

University of Groningen

## Electric field modulation of spin and charge transport in two dimensional materials and complex oxide hybrids

Ruiter, Roald

**IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.**

*Document Version*

Publisher's PDF, also known as Version of record

*Publication date:*

2017

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

*Citation for published version (APA):*

Ruiter, R. (2017). *Electric field modulation of spin and charge transport in two dimensional materials and complex oxide hybrids*. [Thesis fully internal (DIV), University of Groningen]. Rijksuniversiteit Groningen.

### Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

### Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

*Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.*

# SAMENVATTING

---

In ons dagelijkse leven komen we tegenwoordig meer en meer op nanoelektronica gebaseerde technologie tegen. Daarnaast volgen nieuwe toepassingen elkaar in rap tempo op. Ongeveer elk decennium wordt er een nieuwe toepassing gevonden, doordat de elektronische componenten van geïntegreerde circuits steeds kleiner worden. Enkele recente voorbeelden zijn de laptop, smartphone, en de zogenaamde draagbare elektronica zoals slimme horloges.

Jarenlang konden de elektronische componenten van geïntegreerde circuits worden verkleind zonder dat het totale energieverbruik van een chip werd verhoogd. Rond het jaar 2000 hield deze trend echter op. Dit kwam doordat de componenten tegen natuurkundige grenzen aanliepen: barrières werden zo dun dat elektronen erdoorheen tunnelden. Dit veroorzaakte lekstromen, ook wanneer het component uit stond. Om dit probleem te omzeilen zijn onderzoekers en bedrijven op zoek naar alternatieve technologieën en materialen.

Één alternatieve technologie gebruikt de spin van een elektron, in plaats van de lading die we nu gebruiken, om informatie te transporteren, te manipuleren en op te slaan. Vanwege het gebruik van de spin wordt dit veld ook wel de *spintronica* genoemd. Spintronica heeft de potentie om energiezuiniger te zijn, doordat voor een spinstroom in principe geen (warmte veroorzakende) ladingsstroom nodig is.

Het gebruik maken van de elektronspin is overigens niet nieuw; spintronische elementen worden al enkele decennia gebruikt in harde schijven. Hierbij is een ladingsstroom echter nog wel een vereiste. Voor het reduceren van het ladingscomponent en voor het ontwikkelen van computercomponenten die gebaseerd zijn op spintronica worden nieuwe materialen onderzocht.

Een veelbelovend materiaal voor spintronica applicaties is grafeen. Grafeen is een tweedimensionaal materiaal dat bestaat uit koolstofatomen die zijn geordend in een honingraadstructuur. Een van de uitzonderlijke eigenschappen van grafeen is het vermogen om elektronspins te vervoeren over recordlengtes op kamertemperatuur. Dit maakt grafeen aantrekkelijk voor spintronica toepassingen.

De tweedimensionaliteit maakt het materiaal echter heel beïnvloedbaar door de omgeving. Een van de eigenschappen die makkelijk kan worden beïnvloed is de spinrelaxatielengte. Om deze lengte te maximaliseren wordt er veel onderzoek gedaan naar welke factoren hierop van invloed zijn.

Dit proefschrift draagt hieraan bij, beginnende in hoofdstuk 4, waarin we beschrijven hoe we grafeen op een  $\text{SrTiO}_3$  substraat hebben geplaatst. De permittiviteit van  $\text{SrTiO}_3$  ligt op kamertemperatuur een factor 100 hoger dan die van  $\text{SiO}_2$ , een ander veel gebruikt substraat. Daarnaast is de permittiviteit afhankelijk van de temperatuur en kan de waarde van de relatieve permittiviteit oplopen tot  $2 \times 10^4$  op 4 K. Door temperatuurafhankelijke ladings- en spintransport metingen te doen, hebben we onderzocht wat de invloed is van een omgeving met hoge en veranderende permittiviteit op elektronspins.

We vonden dat de spin relaxatie lengte van  $1 \mu\text{m}$  in grafeen op  $\text{SrTiO}_3$  op kamertemperatuur, welke vergelijkbaar is met dat van grafeen op  $\text{SiO}_2$ . Op lagere temperaturen, en dus hogere waarden van de permittiviteit, zagen we kleine fluctuaties in de spin relaxatie lengte. Eerst nam de lengte toe tot  $2 \mu\text{m}$  op 200 K en nam daarna af tot  $1 \mu\text{m}$  op 4 K.

