

Ballistischer Transport heißer Elektronen und Löcher in GaAs/AlGaAs-Nanokreuzen

Oliver Markus Kreiter

Modulationsdotierte Heteroschichtsysteme haben in den letzten Jahrzehnten durch ihre hohe Ladungsträgerbeweglichkeit eine Vielzahl von grundlegenden Experimenten in der Festkörperphysik ermöglicht. Auch die technische Anwendung dieser Materialien in neuartigen Bauteilen steht im Fokus der Forschung: Ballistische Gleichrichter zeichnen sich gegenüber auf pn-Dioden basierenden Gleichrichtern durch ihre fehlende Einsatzspannung, fehlende Raumladungszone sowie eine Ladungsträrgeschwindigkeit nahe der Fermigeschwindigkeit aus, was eine Anwendung bei kleinen und schnellen Signalen bis in den THz-Bereich verspricht.

Neben der Erprobung neuer Gleichrichtergeometrien liegt der Fokus dieser Arbeit auf dem Vergleich von elektronen- und löcherleitenden GaAs/AlGaAs-Heterostrukturen, um den Einfluss der effektiven Masse auf den ballistischen Gleichrichtungsmechanismus zu untersuchen. Dafür wurden zunächst grundlegende Materialeigenschaften wie die ballistische Länge und die inelastische Diffusionslänge in Abhängigkeit der Gitter- und Ladungsträgertemperatur extrahiert, um dann beide Materialsysteme anhand von Injektionsgleichrichtern zu vergleichen.

Die ballistische Länge l_b wurde im linearen Transportregime über *bend resistance* Messungen in Nanokreuzen bei 1.4 K zu etwa $l_b=400$ nm (Elektronen) bzw. 750 nm (Löcher) bestimmt. Im Vergleich zur makroskopisch bestimmten elastischen freien Weglänge l_e des jeweiligen Materials zeigt sich, dass l_b in beiden Systemen kleiner als l_e ist. Das Verhältnis l_b/l_e bleibt bei den Löchern aber wesentlich größer (Löcher: 32.3%, Elektronen: 8.5%), was auf eine geringere Anfälligkeit der ballistischen Löcher gegenüber (Kleinwinkel-) Streuungen deutet. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass die ballistische Länge beider Materialien auch im nichtlinearen Transportregime konstant bleibt, was einer Konstanz des Gesamtimpulses der Ladungsträger trotz erhöhter gegenseitiger Wechselwirkung im nichtlinearen Regime entspricht, so wie sie bei der ballistischen Gleichrichtung erwartet wird. Die inelastische Diffusionslänge l_d wurde anhand des abstandsvariieren Heiße-Elektronen Thermospannungssignals mehrerer Quantenpunktkontakte bestimmt. Das Signal zeigt dabei einen exponentiellen, durch die Energierelaxation heißer diffusiver Elektronen gegebenen Abfall mit dem Abstand vom Heizkanal. Die inelastische Diffusionslänge verläuft zunächst monoton fallend mit der Gittertemperatur und sättigt bei etwa 48 K (12 μm bei 4.2 K, 1.7 μm bei 64 K). Die gegenüber den Abmaßen der Nanokreuzen sehr große inelastische Diffusionslänge kann zur Erklärung einer Vielzahl von Beobachtungen im Rahmen der Heiße-Elektronen-Thermospannung herangezogen werden.

In kaskadierten Gleichrichtern n- und p-Injektionsgleichrichtern konnte temperaturabhängige Spannungsaddition demonstriert werden. Die Experimente liefern für beide Materialien sehr ähnliche Ergebnisse bei Betrachtung des rein ballistischen Signals. Zusätzlich wurden dichte-, temperatur- und injektionswinkelabhängige Messungen auf p-Gleichrichtern durchgeführt, die zu übereinstimmenden Ergebnissen mit vorherigen Arbeiten auf elektronenleitenden Systemen führen. Weiterhin wurden elektronenleitende Injektionsgleichrichter mit breiten Stämmen untersucht. Hierbei zeigt sich gerade bei niedrigen Dichten im Stamm eine Dominanz des temperaturunabhängigen, klassischen Modeneffekts, die eine Extraktion des rein ballistischen Signals massiv erschwert.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass sich löcherleitende Materialien trotz kleinerer elastischer freier Weglängen ebenso gut zur ballistischen Gleichrichtung eignen wie Elektronensysteme, so wie es auch in anderen Materialsystemen mit höherer effektiver Masse aber geringerer Ladungsträgerbeweglichkeit der Fall ist (z. B. Si/SiGe). Weiterhin konnte durch die Bestimmung verschiedener charakteristischer Längen der Einfluss des jeweiligen Gleichrichtungsmechanismus innerhalb der Bauelemente eingeschätzt werden. Zur Realisation eines rein ballistischen Gleichrichters dürfen ausschließlich Wellenleiter gleicher Breite (Modeneffekte) und hoher Dichte (Thermospannung) genutzt werden.