

## **DIPLÔME NATIONAL DE DOCTORAT**

**(Arrêté du 25 mai 2016)**

Date de la soutenance : **10 décembre 2024**

Nom de famille et prénom de l'auteur : **Madame Sana SALAMI**

Titre de la thèse : Transport électronique/thermique et phénomène thermoélectrique dans les nanostructures de diamant implantées



### **Résumé**

L'interaction entre les électrons et les phonons dans la matière condensée est responsable du couplage de leurs équations de transport, ce qui donne lieu à des effets d'entraînements mutuels sous l'effet d'un gradient de température (effet Seebeck) ou d'un courant de charge (effet Peltier). Dans certains matériaux, ces effets, connus sous le terme anglophone de « phonon drag », conduisent à des valeurs de coefficient Seebeck très élevées. Ils se manifestent généralement à basse température lorsque le libre parcours moyen des phonons est important, près du maximum en température de la conductivité thermique de réseau. Historiquement, ces effets de « drag » entre les électrons et les phonons ont été mis de côté dans les stratégies de recherche en thermoélectricité car ils coïncident avec un maximum de la conductivité thermique du réseau, ce qui limite l'efficacité thermoélectrique. Toutefois, des études réalisées en 2008 sur des systèmes de silicium nanostructurés ont montré que des effets Seebeck significatifs dus à ces effets de « drag » peuvent coexister avec une faible conductivité thermique du réseau. Les travaux théoriques traitant les équations de transport couplées ont apporté de

nouvelles perspectives, démontrant que les états de phonons dominant le transport de chaleur sont distincts de ceux qui sont principalement impliqués dans les effets de drag. L'objectif de ma thèse était de réaliser des expériences pour explorer un nouveau concept d'effets « drag » entre les électrons et les phonons, séparés par une interface. J'ai étudié les propriétés de transport des électrons confinés dans un canal conducteur sous la surface d'un diamant cristallin agissant comme un bain de phonon externe constitué d'états de phonon propagatifs. Mon travail inclut l'élaboration des systèmes, leur caractérisation structurale et le développement de protocoles de mesure pour la conductance et le coefficients Seebeck pour des systèmes conducteurs enterrés. J'ai étudié les propriétés de transport de canaux produits dans différentes conditions d'implantation et de recuit pour comprendre les liens entre leur microstructure et leurs propriétés de transport électronique. Dans la première étude, j'ai mesuré la conductance et le coefficient Seebeck dans des canaux épais (~145 nm) enfouis à environ 200 nm sous la surface du diamant. Ces canaux, créés par implantation ionique d'hélium à une fluence modérée suivie d'un recuit à haute température, présentaient principalement une microstructure graphitique. À température ambiante, la conductance est proche de celle du graphite massif. Le coefficient Seebeck présentait un comportement à basse température similaire à celui du graphite, avec un pic négatif attribué aux effets de traînée. Toutefois, ce pic est apparu à une température nettement plus élevée que dans le cas du graphite massif, ce qui pourrait être une première indication des contributions supplémentaires des phonons du diamant. Dans la seconde étude, j'ai examiné des canaux de dimensions similaires mais soumis à une fluence d'implantation plus faible ou recuits à des températures plus basses. Ces canaux présentent une microstructure désordonnée complexe composée d'agrégats d'atomes de carbone avec une hybridation  $sp$ ,  $sp^2$  et  $sp^3$ . La conductance et le coefficient Seebeck en fonction de la température varient de manière significative par rapport à la première étude. Le coefficient Seebeck est positif et atteint plusieurs milliers de  $\mu V/K$  à basse température. Les propriétés de transport ont été interprétées à l'aide de la théorie du chaos quantique. Mon travail montre la faisabilité des mesures de conductance et du coefficient Seebeck à basse température à travers des canaux conducteurs enfouis sous la surface du diamant et met en évidence la richesse des propriétés de conduction de ces canaux qui peuvent être accordées en contrôlant leur microstructure par un choix judicieux des paramètres d'implantation et de recuit.

**Mots-clés :**

interaction électron-  
phonon, seebeck, diamant  
implanté, phonons, confinement,