



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Applications of graphene in nanotechnology : 1D diffusion, current drag and nanoelectrodes

Vrbica, S.

Citation

Vrbica, S. (2018, December 12). *Applications of graphene in nanotechnology : 1D diffusion, current drag and nanoelectrodes*. *Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/68258>

Version: Not Applicable (or Unknown)

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/68258>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/68258> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Vrbica, S.

Title: Applications of graphene in nanotechnology : 1D diffusion, current drag and nanoelectrodes

Issue Date: 2018-12-12

SAMENVATTING

De voornaamste beweegreden en het voornaamste doel van ons onderzoek was om electromigratie op atomaire schaal te begrijpen (**Hoofdstuk 2**). De met deze experimenten verkregen kennis zou aanwijzingen kunnen geven op onbeantwoorde vragen over stroom-geïnduceerde krachten. Grafeen op een isolerend substraat was de eerste keuze voor dit onderzoek, aangezien daarin de stroom geconcentreerd blijft in één enkele laag atomen. Electromigratie zou waargenomen kunnen worden door middel van de stroom-geïnduceerde beweging van individuele adatomen, die zijn gedeponeerd op het oppervlak, hetgeen te zien zou moeten zijn met behulp van een scanning tunneling microscoop (STM). Grafeen op Si/SiO₂ had echter een aantal nadelen die ons belemmerden om de electromigratie van adatomen op het oppervlak waar te nemen bij de stromen die we konden maken met de STM. Grafeen nano-‘lintjes’ (Graphene nanoribbons, GNR) daarentegen, bleken een goed alternatief te zijn voor grafeen, alhoewel het onderliggende substraat geleidend was en daarmee de stroom niet slechts beperkt bleef tot de GNR. We hebben armchair GNRs gegroeid op Au(111), waarop we cobalt atomen opdampten. Door de naald van de STM te gebruiken om een spanningspuls te sturen terwijl deze in contact is met de GNR, hebben we een één-dimensionale migratie van Co adatomen bewerkstelligd op de GNRs. We hebben geen migratie gezien van adatomen in een specifieke richting, wat zou duiden op stroom-geïnduceerde krachten. Dit komt waarschijnlijk door te lage stroomdichtheden. De resultaten laten zien dat de migratie van Co op de GNR voornamelijk wordt veroorzaakt door thermische activatie. Temperatuurafhankelijke diffusiemetingen hebben ons inzicht gegeven in de relatieve energiebarrières voor Co adatomen op goud en GNR's. Wij verwachten dat met behulp van deze methode stroom-geïnduceerde beweging kan worden waargenomen en gekwantificeerd wanneer de GNR gedeeltelijk gescheiden kan worden van het substraat door een isolerende laag.

Het onderzoek naar electromigratie was ook de motivatie voor het tweede deel van het onderzoek dat in dit proefschrift wordt gepresenteerd (**Hoofdstuk 3**). De recente observatie dat het slepen van een druppel over een strook grafeen een spanning induceert over de uiteinden van de strook, heeft ons geïnspireerd om de volgende vraag te stellen: is het mogelijk om het tegenovergestelde te doen? Experimenten laten zien dat het niet mogelijk is om een druppel te laten bewegen door een spanning aan te leggen over de uiteinden van een strook grafeen. Om de rol van de ionenadsorptie, formatie van een elektrische dubbellaag en formatie van een pseudocondensator te begrijpen, hebben we een aantal ionische vloeistoffen onderzocht. De resultaten voor een waterige NaCl oplossing heeft ons laten zien dat het

spanningssignaal lineair afhankelijk is van de verplaatsings-snelheid van de druppel. Ook is het teken van het spanningssignaal afhankelijk van de richting waarin de druppel zich beweegt. We hebben ook gezien dat het geïnduceerde spanningssignaal door een bewegende druppel groter is bij een 0.01 M concentratie dan bij een 0.6 M concentratie. Daarnaast hebben we gebruik gemaakt van ionische vloeistoffen waarvan we kunnen aannemen dat deze sterk kunnen binden aan grafeen/PET: natriumbenzeensulfonaat en benzeensulfonzuur. Dit leidde tot de interessante ontdekking, dat na het gebruik van deze ionische vloeistoffen op het grafeen, we een geïnduceerde spanning vonden wanneer een druppel gedistilleerd water over het grafeen wordt verplaatst. Dit was een indicatie dat bepaalde types ionen zich zodanig sterk binden aan het oppervlak dat ze de ionische druppel verlaten en een geladen laag vormen op grafeen. We concludeerden dat de polariseerbaarheid van water een bijdrage geeft aan het spanningssignaal, die bijna zo groot is als dat ten gevolge van ionische vloeistoffen, wanneer de waterdruppel over een geladen grafeenoppervlak wordt bewogen.

Zoals vaak het geval is in wetenschappelijk onderzoek, ontstaat er kennis (en interesse) in onderwerpen die zich ver van het initiële onderwerp bevinden. Na het uitvoeren van tal van experimenten op grafeen, waren we klaar om een volgende stap te zetten en te proberen atomair dunne nanoelectrodes te ontwerpen met een reproduceerbare en betrouwbare fabricatiemethode. Dit project, beschreven in **Hoofdstuk 4**, was in het bijzonder aantrekkelijk omdat het perspectief biedt op toepassingen, zoals electrontransportmetingen op enkele moleculen en het uitlezen van de bouwsteenvolgorde van biopolymeren. We presenteren een aantal mogelijke methodes for het maken van grafeenelectrodes op Si/SiO₂: de gebroken grafeen- en de geëtste grafeenmethode. Terwijl de gebroken grafeenmethode onbruikbare resultaten gaf, was de geëtste grafeenmethode erg succesvol. Alle technieken die gebruikt worden om geëtste grafeenranden te karakteriseren (Raman-spectroscopie, SEM, AFM en elektronische metingen) bevestigen unaniem dat het grafeen tot aan de rand komt binnen de respectievelijke resoluties van elk van de gebruikte technieken. Door gebruik te maken van een gemodificeerde STM en positionering van de grafeen preparaten onder een kleine hoek, hebben we de eerste instelbare tunneljunctie gerealiseerd tussen twee grafeenrandelectrodes. Door de electrodes dichter naar elkaar toe te brengen, zijn we erin geslaagd om een brug te vormen ter grootte van een enkel atoom tussen de twee randen van grafeen.