

Bauelementkonzepte für die Spinoptoelektronik

von Stephan Hövel

Lehrstuhl für Photonik und Terahertztechnologie, Ruhr-Universität Bochum

Seit mehr als 40 Jahren gilt in der Mikroelektronik das Moore'sche Gesetz, nachdem sich die Anzahl der Transistoren insbesondere in Prozessoren alle zwei Jahre verdoppelt. Wenngleich diese Entwicklung seit den 60er Jahren ungebrochen ist, häufen sich in jüngster Zeit die Anzeichen, dass es immer aufweniger wird, diese Prognose zu erfüllen bzw. dass bald technologisch-physikalische Grenzen erreicht werden, die eine Entwicklung der klassischen Mikroelektronik in der bisherigen Geschwindigkeit nicht mehr erlauben werden. Es muß daher nach alternativen Konzepten zur weiteren Steigerung der Prozessorleistung über die Mitte des Jahrhunderts hinaus gesucht werden.

Ein sehr vielversprechender Ansatz ist die sogenannte Spinelektronik, die - ans Englische angelehnt - auch als Spintronik bezeichnet wird und die Informationsübertragung mittels des Eigendrehimpulses des Elektrons bezeichnet. Neben potentiell höheren Schaltgeschwindigkeiten schafft die Spintronik auch Grundlagen für ein etwaiges Quantencomputing und ist aus diesem Grund von großem Interesse in der aktuellen Forschung.

Dabei stellt die Verbindung zwischen dem Elektronenspin und der Polarisation von Licht gemäß der Drehimpulserhaltung in sogenannten spinoptoelektronischen Bauelementen eine der treibenden Kräfte in der Spinelektronik dar, weil auf diese Weise nicht nur spinpolarisierte Ladungsträger erzeugt werden können sondern auch umgekehrt die Spinausrichtung gemessen werden kann. Der Elektronenspin ist im Gegensatz zur Ladung keine Erhaltungsgröße und unterliegt Relaxationseffekten, die bei Raumtemperatur sehr ausgeprägt sind und bislang praktische spintronische Bauelemente auf Halbleiterbasis verhindert haben. Ein weiteres Problem stellt die Bereitstellung der benötigten starken Magnetfelder zur Ausrichtung der Elektronenspins in sogenannten Injektorschichten dar, aus denen die Elektronenspins in Halbleiterbauelemente injiziert werden, in denen schließlich eine Manipulation der Spininformation möglich wird.

Im Rahmen dieser Dissertation wurden daher spinoptoelektronische Bauelemente entwickelt, die praktischen Anforderungen genügen, d.h. bei Raumtemperatur und mit geringen externen Magnetfeldern funktionieren. Dazu wurde in einer sogenannten Spin-Leuchtdiode (Spin-LED) mittels eines speziellen Fe/Tb-Multilageninjektors nachgewiesen, dass eine effektive Spininjektion sowohl bei Raumtemperatur als auch in Remanenz, d.h. ohne ein angelegtes, äußeres Magnetfeld möglich ist.

Daneben konnte ein robuster Spindetektor vorgestellt werden, der ebenfalls bei Raumtemperatur und ohne ein angelegtes magnetisches Feld eine Lichtpolarisation effizient in einen spinpolarisierten Strom zurückwandeln kann.

Die Möglichkeit der optischen Übertragung der Spininformation über längere Distanzen erlaubt schließlich der Vertikalresonatorlaser (VCSEL). Der VCSEL ermöglicht nicht nur die gerichtete Übertragung einer Spininformation sondern insbesondere auch ihre Verstärkung bei Raumtemperatur, die in rein elektrischen Bauelementen nicht möglich wäre. Die Verstärkungseigenschaften wurden im Rahmen dieser Dissertation ebenso wie die spindynamischen Eigenschaften intensiv untersucht. Dabei konnte nachgewiesen werden, dass kleine Spinpolarisationen, die optisch in kommerziellen Vertikalresonatorlasern erzeugt wurden, auch bei Raumtemperatur effektiv verstärkt werden.

Die zukünftige Kombination der in den Spin-LEDs getesteten elektrischen Injektoren mit dem Vertikalresonatorlaser als sogenannter Spin-Laser wäre ein sehr vielversprechendes spinoptoelektronisches Bauelement, das bei Raumtemperatur und geringen Magnetfeldern Spininformationen sowohl verstärken als auch zu einem weit entfernten Spindetektor übertragen könnte.