

In dieser Arbeit wird die Injektion spinpolarisierte Ladungsträger in Halbleiterbauelemente und die Dynamik dieser Bauelemente untersucht. Dabei gliedert sich die Arbeit in zwei Teile: Eine Untersuchung grundlegender Relaxationsprozesse der Ladungsträger während des Transports durch Diodenstrukturen im ersten Teil und eine darauf folgende Untersuchung der Dynamik eines konventionellen Halbleiterlasers mit zusätzlicher optischer Spininjektion. Dabei wird ein Konzept zur Manipulation des Polarisationszustandes des Lasers demonstriert, mit dem eine Modulation weit jenseits der elektrischen Bandbreite des Bauelements möglich wird.

Die fortschreitende Entwicklung der Mikroelektronik und der optischen Datenübertragungstechnologien führt zu immer höheren Übertragungsgeschwindigkeiten auf elektrischen und optischen Datenleitungen gleichermaßen. Gerade für optische Datenübertragung auf kurzen Strecken, beispielsweise innerhalb von Rechenzentren oder auch innerhalb einzelner Server, werden dabei direkt modulierte Laserdioden eingesetzt, die Datenraten im Bereich von 28 Gbit/s in kommerziellen Produkten erreichen. Für Datenraten, die weit über diesen Wert hinausgehen, sind dabei neue Konzepte erforderlich. Hier wird ein Konzept vorgestellt, das die Polarisationsdynamik des Spin-Photon-Systems solcher Laserdioden ausnutzt, das wesentlich schneller auf Änderungen reagieren kann als das Ladungsträger-Photon-System. Demonstrationsversuche und theoretische Berechnungen zeigen, dass so Modulationsfrequenzen im Bereich über 100 GHz möglich sind. Mit dem hier vorgestellten Konzept werden in konventionellen Laserdioden Modulationsraten jenseits der elektrischen Bandbreite dieser Bauelemente gezeigt.

Zur Realisierung eines solchen Bauelements als Lichtquelle für optische Datenübertragung ist eine elektrische Injektion der spinpolarisierten Ladungsträger zwingend erforderlich. Dazu werden ferromagnetische Kontakte verwendet, aus denen spinpolarisierte Ladungsträger in Halbleiter transportiert werden. Im Halbleiter geht dabei die Spinpolarisation innerhalb kürzester Zeit verloren, da der Spinzustand im Gegensatz zur Ladung eines Elektrons keine Erhaltungsgröße ist. Mit einer Serie von Spin-Leuchtdioden wird die Spinrelaxation während des Transports untersucht, wobei gezeigt werden kann, dass insbesondere unter Anwendungsbedingungen, also bei Raumtemperatur und ohne externe Magnetfelder, die Spinpolarisation nach einem Transportweg von nur etwa 30 nm auf $1/e$ des Ursprungswertes abnimmt. Bei Raumtemperatur wird die Relaxation hauptsächlich von Impulstreueung an optischen Phononen bestimmt. Durch diese Studie können Strukturen und Materialien aufgezeigt werden, in denen Spinrelaxation geringer und damit effizienter Spintransport möglich ist.

Damit konnte einerseits ein Konzept für ein neuartiges, spin-kontrolliertes Bauelement vorgestellt werden, das die Möglichkeit hat, bisherige Grenzen der Modulationsfrequenz zu überschreiten, während andererseits durch Grundlagenexperimente wesentliche Mechanismen der Spinrelaxation identifiziert werden konnten. Damit können Möglichkeiten aufgezeigt werden, den Spin-Laser, der hier mit optischer Spininjektion demonstriert wurde, mit elektrischen Spininjektionskontakten als neue Lichtquelle für die optischen Nachrichtentechnik umzusetzen.