

Zusammenfassung

Ein empfindlicher Nachweis von spezifischen Atomen und Molekülen in der Gasphase ist essentiell für wichtige Anwendungsfelder, z.B. für Umweltanalyse, medizinische Diagnostik, Optimierung von Verbrennungsprozessen oder auch Prozesskontrolle. Diodengepumpte Faserlaser eignen sich aufgrund ihres breiten Emissionsspektrums, kompakten Aufbaus und niedriger Schwellpumpleistungen zur Herstellung von Detektoren für den empfindlichen Nachweis von Gasen, die sich im Laserresonator befinden. Die Absorptionsspektroskopie im Laserresonator (**intracavity absorption spectroscopy, ICAS**) ist eine sehr empfindliche Methode, bei der die effektive Absorptionsweglänge durch die Probe mehreren tausend Kilometern Absorptionslänge bei herkömmlichen Absorptionsmessungen entsprechen kann. Das Ziel dieser Arbeit ist es, verschiedene Vielmoden-Faserlaser auf ihre Anwendung für ICAS zu untersuchen und die empfindlichkeitsbegrenzenden Mechanismen zu identifizieren.

Die eingehenden Untersuchungen eines Nd^{3+} -dotierten Faserlasers mit atmosphärischer Absorption im Resonator haben gezeigt, dass die wichtigsten empfindlichkeitsbegrenzenden Mechanismen im Faserlaser die Rayleigh-Streuung und die räumliche Inhomogenität der Verstärkung sind. Die erzielte Empfindlichkeit mit dem untersuchten Nd^{3+} -dotierten Faserlaser im Spektralbereich 1,08-1,12 μm entspricht einer Absorptionsweglänge von $L_{\text{eff}} = 40$ km. Eine Erhöhung der Empfindlichkeit wird nur durch die Reduzierung der Wirkung der beiden begrenzenden Mechanismen möglich. Der Einfluss der Rayleigh-Streuung kann z.B. durch Verwendung von Fasern mit einer kleineren numerischen Apertur, geringer Dämpfung und kleiner Länge reduziert werden. Die Wirkung der räumlichen Inhomogenität kann mit einer geeigneten Wahl von Laserparametern verringert oder in der Ringresonator-Konfiguration vollständig beseitigt werden. Dadurch kann die effektive Absorptionsweglänge auf einige tausend Kilometer ansteigen.

Die Anwendung von Er^{3+} -dotierten Vielmoden-Faserlasern für ICAS im infraroten Spektralbereich $6200\text{-}6550\text{ cm}^{-1}$ (1,52-1,61 μm) wurde zum ersten Mal demonstriert. Durch eine bessere Qualität von Er^{3+} -dotierten Telekommunikationsfasern ist die erreichte Empfindlichkeit ca. 10 mal höher als die Empfindlichkeit, die mit einem Tm^{3+} -dotierten Faserlaser im benachbarten Spektralbereich (1,7-1,8 μm) erreicht wurde, und entspricht einer Absorptionsweglänge von $L_{\text{eff}} = 54$ km. In der Absorptionsmessung von Azetylen (C_2H_2) wurde die Nachweisgrenze zu 60 ppb bestimmt. Umweltrelevante Gase wie Kohlenstoffdioxid (CO_2) und Kohlenstoffmonoxid (CO) konnten im Laserresonator ebenfalls empfindlich nachgewiesen werden. Ein selektiver Nachweis der für die medizinische Diagnostik der Atemluft wichtigen Isotope $^{12}\text{CO}_2$ und $^{13}\text{CO}_2$ wurde demonstriert. Zum ersten Mal wurde die chemische Dynamik von Verbrennungsprodukten HCN und NH_3 in einer Niederdruckflamme durch *in situ* Absorptionsmessungen im Laserresonator beobachtet.

Die Möglichkeit der Anwendung von Lasern mit mikrostrukturierten Fasern für die empfindliche Absorptionsspektroskopie von in den Luftkanälen lokalisierten Proben im evaneszenten Lichtfeld des Vielmoden-Lasers wurde untersucht. Es wurde festgestellt, dass der empfindliche Nachweis von Nanoproben dann möglich wird, wenn die spektrale Verlustmodulation durch die Interferenz der an den Luftkanälen reflektierten transversalen Lichtanteile z.B. durch die Verwendung von Fasern mit einer räumlich irregulären Mantelstruktur beseitigt wird.