

Optische Hochfrequenztechnik und Photonik

**Bastian Lins**

**Laserdiodenspektroskopie  
zum selektiven Nachweis von Spurengasen**

D 29 (Diss. Universität Erlangen-Nürnberg)

Shaker Verlag  
Aachen 2012

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Erlangen-Nürnberg, Univ., Diss., 2012

Copyright Shaker Verlag 2012

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-1380-1

ISSN 1866-6043

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

Gasanalyse durch Absorptionsspektroskopie ist eine optische Messtechnik, die die Absorption von Licht durch Gasmoleküle ausnutzt, um die Konzentration von Gasen zu bestimmen. Anwendungen liegen in den Bereichen Prozessüberwachung, Atmosphärenforschung oder Abgasüberwachung. Aus den verfügbaren Verfahren zur Absorptionsmessung werden in dieser Arbeit die direkte Absorptionsspektroskopie (DAS) und die Wellenlängenmodulationsspektroskopie (WMS) herausgegriffen und gegenübergestellt.

Zur Hinführung an die Absorptionsspektroskopie mit abstimmbaren Lasern werden zunächst die physikalischen Grundlagen der Lichtabsorption durch Moleküle im IR- und NIR-Bereich zusammengefasst.

Es folgt eine Diskussion geeigneter Laserdioden-Typen und eine ausführliche Untersuchung des Abstimmverhaltens von Distributed Feedback (DFB) Laserdioden. Dabei wird der zur Messung des dynamischen Abstimmverhaltens verwendete Versuchsaufbau beschrieben und es werden anhand von Beispielen im NIR-Bereich Ergebnisse für harmonische und rampenförmige Modulation des Laserdiodenstroms diskutiert.

Anschließend werden mit Rauschen und parasitären Etalons wichtige Störeinflüsse bei der Laserdiodenspektroskopie behandelt. Die Rauschbeiträge der Detektorkomponenten werden einzeln und in ihrem Zusammenwirken betrachtet. Zusätzlich werden Möglichkeiten zur Messung der einzelnen Rauschbeiträge und der Einfluss des häufig dominierenden Intensitätsrauschens (RIN) betrachtet. Beispielmessungen zu Schrot- und Verstärkerrauschen sowie zum RIN von VCSEL und DFB-Laserdioden im nahen Infrarot runden dieses Kapitel ab.

Im Weiteren wird das Grundprinzip der beiden Messverfahren WMS und DAS beschrieben und es werden jeweils die in dieser Arbeit verwendeten Signalverarbeitungsschritte zur Bestimmung der Gaskonzentration dargestellt. Sowohl das DAS- als auch das WMS-Verfahren werden hier mit Hilfe moderner Multifunktions-Datenerfassungskarten realisiert. Dazu wird die Lock-in-Detektion des WMS-Verfahrens durch digitale Datenverarbeitung in der Auswertesoftware implementiert, statt einen separaten Lock-in-Verstärker einzusetzen. Dadurch kann ein Spektrometer nach dem WMS-Prinzip mit denselben Komponenten realisiert werden, die auch bei einem DAS-Spektrometer zum Einsatz kommen. Das beschriebene Beispiel-Spektrometer ermöglicht damit einen direkten Vergleich quasi-parallel durchgeführter Messungen mit WMS und DAS unter denselben Rahmenbedingungen.

Detailliert werden auch der Umgang der beiden Verfahren mit Rauschen und die jeweils eingesetzten Filter-Techniken untersucht. Die spektrale Repräsentation der Absorptionsinformation und der Zusammenhang mit der jeweiligen Filterung werden für beide Verfahren gegenübergestellt. Die Mittelung vieler Rampen beim DAS-Verfahren entspricht einer Filterung, die ein kammartiges Transmissionsspektrum mit verteilten Passbändern besitzt. In Kombination mit einer zusätzlichen FIR-Tiefpassfilterung kann die Detektionsbandbreite weiter eingeschränkt werden. Beim WMS-Verfahren erfolgt die Detektion schmalbandig bei der doppelten Modulationsfrequenz. Die Detektionsbandbreite wird dabei von der Lock-in-Detektion bestimmt.

Eine Betrachtung zum Einfluss der Auflösung bei der Digitalisierung der Messdaten zeigt, dass typische Datenerfassungskarten mit einer Auflösung von 16 bit für beide Verfahren geeignet sind, da die entstehenden Quantisierungsfehler einen im Vergleich zum Intensitätsrauschen vernachlässigbaren Effekt haben. Das WMS-Verfahren stellt prinzipbedingt noch geringere Anforderungen an die Auflösung als das DAS-Verfahren, da hier eine Erfassung des Gleichanteils entfallen kann.

Als Anwendungsbeispiel für das entwickelte Laserdiodenspektrometer schließen Untersuchungen zur isotopenaufgelösten Messung von Ammoniak die Arbeit ab. Als Ergebnis der experimentellen Analyse der Absorptionsspektren von  $^{14}\text{NH}_3$  und  $^{15}\text{NH}_3$  im Spektralbereich von ca. 1500 nm bis 1640 nm stehen

bislang nicht vorliegende Liniendaten zur Verfügung, die in drei Spektralbereichen eine Messung des Isotopenverhältnisses grundsätzlich ermöglichen.

Mit Ausnahme dieses Anwendungsbeispiels sind die entwickelten Verfahren und die durchgeführten Betrachtungen unabhängig vom verwendeten Spektralbereich. Damit können die vorgestellten Konzepte und Ergebnisse auch für die künftige Entwicklung von Spektrometersystemen des MIR-Bereichs, die Grundtonübergänge der Absorption ausnutzen, einen wichtigen Beitrag leisten.