De oorzaak van de variatie in spinrelaxatielengte bij veranderende temperatuur is volgens ons te wijten aan variatie in de ladingsdichtheid van grafeen. Deze veranderende ladingsdichtheid hebben we ook gezien in onafhankelijke Hall metingen die we hebben verricht. Deze variatie komt mogelijk door veranderingen in de permittiviteit van  $\text{SrTiO}_3$ , welke op hun beurt weer de grootte van het elektrisch veld veranderen. Dit elektrisch veld wordt veroorzaakt door intrinsieke dipolen die zich aan het oppervlak van het  $\text{SrTiO}_3$  substraat bevinden.

In hoofdstuk 6 onderzochten we een ander cruciaal element voor spintronische applicaties: de tunnelbarrière. Vorige studies hebben aangetoond dat de kwaliteit van de tunnelbarrière een grote invloed kan hebben op de spinrelaxatielengte. We onderzochten de mogelijkheid om  $\text{MoS}_2$  (een tweedimensionaal gelaagde halfgeleider) te gebruiken als tunnelbarrière.  $\text{MoS}_2$  heeft als mogelijke voordelen dat er geen gaten inzitten en de dikte makkelijker te beheersen is.

We plaatsten  $\text{MoS}_2$  tussen de Au/Ti contacten en een grafeen kanaal en onderzochten vervolgens het ladingstransport door de  $\text{MoS}_2$  barrières. De resultaten van deze metingen hebben we vergeleken met de Rowell criteria. Deze criteria hebben we vervolgens gebruikt om te beoordelen of tunnels het dominante transportproces was door de  $\text{MoS}_2$  tunnelbarrières.

De Rowell criteria luiden als volgt: 1) de weerstand van een barrière waarover geen spanning is aangebracht, moet licht toenemen naarmate de temperatuur afneemt; 2) de weerstand van de barrière moet exponentieel toenemen naarmate de dikte van de barrière toeneemt; en 3) wanneer de geleiding van de barrière wordt uitgezet tegen de aangebrachte spanning, moet er een parabolische relatie zichtbaar zijn. Daarnaast moet deze relatie overeenkomen met een theoretisch model zoals die van Brinkmann of Simmons.

Hierbij vonden we dat er wordt voldaan aan de eerste twee criteria, maar dat het derde criterium moeilijker te bevestigen is. We zagen inderdaad een niet-lineaire relatie tussen de geleiding van de barrière en de aangelegde spanning, maar dit kwam niet overeen met het Brinkmann of Simmons model als we realistische waarden voor de model parameters aannamen. Dit kwam waarschijnlijk doordat deze modellen aannemen dat er gebruik wordt gemaakt van metaalcontacten. Voor metalen geldt dat de dichtheid van beschikbare elektronstaten langzaam varieert met de elektrongolfenlengte (energie) binnen de experimentele energiebandbreedte. Omdat we gebruikmaken van grafeen, een materiaal met een sterk energieafhankelijke beschikbare elektronstatendichtheid, gelden deze modellen waarschijnlijk niet. We benutten de energieafhankelijkheid echter ook door middel van het *gaten* van het grafeen, waarmee we de geleiding van de barrière kunnen variëren.

In het vijfde hoofdstuk onderzochten we de mogelijkheid om de grootte en het teken van het spinsignaal aan te passen. Dit is een hele belangrijke parameter voor applicaties, omdat het ons een 'knop' geeft waarmee we de spinsignalen kunnen manipuleren. We onderzochten dit door spinaccumulatie te bestuderen in een Nb gedoteerd  $\text{SrTiO}_3$  halfgeleidersubstraat en ferromagnetische kobaltcontacten. In dit systeem maten we een spinsignaal dat toenam bij een toenemend voltage, maar dat bij het afkoelen van het systeem rond  $\sim 130\text{K}$  van teken wisselt. Bij temperaturen onder de  $130\text{K}$  konden we vervolgens de aangebrachte spanning over de junctie gebruiken om het teken van het spinsignaal te veranderen van positief naar negatief, of andersom.

We denken dat de tekenwissel wordt veroorzaakt door het sterke niet-lineaire gedrag van de relatieve permittiviteit van Nb gedoteerd  $\text{SrTiO}_3$ . De permittiviteit

van dit materiaal is afhankelijk van zowel de temperatuur als het elektrische veld. Daarom leidt dit tot veranderingen in het profiel van de Schottky barrière wanneer een of beide parameters worden aangepast. We weten dat de precieze vorm van de Schottky barrière van invloed kan zijn op het tunnelgedrag van de barrière. We denken daarnaast dat veranderingen in het profiel van de barrière ook van invloed kunnen zijn op de polarisatie van de tunnelende elektronen.

