

Dissertationstitel: Ballistische Gleichrichtung durch heiße Elektronen in Wellenleiterkreuzen

Vorgelegt von: Diplom-Ingenieur Matthias Wiemann
ehemals: Lehrstuhl für Werkstoffe und Nanoelektronik
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
Ruhr-Universität Bochum

Betreuender
Hochschullehrer: Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Kunze

Kurzfassung:

Die hier untersuchten Bauelemente basieren auf einer modulationsdotierten Aluminium-/Galliumarsenid-Heterostruktur, in der sich ein zweidimensionales Elektronengas an der Grenzfläche zwischen den beiden Halbleitern ausbildet. Die Elektronen besitzen in diesen Heterostrukturen eine große mittlere freie Weglänge im μm -Bereich. Die mit Hilfe der Elektronenstrahlithografie erzeugten lateralen Strukturen der Bauelemente unterschreiten diese mittlere freie Weglänge und definieren die elektronischen Wellenleiter (EWGs). Innerhalb eines einfachen Modells lassen sich die Elektronen als Teilchen auffassen, welche nur an den Grenzflächen der EWGs spiegelnde Reflexionen erleiden. Erfolgt die laterale Einschränkung der Elektronen auf die Länge ihrer de Broglie Wellenlänge entsteht ein Quantenpunktkontakt (QPC), dessen eindimensionaler Elektronentransport sich durch die Quantisierung des Leitwertes in den Fundamental-konstanten $2e^2/h$ manifestiert.

Zunächst wird der ballistische Transport von heißen Elektronen innerhalb sich orthogonal kreuzender EWGs untersucht. Die Überschussenergie der heißen Elektronen wird nahe der Kreuzungsstelle z.B. durch eine innerhalb eines EWGs integrierten QPC-Barriere erzeugt. Die Möglichkeit, ein lokales Finger-Gate anstatt eines QPCs zu verwenden, wird ebenfalls diskutiert. Für die Messung wird ein abknickender Stromfluss zwischen dem EWG mit dem QPC und einem dazu orthogonalen EWG generiert, während die Transferspannung an den beiden übrigen zueinander orthogonalen EWGs gemessen wird. Der Einfluss des zum Erzeugen von Überschussenergien abgeschnürten QPCs zeigt sich nur, wenn die Elektronen über die QPC-Barriere in die Kreuzungsstelle injiziert werden. Aufgrund des ballistischen Ladungsträgertransportes laden die Elektronen den als Kollektor fungierenden dem QPC gegenüberliegenden EWG negativ auf und führen zu einer mit der Barrierenhöhe des QPC korrelierenden nicht lokalen Ausgangsspannung. Für die Realisierung einer Halbwellengleichrichtung wird entfernt von der Kreuzungsstelle ein weiterer EWG orthogonal zum Kollektor angebracht und die Spannungsdifferenz zwischen diesen beiden EWGs in Abhängigkeit des Eingangsstromes gemessen. Mit Hilfe dieses Bauelementes lässt sich die ballistische Weglänge innerhalb der EWGs ohne Überschussenergie zu 520 nm bestimmen, während sich mit einer Überschussenergie eine Verlängerung der ballistischen Weglänge um einem Faktor von bis zu 2,4 nachweisen lässt.

Für die Vollwellengleichrichtung werden ebenfalls sich orthogonal kreuzenden EWGs genutzt, bei denen in einem EWG nahe der Kreuzungsstelle ein QPC integriert ist. Der heizende Eingangstrom wird hier jedoch zwischen den sich gegenüberliegenden EWGs ohne QPC eingepreßt, während an den anderen beiden zum Strompfad orthogonalen EWGs die Ausgangsspannung detektiert wird. Durch den Stromfluss werden die bei tiefen Temperaturen vom Gitter entkoppelten Elektronen oberhalb der Gittertemperatur aufgeheizt. Die heißen Elektronen können in Abhängigkeit des QPC-Leitwertes die Barriere überwinden und relaxieren anschließend, wodurch sich eine von der Polarität des Heizstromes unabhängige stationäre Thermospannung aufbaut. Die mit diesem Thermokraft-Gleichrichter erzielte externe Gleichrichtereffizienz (Verhältnis von Ausgangs- zu Eingangsspannung) liegt bei 50% (intern 60%) und der zugehörige Transferwiderstand (Verhältnis von Ausgangsspannung zu Eingangsstrom) weist einen Wert von 7 k Ω auf. Beide charakteristischen Größen weisen im Vergleich zu anderen ballistischen Injektions- und Thermokraft-Gleichrichtern die bisher größten berichteten Werte auf.