserstrahl trifft auf einen Spiegel und wird in sich selbst reflektiert.

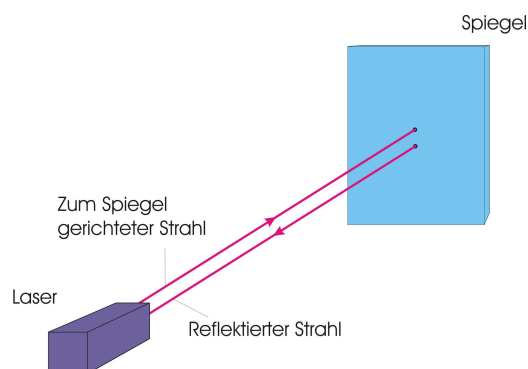


Bild 2: Prinzip des Stehende-Wellen-Interferometers

Der reflektierte Strahl überlagert sich (interferiert) mit dem zum Spiegel gerichteten Strahl in **entgegengesetzter** Ausbreitungsrichtung. Im Ergebnis der Interferenz entsteht das Interferenzmuster der stehenden Welle im Raum vor dem Spiegel (Bild 3).

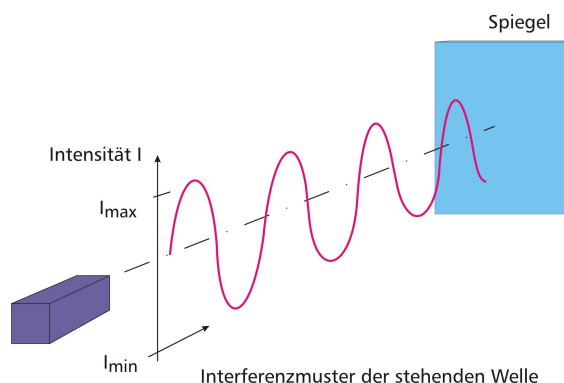


Bild 3: Die Intensität der stehenden Welle vor dem Spiegel

Die Strahlungsintensitäten beider Strahlen bilden ein sinusförmiges Intensitätsmuster, das durch Interferenzmaxima und –minima charakterisiert ist. Der Raum vor dem Spiegel ist in helle Ebenen (Intensitätsmaxima) und dunkle Ebenen (Intensitätsminima) geteilt. Dieses Intensitätsmuster ist mit dem Spiegel fest verkoppelt. Verschiebt man den Spiegel in Strahlrichtung, dann schiebt bzw. zieht der Spiegel die stehende Welle mit sich.

Befindet sich eine transparente Ebene E ortsfest in der stehenden Welle (Bild 4), dann wandern die Intensitätsmaxima und –minima durch die Ebene hindurch, wenn der Spiegel in

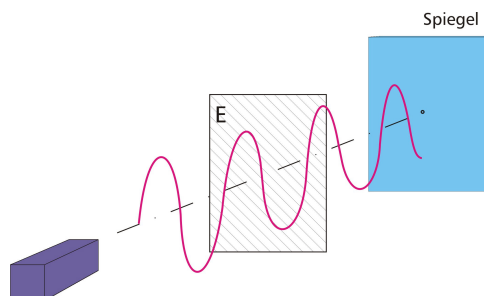


Bild 4: Transparente Ebenen E in der stehenden Welle

Strahlrichtung verschoben wird. Derselbe Vorgang findet statt, wenn die Ebene bei feststehendem Spiegel verschoben wird. Verleiht man der Ebene die Eigenschaft **fotolektrisch**, dann registriert bzw. zählt die Ebene die Anzahl der durch sie hindurchwandernden Intensitätsmaxima und -minima. Die Länge einer Intensitätsperiode, d. h. der Abstand von einem Intensitätsmaximum bis zum nächsten Intensitätsmaximum, ist exakt eine halbe Wellenlänge der Laserstrahlung $\lambda/2 = 316 \text{ nm}$. Da die Wellenlänge der Laserstrahlung sehr genau bekannt ist, können auf dieser Grundlage sehr präzise Längenmessungen durchgeführt werden. Durch Interpolation einer Periode in kleinere Weginkremente können auch wesentlich kleiner Spiegelverschiebungen bis zu $0,3 \text{ nm}$ aufgelöst werden.

Für technische Anwendungen ist es sehr wichtig, die Bewegungsrichtung des Spiegels nach rechts oder links unterscheiden zu können (Vorwärts-Rückwärts-Zählverfahren). Dafür

werden zwei Fotosensoren benötigt, die im Abstand von einer Viertel Intensitätsperiode zueinander angeordnet werden müssen.

Die transparenten Fotosensoren werden mit modernsten Halbleitertechnologien hergestellt. Eine geeignete Konzeption sind auf AlGa_N/Ga_N basierende Quantumwell-Strukturen. Der wesentliche Vorteil dieser Strukturen gegenüber anderen Lösungen besteht in der geringen Schichtdicke der fotoaktiven Schicht, die eine sehr gute Übertragung des Intensitätsprofils der stehenden Welle in den Fotostrom ermöglicht. Bild 4 demonstriert die Wirkungsweise der Fotosensoren anhand des Energieschemas des Leitungsbandes.

