

Ballistische Gleichrichtung im nichtlinearen elektronischen Transport durch Si/SiGe-Wellenleiterkreuze

von Joeren Frederik von Pock

Mit einer Kombination aus Elektronenstrahl- und Ultraviolettlithographie werden in der vorliegenden Arbeit modulationsdotierte Silizium/Silizium-Germanium-Heterostrukturen lateral strukturiert, um ballistischen Elektronentransport in Wellenleitern bei Temperaturen von wenigen Kelvin zu ermöglichen. Dieser ist gegeben, wenn die lateralen Bauelement-Abmessungen kleiner als die ballistische Weglänge sind. Sind die Abmessungen zudem kleiner als die Fermi-Wellenlänge, so erfolgt der Elektronentransport quantisiert und bildet im Leitwert in Abhängigkeit von der Fermi-Energie Quantisierungsstufen aus.

Im linearen und nichtlinearen Transport durch sogenannte Quantendrähte werden Anomalien in der Leitwertquantisierung untersucht. Insbesondere wird dabei ein aus den Untersuchungen hergeleiteter Erklärungsansatz für das Phänomen des sogenannten 0.25 Plateaus im Leitwert des nichtlinearen Transportregimes als Kurzkanal-Effekt geliefert.

Nach der Bestimmung der ballistischen Weglänge mit Hilfe von unterschiedlich breiten Wellenleiterkreuzen wird der Einfluss des Injektionswinkels auf trägheitsballistische Injektionsgleichrichter untersucht. Diese Gleichrichter zeichnen sich durch eine hohe Grenzfrequenz von einigen THz und durch eine im Gegensatz zu Dioden fehlende Einsatzspannung aus. Allgemein lässt sich eine Kosinus-Abhängigkeit der Ausgangsspannung vom Injektionswinkel der vermessenen Gleichrichter beobachten, die auf die Ausdehnung der Elektronenwolke innerhalb der Gleichrichter zurückzuführen ist. Eine systematische Untersuchung der Geometrie ballistischer Wellenleiterkreuze zeigt einen Einfluss der Zuleitungswinkel auf die Hall-Spannung unter niedrigen Magnetfeldern. Ab einem kritischen Magnetfeld setzen zweidimensionale Phänomene wie der Quanten-Hall-Effekt ein. Diese dominieren gegenüber den trägheitsballistischen Effekten und verdecken den Geometrie-Einfluss der Kreuze auf die Hall-Spannung.

In dieser Arbeit werden zudem drei Effekte identifiziert, die unter gewissen Umständen Einfluss auf die Ausgangsspannung eines Injektionsgleichrichters ausüben: Der Moden-Effekt, die Heiße-Elektronen-Thermospannung und die bereits erwähnte Trägheitsballistik. Diese Effekte lassen sich durch gezielte Einstellung von Messparametern voneinander separieren, sodass in einer Doppelkreuz-Struktur nur der für technische THz-Anwendungen notwendige, rein ballistische Anteil auf die Ausgangsspannung gemessen werden kann.

Darauf aufbauend werden zweistufige ballistische Gleichrichter vorgestellt, welche eine höhere Ausgangsspannung als die Summe der beiden einzelnen Gleichrichterstufen besitzen. Diese Effizienzsteigerung ist zurückzuführen auf die Überlappung zweier Elektronenwolken, wenn der Abstand zwischen den Gleichrichterstufen kleiner als die ballistische Weglänge gehalten wird.

Diese Ergebnisse ebnen den Weg für eine technische Anwendung trägheitsballistischer Gleichrichter, da sie übertragen auf eine Heterostruktur mit ausreichend hoher ballistischer Weglänge bei Raumtemperatur eine Möglichkeit bieten, die Gleichrichtereffizienz in einem hypothetischen mehrstufigen Bauelement an die von Brückengleichrichtern heranzuführen, ohne die für Dioden typische Einsatzspannung zu benötigen.