

ABSTRACT

The German Space Agency DLR is supporting a sounding rocket mission that aims to generate a Bose-Einstein-Condensate (BEC) onboard a sounding rocket in 2017. At the time when the research and technical developments described in this thesis were initiated, there were no laser technologies available meeting the requirements regarding compactness and reliability. This work is therefore devoted to developing the required laser technologies that will provide a demonstration of BEC and atomic interferometry in space for the first time ever. This research was carried out as part of the project "LASUS" which provided the technology development for the sounding rocket mission "MAIUS". In the framework of this thesis, concepts were developed to realize micro-integrated extended cavity diode lasers (ECDLs) for rubidium (Rb) and potassium (K) spectroscopy.

The ECDL modules contains only non-moveable components that are integrated on a micro-optical bench with footprints of $50 \times 10 \text{ mm}^2$ and $80 \times 25 \text{ mm}^2$. They are based on a Littrow configuration with an external cavity length of $\sim 30 \text{ mm}$. The micro-integrated ECDLs provide an output power $\geq 35 \text{ mW}$ behind a micro-optical isolator with 30 dB isolation and a short-term ($170 \mu\text{s}$) FWHM linewidth of significantly less than 100 kHz. The intrinsic linewidth corresponds to only 260 Hz. To qualify the micro-integrated ECDLs for future quantum optics precision experiments in space, vibration tests ($8.1 \text{ g}_{\text{RMS}}$ and $21.4 \text{ g}_{\text{RMS}}$) and mechanical shock tests (1500 g) were carried out. No degradation of the electro-optical performance was observed. Moreover, the electro-optical properties of the macroscopic ECDLs were optimized for micro-integrated ECDL modules.

Further, distributed feedback diode (DFB) lasers were electro-optically characterized and optimized, again for Rb and K spectroscopy. Rb-DFB lasers provide single mode emission with an output power of more than 180 mW. The K-DFB lasers feature an excellent spectral stability with a short term ($10 \mu\text{s}$) FWHM linewidth of 320 kHz, and their intrinsic linewidth corresponds to 5 kHz.

KURZFASSUNG

Das Deutsche Luft- und Raumfahrtzentrum (DLR) unterstützt derzeit eine Höhenforschungsraketenmission, die im Jahr 2017 ein Bose-Einstein-Kondensat (BEC) am Bord einer Höhenforschungsrakete erzeugen wird. Als die Forschungen und technischen Entwicklungen, die in dieser Doktorarbeit beschrieben werden, initiiert wurden, gab es keine kommerzielle oder labor-basierte Lasertechnologien, die die Anforderungen in Bezug auf Kompaktheit und Zuverlässigkeit erfüllen konnten. Diese Doktorarbeit widmet sich daher der Entwicklung von Lasertechnologien, die erstmals die Demonstration eines BEC und von Atominterferometrie im Weltraum ermöglichen wird. Diese Forschungsarbeit wurde als ein Teil des Projekts "LASUS" durchgeführt, welches die Entwicklung der Technologie für die Höhenforschungsraketenmission "MAIUS" durchgeführt hat. Im Rahmen des Projektes wurden die Konzepte für die Realisierung von mikro-integrierten *extended cavity diode laser* (ECDL) zur Rb- und K-Spektroskopie entwickelt.

Die ECDL-Module enthalten nur unbewegliche Komponenten, welche auf einer mikro-optischen Bank (MIOB) mit einer Grundfläche von entweder $50 \times 10 \text{ mm}^2$ und $80 \times 25 \text{ mm}^2$ integriert werden. Die mikro-integrierte ECDL basieren auf der Littrow-Konfiguration mit einer externen Kavität von ungefähr 30 mm. Die mikro-integrierten ECDL-Module stellen eine Ausgangsleistung $\geq 35 \text{ mW}$ hinter einem mikro-optischen Isolator mit einer Isolation von 30 dB und eine Kurzzeit-Linienbreite ($170 \text{ }\mu\text{s}$) FWHM von deutlich weniger als 100 kHz und ihre intrinsische Linienbreite entspricht nur 260 Hz. Um die mikro-integrierte ECDL für zukünftige quantenoptische Präzisionsexperimente im Weltraum zu qualifizieren, wurden Vibrationstests ($8.1 \text{ g}_{\text{RMS}}$ und $21.4 \text{ g}_{\text{RMS}}$) und mechanische Schocktests (1500 g) durchgeführt. Keine Degradierung der elektro-optischen Eigenschaften wurde beobachtet. Zudem wurden die elektro-optischen Eigenschaften der makroskopischen ECDL für die mikro-integrierten Module optimiert.

Darüber hinaus wurden die *distributed feedback* (DFB) Laser elektro-optisch charakterisiert und optimiert, wieder zur Rb- und K-Spektroskopie. Die Rb-DFB Laser zeigen single-mode Betrieb mit Ausgangsleistungen von mehr als 180 mW. Die K-DFB Laser besitzen eine exzellente spektrale Stabilität mit einer Kurzzeit-Linienbreite ($10 \text{ }\mu\text{s}$) FWHM von 320 kHz und ihre intrinsische Linienbreite entspricht 5 kHz.