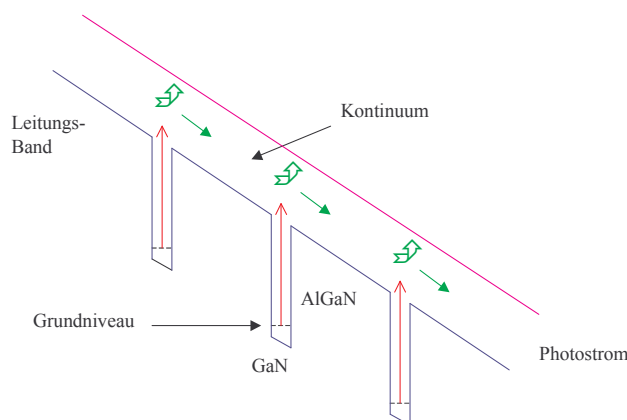


Bild 4: Banddiagramm einer QWIP-Struktur bei angelegter externer Spannung

Das einwirkende Licht stimuliert Elektronenübergänge aus dem Grundniveau des Ga_N-Quantentopfes in das Kontinuum des AlGa_N-Leitungsbandes. Diese Ladungsträger realisieren bei angelegter externer Spannung den intensitätsabhängigen Fotostrom.

Zur Realisierung des Vorwärts-Rückwärts-Zählverfahrens werden auf einem transparenten Substrat zwei transparente AlGa_N/Ga_N-Fotosensoren in einem einheitlichen technologischen Prozess hergestellt. Die Fotosensoren werden in Lichtrichtung gesehen in einem Abstand von einer Viertel Intensitätsperiode angeordnet (Bild 5).

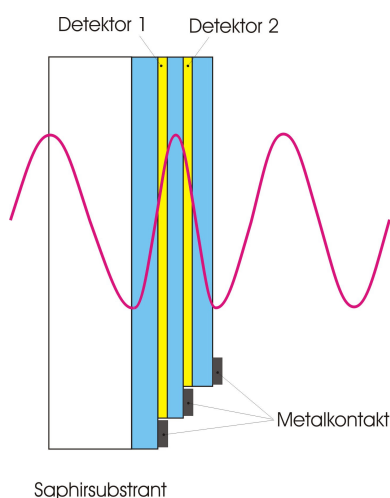


Abb. 5: Schematischer Aufbau des integrierten Photodetektors

Die stehende Welle breitet sich durch die Fotosensoren hindurch aus und existiert in der Schichtstruktur der Fotosensoren. Dadurch werden bei Bewegung des Messspiegels zwei

phasenverschobene Signale erzeugt. Die Fotosensoren sind gegeneinander isoliert und lateral kontaktiert. Die Dicke der Isolationsschicht bestimmt die Phasenlage der fotoelektrischen Signale. Ideal ist eine Phasendifferenz von 90 Grad (sin/cos-Signale).

Das Forschungsvorhaben repräsentiert einen hohen Innovationsgrad, da die optische stehende Welle bisher noch nicht für wissenschaftlich-technische Anwendungen genutzt wurde. Das Prinzip, interferometrische Messungen in einer optischen stehenden Welle durchzuführen, ermöglicht ein völlig neues Interferometerkonzept, aus dem heraus sich neue wesentliche und weitreichende Eigenschaften für die Interferometrie ergeben.

1. Die räumlichen Abmessungen des Stehende-Wellen-Sensors sind in Richtung lateral zum Laserstrahl gesehen auf die Abmessungen des die stehende Welle erzeugenden Laserstrahls reduziert, d. h. auf einen Durchmesser von ca. 3 mm.
2. Die Herstellung des fotoelektrischen Sensors basiert auf modernsten Halbleitertechnologien und ist damit zukunftsorientiert und für die Massenproduktion in großen Stückzahlen geeignet. Es wird lediglich eine ebene Substratplatte benötigt, auf der die Abscheidung der Halbleiterlayer erfolgt.
3. Mit diesen Technologien können Arrays von Stehende-Wellen-Sensoren hergestellt werden, indem Sensoren matrixartig nebeneinander abgeschieden werden. Damit können Messaufgaben an einer Vielzahl von Messpunkten auf engstem Raum gelöst werden, die z. B. bei der Fertigung oder Anwendung von Linsenarrays bzw. in der Mikro- und Nanotechnik entstehen.
4. Das Stehende-Wellen Interferometer ist in dieser Konzeption selbst ein Produkt der Mikro- und Nanotechnologien. Damit ist für die Interferometrie und die Präzisionsmesstechnik der Anschluss an die Mikro und Nanotechnologien vollzogen. Die Durchführung von In-Prozess-Messungen und die Integration interferometrischer Messverfahren in moderne Produkte kann als realistisch eingeschätzt werden.