

1. Einleitung

Die Laser-Strahlstabilisierung *Compact* zeichnet sich durch eine sehr hohe Präzision aus. Laserstrahlen können submikrometergenau stabilisiert werden. Dies gelingt durch die optimale Abstimmung der System-Komponenten aufeinander: Unsere Detektoren erfassen die Strahlposition mit höchster Auflösung. Die ausgefeilte Piezo-Technologie unserer Spiegel-Aktuatoren erlaubt die Kompensation selbst kleinster Abweichungen mit höchster Bandbreite. Der analoge Regelkreis ermöglicht die Echtzeit-Stabilisierung ohne störende Latenzen und Schritte.

2. Detektor-Auflösung

Abbildung 1 zeigt die Auflösung des Standard-4QD-Detektors in Nanometern [nm] bei unterschiedlichen Strahldurchmessern. Die Auflösung ist auch abhängig von der Laserintensität, weshalb diese in der dritten Achse aufgetragen ist. Durch die Auswahl geeigneter Filter und die Einstellung der Verstärkung ist es jedoch immer möglich, im optimalen Intensitätsbereich zu arbeiten (siehe die vordere 6 V-Zeile im Diagramm). Selbst bei relativ großen Strahldurchmessern von 6 mm ist es möglich, submikrometergenau zu detektieren. Bei kleineren Strahldurchmessern ist eine Auflösung von besser als 100 nm möglich.

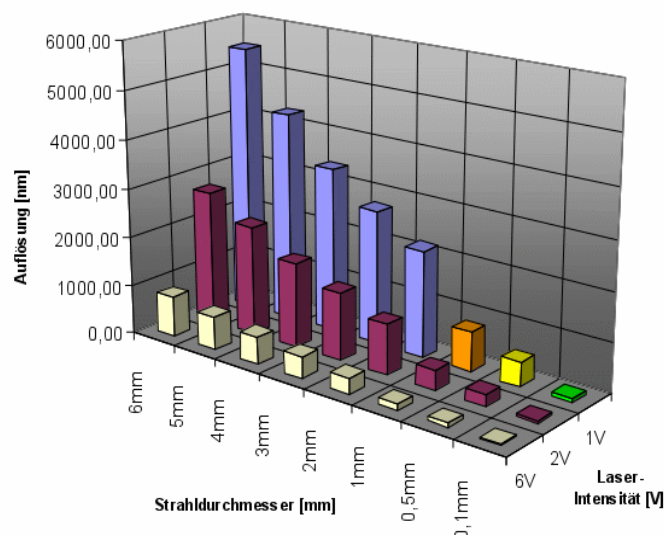


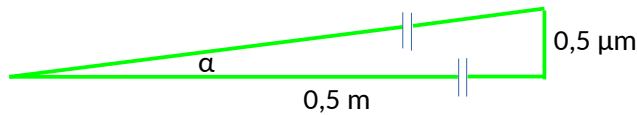
Abbildung 1: Auflösung einer 4-Quadranten-Diode bei verschiedenen Strahldurchmessern und Laserintensitäten

Weil die erreichbare Auflösung in der Praxis auch von stabilen Halterungen abhängt, verwenden wir das Material Invar, das sich durch einen kleinen thermischen Ausdehnungskoeffizienten auszeichnet. Dadurch sind die Detektoren gegen Temperaturschwankungen stabilisiert, so dass die Genauigkeit auch langfristig erhalten bleibt.

3. Winkelauflösung

Die Piezo-Kippspiegel werden über den analogen Regelkreis stufenlos angesteuert. Man kann vereinfachend sagen, dass sich die Winkelauflösung hauptsächlich aus der Messgenauigkeit der Detektoren ergibt. Sie kann somit mit den Werten aus Abbildung 1 und der jeweiligen Strecke zwischen Piezo-Kippspiegel und zugehörigem Detektor im Aufbau ermittelt werden.

