

Ballistische Gleichrichtung in nanoskaligen elektronischen Si/SiGe Wellenleiter-Kreuzstrukturen

Daniel Salloch

*Lehrstuhl für Werkstoffe und Nanoelektronik,
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik,
Ruhr-Universität Bochum*

Die in dieser Arbeit untersuchten mesoskopischen Bauelemente basieren auf einer modulationsdotierten Silizium/Silizium-Germanium-Heterostruktur, in der sich ein zweidimensionales Elektronengas (2DEG) an einer Grenzfläche beider Halbleiter befindet. Bei einer Temperatur von $T = 4,2$ K ergeben sich so mittlere freie Weglängen (l_e) im Mikrometer-Bereich. Mit Hilfe der Elektronenstrahlolithographie werden laterale Bauelement-Abmessungen unterhalb l_e definiert, so dass der Transport ballistisch ist und die Ladungsträger sich stoßfrei bewegen. In einem einfachen semi-klassischen Modell lassen sich die Elektronen als Billardkugeln auffassen, welche an den lateralen Grenzen des Bauelements spiegelnd reflektiert werden. Erfolgt eine laterale Einschränkung der Elektronen in der Größenordnung ihrer de-Broglie-Wellenlänge entsteht ein Quantendraht (QWR), dessen eindimensionaler Elektronentransport sich durch die Quantisierung des Leitwertes g_D unter Berücksichtigung der Spin- und Valley-Entartung in Vielfachen von $4e^2/h$ auszeichnet.

Neben der Herstellung der nanoskaligen Bauelemente werden im Rahmen dieser Arbeit elektrische Transportuntersuchungen bei tiefen Temperaturen ($22 \text{ mK} < T < 77 \text{ K}$) durchgeführt. Zunächst werden die verwendeten 2DEGs mittels Magnetotransport-Messungen charakterisiert. Das Leitwert-Verhalten von QWRs unterschiedlicher Breite wird bezüglich der Temperatur und eines zum QWR parallelen Magnetfeldes untersucht. Dabei zeigt sich eine Anomalie im Leitwert, die in der Literatur als *0.7-Anomaly* bekannt ist und ein Temperatur- und Magnetfeldverhalten aufweist, das auf eine Kondo-ähnliche Wechselwirkung hindeutet.

Der trägheitsballistische Elektronentransport wird mittels *Bend-Resistance*-Messungen bis $T = 30$ K beobachtet und zur Realisierung von ballistischen Vollwellengleichrichtern verwendet. Der *Bend-Resistance* wird an einer orthogonalen Kreuzungsstelle von Wellenleitern gemessen und der Impuls der dabei aus einem Wellenleiter injizierten Elektronen führt zur stationären Aufladung des jeweils gegenüberliegenden Potential-Wellenleiters.

Im Unterschied zu herkömmlichen, auf Dioden basierenden Gleichrichtern haben ballistische Gleichrichter keine intrinsische Barriere und somit keine Einsatzspannung. Zur Vertiefung der Kenntnisse über die wirksamen Gleichrichtermechanismen in ballistischen Gleichrichtern werden Untersuchungen an trägheitsballistischen Injektionsgleichrichtern vorgenommen. Diese bestehen aus einer nicht-zentrosymmetrischen Wellenleiterverzweigung, bei der zwei strominjizierende Wellenleiter (1) und (2) unter einem Injektionswinkel ϕ in einem geraden, zentralen Stamm mit den Potential-Kontakten (U) und (L) münden. Die Eingangsspannung wird dabei symmetrisch ($V_1 = -V_2$) angelegt und die Ausgangsspannung als Differenzspannung $V_{UL} = V_U - V_L$ detektiert. Zur Optimierung der Gleichrichtereffizienz, die sich durch den Transferwiderstand $R_T = V_{UL} / I_1$ ausdrücken lässt, wird der Einfluss einer Injektion mittels Überschussenergie, einer Variation der Stammbreite und einer lokalen Potentialmodulation im Stamm mit Hilfe von nanoskaligen Oberflächengateelektroden untersucht. Dabei zeigen sich eine mögliche Steigerung von R_T um 78% durch eine erhöhte Injektionsenergie und ein Zusammenbruch der Trägheitsballistik für Stammbreiten oberhalb l_e . Eine lokale Potentialmodulation führt zu einer Steigerung des Transferwiderstandes von üblicherweise $R_T \approx 150 \Omega$ auf bis zu 800Ω . Die Ursache dieser unerwartet hohen Steigerung wird in dieser Arbeit als Heiße-Elektronen-Thermospannung identifiziert und ausgiebig untersucht. Dabei zeigt sich, dass diese dem trägheitsballistischen Signal additiv oder subtraktiv überlagert werden kann. Damit ergibt sich eine weit reichende Abstimbarkeit von einer Vorzeichenumkehr des Ausgangssignals bis zu einer deutlichen Effizienzsteigerung.

Abschließend wird der Einfluss der Elektron-Phonon-Wechselwirkung auf die Funktionsmechanismen des Gleichrichters untersucht. Dabei zeigt sich, dass die Phononen über den *Phonon-Drag*-Effekt nur einen um drei Größenordnungen kleineren Beitrag im Vergleich zur Heiße-Elektronen-Thermospannung leisten.