Konzepte für spin-kontrollierte Halbleiterlaser

Natalie Jung

Kurzfassung

Halbleiterlaser spielen eine zentrale Rolle in der Informationstechnologie und optischen Datenübertragung. In optischen Kurzstreckenverbindungen kommen stromgetriebene, intensitätsmodulierte oberflächenemittierende Laser (VCSEL) zum Einsatz, deren Modulationsbandbreiten 40 GHz nicht überschreiten. Daher ist die Entwicklung neuer Konzepte zur Steigerung der Modulationsbandbreite erforderlich. Spin-Laser können diese Bandbreitenbeschränkungen überwinden, indem sie den Polarisationszustand der Lichtemission durch den Spin-Zustand der Ladungsträger steuern. Dies führt zu einem spin-kontrollierten, zirkularen Polarisationsgrad für die Lichtemission. Ziel dieser Arbeit ist es, anhand der Konzepte für elektrische und optische Spin-Injektion das Potenzial von Spin-Lasern für zukünftige Anwendungen im Bereich der optischen Datenübertragung zu diskutieren.

Kantenemittierende Laser sind für die elektrische Spin-Injektion geeignet, da ihre Spin-Injektionsstrecke in der Größenordnung der Spin-Diffusionslänge liegt. Die Verwendung ferromagnetischer Metalle wie Fe ermöglicht die elektrische Spin-Injektion, wobei eine isolierende Tunnelbarriere, z. B. aus MgO, die Spin-Injektionseffizienz steigert. Diese Arbeit präsentiert einen Ansatz zur Herstellung einer kantenemittierenden Halbleiterlaserstruktur mit elektrischer Spin-Injektion. Ein Konzept für das Probenwachstum und die Prozessierung wird selbständig entwickelt und erläutert. Trotz des geringen gemessenen zirkularen Polarisationsgrads P_C, bestätigt die Umkehr des Polarisationszustands mit der Magnetfeldorientierung eindeutig die elektrische Spin-Injektion.

Spin-VCSEL wurden bisher hauptsächlich, aufgrund der längeren Spin-Injektionsstrecke, durch optische Spin-Injektion realsiert. In diesen Lasern beeinflusst die Doppelbrechung die Polarisationsdynamik. Durch die Doppelbrechung erfahren die orthogonal linear polarisierten Feldkomponenten unterschiedliche Brechungsindizes, was zu Emission bei verschiedenen Frequenzen führt. Die resultierende spektrale Trennung wird doppelbrechungsinduzierte Modenaufspaltung Δf genannt. Zukünftige Anwendungen erfordern On-Chip Lösungen zur gezielten Kontrolle der Doppelbrechung. Diese Arbeit diskutiert zwei Ansätze zur Integration der Doppelbrechung. Im ersten Ansatz wird ein VCSEL durch einen Steg erweitert. Die Doppelbrechung wird durch einen asymmetrischen Heizgradienten eingestellt und hauptsächlich durch den Heizstrom I_{heat} kontrolliert. Eine maximale Doppelbrechung von 36 GHz und Polarisationsdynamiken von 40 GHz wurden erreicht. Im zweiten Ansatz werden VCSEL mit Oberflächengittern untersucht, wobei die Doppelbrechung durch die Gitterparameter festgelegt wird. Es wurde eine maximale Doppelbrechung von 77 GHz und Polarisationsdynamiken von bis zu 66 GHz erreicht. Das zeigt, dass Spin-VCSEL mit Oberflächengittern besonders geeignet sind, um die Doppelbrechung für zukünftige Anwendungen mit ultraschneller Polarisationsdynamik zu kontrollieren.