

# Nichtlinearer Transport in nanoskaligen Kreuzstrukturen auf epitaktischem Graphen

Epaminondas Karaisaridis

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

Im Rahmen dieser Arbeit wurde der ballistische Transport in nanoskaligen Kreuzstrukturen aus epitaktischem Graphen auf Siliziumcarbid und deren Potential für ballistische Gleichrichter untersucht.

Graphen ist eine Kohlenstoff-Monolage, deren Atome in einer Honigwabenstruktur angeordnet sind. Die Elektronen in Graphen bilden ein zweidimensionales Elektronengas und können große mittlere freie Weglängen haben. Ausgehend von diesem Material wurden mittels Elektronenstrahlolithographie und Plasmaätzen nanoskalige Kreuzstrukturen hergestellt, deren Dimensionen kleiner sind als die mittlere freie Weglänge der Ladungsträger. Die Ladungsträger bewegen sich ballistisch und es ist möglich die Funktion der Bauelemente durch ihre Geometrie zu bestimmen.

Ballistischer Transport kann durch einen negativen Bend-Resistance  $R_B$  in orthogonalen Kreuzstrukturen nachgewiesen werden. In 50 nm weiten Kreuzen aus Monolagen-Graphen (MLG) wurde  $R_B(T = 4,2 \text{ K}) = -367 \Omega$  gemessen. Mit steigender Temperatur sinkt der Betrag von  $R_B$ . Bei  $T \approx 200 \text{ K}$  ändert  $R_B$  sein Vorzeichen und zeigt einen Übergang zum diffusiven Transportregime an. In Bilagen-Graphen (BLG) wurde  $R_B(T = 4,2 \text{ K}) = -525 \Omega$  gemessen. Der höhere Betrag des negativen Bend-Resistance in BLG ist möglicherweise durch die stärkere Abschirmung von Randeffekten und äußeren Einflüssen bedingt. BLG ist somit prinzipiell das geeignetere Material für auf ballistischen Transport basierende Bauelemente, jedoch stellt das kontrollierte epitaktische Wachstum eine Herausforderung dar.

Gleichrichtereffekte wurden in asymmetrischen Kreuzen untersucht. Als Material wurde quasi-freistehendes epitaktisches Monolagen-Graphen verwendet (QFMLG). Im Falle von QFMLG ist der Graphen-Film vom Siliziumcarbid-Substrat entkoppelt, was zu einer temperaturunabhängigen Beweglichkeit der Ladungsträger führt. Die Weite der Kanäle wurde zunächst zu  $b = 70 \text{ nm}$  gewählt. Bei Eingangsströmen im Bereich einiger  $\mu\text{A}$  wurde Gleichrichtung bis  $T = 200 \text{ K}$  beobachtet. Die Transferwiderstände erreichen dabei Werte bis  $R_T(T = 4,2 \text{ K}) = 18,8 \text{ k}\Omega$ . Messungen in Abhängigkeit der Gate-Spannung und vergleichende Messungen in symmetrischen und asymmetrischen Kreuzen deuten auf Heiße-Elektronen-Thermospannung als gleichrichtenden Mechanismus hin. Die dafür nötigen Potentialbarrieren werden durch die zufällige Potentiallandschaft erzeugt, welche typisch für Graphenkanäle mit  $b \leq 100 \text{ nm}$  ist. Durch hohe Gate-Spannungen konnten die Thermospannungsbeiträge unterdrückt werden. Das übrig gebliebene parabolische Signal ist möglicherweise ballistischen Ursprungs. Bei hohen Strömen in der Größenordnung  $10 \mu\text{A}$  wurde Gleichrichtung auch bei  $T = 300 \text{ K}$  beobachtet, wobei diese auf Modeneffekten beruht. In asymmetrischen Kreuzen mit einer Kanalweite von  $b = 100 \text{ nm}$  konnte bis  $T = 77 \text{ K}$  ein gleichgerichtetes Signal beobachtet werden, dessen Ursprung ebenfalls Heiße-Elektronen-Thermospannung ist. Bei hohen Gate-Spannungen konnte auch hier ein möglicherweise ballistisches Signal erzeugt werden.

Zusammenfassend konnte der ballistische Transport in orthogonalen Kreuzstrukturen auf epitaktischem Mono- und Bilagen-Graphen besser verstanden werden. Zudem wurden unterschiedliche Gleichrichtereffekte in nanoskaligen asymmetrischen Kreuzstrukturen bis Raumtemperatur nachgewiesen.