Hierzu ein Zahlenbeispiel: Bei einem Strahldurchmesser von 4 mm ergibt sich aus Abbildung 1 eine Detektor-Auflösung von ca. 0,5 µm. Bei einem Abstand von 0,5 m zwischen dem Piezo-Kippspiegel und dem zugehörigen Detektor lässt sich die Winkelgenauigkeit wie folgt ermitteln:



$$\tan \alpha = \frac{0,5 \mu\text{m}}{0,5 \text{ m}} = 1 \cdot 10^{-6}$$

$$\alpha = (0,573 \cdot 10^{-6})^\circ = 0,994 \mu\text{rad}$$

4. Verhältnis der tatsächlichen Position zur gemessenen Spannung

Die Positionssignale der Detektoren werden als Spannungswerte ausgegeben. Sie können sowohl über die analogen Ausgänge am Controller als auch über die Kommunikationsschnittstelle bzw. die Software ausgelesen werden. Zur Ermittlung der tatsächlichen Positionen in Mikrometern können die Spannungswerte umgerechnet werden. Im Folgenden stellen wir die Formeln für die unterschiedlichen Detektortypen vor. Für die Berechnung muss man zunächst den Strahldurchmesser ermitteln, der in die Formeln eingeht. In der Software sind die Formeln hinterlegt, sodass die Positionen dort direkt angezeigt werden können.

4.1. 4-Quadranten-Detektor

Solange sich der Strahl nahe des Zentrums befindet, kann für 4-Quadranten-Detektoren die folgende Näherung verwendet werden. Dabei sind x bzw. y das in Volt gemessene bzw. in µm berechnete Positionssignal, D der Strahldurchmesser (1/e²) und I das gemessene Intensitätssignal.

$$x[\mu\text{m}] = \frac{D[\mu\text{m}]}{\pi} \cdot \frac{x[\text{V}]}{I[\text{V}]}$$

$$y[\mu\text{m}] = \frac{D[\mu\text{m}]}{\pi} \cdot \frac{y[\text{V}]}{I[\text{V}]}$$

Zur genaueren Berechnung oder bei größerem Abstand des Strahls vom Zentrum können komplexere Formeln verwendet werden:

$$x[\mu\text{m}] = \frac{D[\mu\text{m}]}{2 \cdot \sqrt{2}} \cdot \text{erfinv}\left(\frac{x[\text{V}]}{I[\text{V}]}\right)$$

$$y[\mu\text{m}] = \frac{D[\mu\text{m}]}{2 \cdot \sqrt{2}} \cdot \text{erfinv}\left(\frac{y[\text{V}]}{I[\text{V}]}\right)$$

Dabei ist erfinv() die inverse Fehlerfunktion.

4.2. WID-4QD-Detektoren

Für Detektoren mit der WID-Funktionalität (wide intensity) vereinfacht sich die Formel wegen der konstanten Intensität von I = 6,5 V zu

$$x[\mu\text{m}] = \frac{D[\mu\text{m}]}{6,5 \text{ V}} \cdot x[\text{V}]$$

$$y[\mu\text{m}] = \frac{D[\mu\text{m}]}{6,5 \text{ V}} \cdot y[\text{V}]$$

4.3. PSD-Detektoren

Bei den PSD-Detektoren ist das Verhältnis von Spannung zu Position nahezu linear, so dass hier die folgenden Formeln gelten:

$$x[\mu\text{m}] = \frac{x[\text{mV}]}{(1,2 \pm 0,03)}$$

$$y[\mu\text{m}] = \frac{y[\text{mV}]}{(1,2 \pm 0,03)}$$

für die 9x9 mm² großen PSDs
für sichtbares Licht

$$x[\mu m] = \frac{x[mV]}{(2,9 \pm 0,03)}$$

$$y[\mu m] = \frac{y[mV]}{(2,9 \pm 0,03)}$$

für die 4x4 mm² großen
UV-PSDs

$$x[\mu m] = \frac{x[mV]}{(1,1 \pm 0,03)}$$

$$y[\mu m] = \frac{y[mV]}{(1,1 \pm 0,03)}$$

für die 10x10 mm² großen
UV-PSDs



Kontakt

MRC Systems GmbH
Hans-Bunte-Str. 10
D-69123 Heidelberg
Tel.: 06221/13803-00
Email: info@mrc-systems.de

Änderungen vorbehalten.