

# Ballistischer Transport in epitaktischem Graphen

Sonja Weingart

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

## Kurzfassung der Dissertation:

Durch einen Übergang des Ladungsträgertransports vom diffusiven in das ballistische Transportregime können höhere Schaltgeschwindigkeiten bei gleichzeitig geringerer Verlustleistung in elektronischen Bauelementen erreicht werden. Allerdings erfordert die Entwicklung von ballistischen Bauelementen für kommerzielle Anwendungen Materialien mit mittleren freien Weglängen der Ladungsträger die die Dimensionen der Bauelemente bis Raumtemperatur überschreiten. In den letzten Jahren ist ein neues Material in den Fokus der Forschung gerückt: Graphen, eine atomare Lage Graphit. Für diese Monolage von Kohlenstoff-Atomen im Wabengitter werden hohe Beweglichkeiten der Ladungsträger und damit hohe mittlere freie Weglängen bis Raumtemperatur theoretisch vorausgesagt. Des Weiteren haben epitaktisch gewachsene Graphen-Filme auf Siliziumcarbid das Potential, den Weg in kommerzielle Anwendungen zu finden. Diese kombinieren die elektronischen Eigenschaften von Graphen mit großflächigen Filmen auf isolierendem Substrat und es ist möglich, wafergroße geschlossene Graphen-Filme mit reproduzierbarer Qualität in industriellem Maßstab herzustellen.

Im Rahmen dieser Arbeit wird der elektronische Transport in epitaktischen Graphen-Filmen auf Siliziumcarbid untersucht. Hierfür wird zunächst ein Strukturierungsverfahren entwickelt, um Hall-Bar-Strukturen und nanoskalige Kreuzstrukturen in die Filme zu übertragen. Dabei werden minimale Linienbreiten kleiner als 30 nm erreicht.

Mit temperaturabhängigen Magnetotransport-Untersuchungen an Hall-Bar-Strukturen werden die Transportparameter der Filme ermittelt. Aus dem Verhältnis der elastischen Streuzeiten und dem Temperaturverhalten der Beweglichkeit können Rückschlüsse auf die dominierenden Streumechanismen gezogen werden. Für die Filme werden eine nahezu konstante Elektronendichte von  $n_S = (2 \dots 4) \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-2}$  und Beweglichkeiten bis zu  $\mu(T < 15 \text{ K}) = 4800 \text{ cm}^2(\text{Vs})^{-1}$  bzw.  $\mu(T = 300 \text{ K}) = 1500 \text{ cm}^2(\text{Vs})^{-1}$  bestimmt. Bei tiefen Temperaturen wird eine mittlere freie Weglänge von  $l_e > 59 \text{ nm}$  erzielt, die die Grenzen des verwendeten Lithographiesystems und damit die minimalen Abmessungen der Bauelemente überschreitet. So wird in Kreuzstrukturen mit 50 nm breiten Zuleitungen ein negativer *Bend Resistance* bis  $T = 80 \text{ K}$  beobachtet. Dieser negative Vierpunktwidestand ist ein eindeutiges Indiz für den ballistischen Transport.

Eine Ausrichtung der Bauelemente bezüglich der Stufenstruktur des Substrats zeigt einen reduzierenden Einfluss der Stufenkanten auf den Transport insbesondere bei tiefen Temperaturen. Für einen ballistischen Transport unabhängig von der Wahl der Strominjektoren und Spannungssonden wird eine parallele Ausrichtung der symmetrischen Kreuzstrukturen vorgenommen. Außerdem kann gezeigt werden, dass durch ein schichtsenkrecht elektrisches oder magnetisches Feld die Bedingungen für den ballistischen Transport begünstigt werden können.

Mit steigender Temperatur werden von außen wirkende Phononen des Siliziumcarbid-Substrats als Grund für eine verringerte Beweglichkeit und eine abfallende mittlere freie Weglänge bestimmt. Deshalb wird bei Raumtemperatur ein überwiegend diffusiver Transport mit einem positiven *Bend Resistance* beobachtet. Durch eine Wasserstoff-Interkalation nach dem Wachstum wird ein quasi-freistehender Graphen-Film entkoppelt vom Substrat gebildet. Für diesen Graphen-Film wird eine temperaturunabhängige mittlere freie Weglänge von  $l_e \approx 50 \text{ nm}$  aus den Transportparametern ermittelt. Dies lässt ballistischen Transport in epitaktischem Graphen bei Raumtemperatur erwarten. Jedoch wird ein Zusammenbruch des ballistischen Signals bis  $T = 75 \text{ K}$  beobachtet, was auf weitere temperaturabhängige Streuungen in eindimensionalen Strukturen hindeutet.

Zusammenfassend wird durch die Untersuchung der Streumechanismen und entsprechenden Modifikationen das Transportverhalten in epitaktischen Graphen-Filmen besser verstanden. Des Weiteren kann erstmals der ballistische Transport in epitaktischem Graphen nachgewiesen werden und damit das Potential der Filme für die Anwendung in integrierten Schaltungen mit neuartigen ballistischen Bauelementen demonstriert werden.