

Deutsche Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit untersucht die ultraschnelle Ladungsträgerdynamik in Graphit, Kohlenstoff-Nanoröhrchen und optisch ionisierten Gasen mit Hilfe der zeitaufgelösten THz-Spektroskopie. Bei dieser sogenannten Anrege-Abfrage-Technik regt ein sichtbarer Laserpuls die Probe an, die nach einer variablen Verzögerungszeit von einem THz-Puls abgefragt wird. Dabei hat man die volle Information über Amplitude und Phase des Abfragepulses und somit Zugriff auf die momentane komplexe dielektrische Funktion der Probe im Spektralbereich von etwa 10 bis 30 THz.

Im Halbmetall Graphit ergibt die Datenanalyse, daß mehr als 90 % der absorbierten Anregungsenergie innerhalb von 500 fs vom Elektronensystem ins Kristallgitter transferiert werden. Dies ist erstaunlich, da nur $\sim 1\%$ aller Phononenwellenvektoren an der Elektron-Phonon-Streuung teilnehmen können. Modellrechnungen zeigen, daß der Energietransfer von optischen Phononen mit sehr hohen Quantenergien und starker Kopplung an die Elektronen dominiert wird. Diese wenigen Phononenmoden heizen sich auf und werden auf einer Zeitskala von 5 ps durch andere, noch kalte Phononen abgekühlt. Diese Ergebnisse weisen einen Weg, wie man mit Hilfe eines kurzen Laserpulses selektiv wenige Gitterschwingungen eines Halbmetalls aufheizen kann.

In der Probe mit den Kohlenstoff-Nanoröhrchen wird der Anregungspuls sowohl von halbleitenden Röhren mit einer Bandlücke von ~ 1 eV als auch "metallischen" Röhren mit einer Bandlücke von 0 oder ~ 20 meV absorbiert. Die gemessenen THz-Spektren weisen *keine* Signatur freier Ladungsträger auf. Das ist ein klares Zeichen dafür, daß in halbleitenden Röhren hauptsächlich stark gebundene Exzitonen anstatt freier Elektron-Loch-Paare erzeugt werden. Spektrale Anteile mit verringerter Absorption werden durch das Blockieren von optischen Übergängen in den "metallischen" Röhren verursacht. Analog zu Graphit wird das Abklingen dieses Signals mit einer Zeitkonstanten von 1 ps auf das Kühlen heißer optischer Phononen zurückgeführt. Die spektralen Anteile mit erhöhter Absorption zeigen einen deutlichen Dichroismus, woraus wir auf eine Lokalisierung der zugrundeliegenden Anregungen auf einer Längenskala von 100 nm schließen. Intraexzitonische Übergänge werden als Quelle für dieses Signal vorgeschlagen. Seine Abklingzeit von 150 fs legt damit die Zeitskala für die Entvölkerung der höherliegenden exzitonischen Niveaus fest.

In den Experimenten mit Gasen ionisiert ein intensiver Anregungspuls etwa 1 % aller Moleküle. In Ar verschwinden die freien Elektronen auf einer Zeitskala von mehr als 1 ns. Dies ist eine Größenordnung langsamer als in O₂ und auf fehlende Dissipationskanäle für die

Deutsche Kurzfassung

kinetische Energie und Bindungsenergie des Elektrons zurückzuführen. Die Rekombinationsrate von Ar kann durch Zugabe des Schutzgases SF₆ enorm beschleunigt werden. In reinem SF₆ relaxiert die Elektronendichte mit einer Zeitkonstanten von nur 12 ps bei einer Elektronentemperatur von etwa 20000 K. Die elektronische Drude-Streureate steigt monoton mit der Elektronendichte und ist wesentlich größer als von einem Modell vorhergesagt, das auf der Boltzmann-Gleichung und Elektron-Ion-Streuung bei statischer Abschirmung basiert. Dies zeigt, daß weitere Effekte wie etwa Elektron-Elektron-Streuung und dynamische Abschirmung der Coulomb-Wechselwirkung bei der theoretischen Behandlung der Leitfähigkeit von Gasplasmen im THz-Bereich mitberücksichtigt werden müssen.