

University of Groningen

## Spin transport and spin dynamics in antiferromagnets

Hoogeboom, Geert

DOI:  
[10.33612/diss.157444391](https://doi.org/10.33612/diss.157444391)

**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:*  
2021

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

*Citation for published version (APA):*  
Hoogeboom, G. (2021). *Spin transport and spin dynamics in antiferromagnets*. [Thesis fully internal (DIV), University of Groningen]. University of Groningen. <https://doi.org/10.33612/diss.157444391>

### 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 een ferromagneet leidt de ordening van de magnetische momenten tot een spontaan magneetveld. In een antiferromagneet wordt het magneetveld van het ene magnetische moment teniet gedaan door diens buurman. Ferromagneten zijn ontdekt doordat ze een interactie aangaan met andere materialen door ze aan te trekken of af te stoten. Dit heeft geleid tot tal van toepassingen zoals dataopslag op band of op harde schijven. Zonder spontaan magneetveld is de magnetische interactie met antiferromagneten nihil waardoor toepassingen niet voor de hand lagen. In deze thesis onderzoeken we hoe we een interactie aan kunnen gaan met elektrisch isolerende antiferromagneten door spins te injecteren.

Naast lading heeft een elektron de kwantummechanisch beschrijfbare eigenschap 'spin', wat klassiek kan worden gerepresenteerd als een draaiing van het elektron. Het injecteren van een spin in de antiferromagneet berust op de interactie van de spin met een orbitaal. In het zware metaal Pt is deze interactie dusdanig sterk dat het traject van het elektron wordt afgebogen in de richting loodrecht op de spin richting. Met dit spin Hall effect (SHE) kan een elektronenstroom worden omgezet in een spin stroom en visa versa het inverse spin Hall effect (ISHE). Bij geleiding vind er verstrooiing plaats en verandert de richting van een spin gemiddeld na zo'n 3 nm veranderd. Door gebruik te maken van dunne lagen van Pt kan een spinstroom effectief worden gecreëerd en gedetecteerd door grensvlakken met een antiferromagneet. De grootte van de opgewekte en gedetecteerde spinstromen hangt af van de magnetische orde: de Néel vector en diens excitaties.

Alle magnetische momenten in gelijke staat worden gecategoriseerd in eenzelfde subrooster. Bij antiferromagneten zijn de subroosters in tegengestelde richting. Het verschil van deze subroosters is gelijk aan de Néel vector wiens richting kan worden beïnvloed door een sterk magneetveld. De weerstand van het Pt varieert vervolgens

door de combinatie van het SHE en het ISHE; 'spin Hall magnetoresistance' (SMR).

De SMR techniek is gebruikt voor het onderzoeken van verschillende soorten magneten zoals collineaire en niet-collineaire ferrimagnetten en spin spiralen. Bij onderzoek naar spin spiralen werd duidelijk dat de interactie met individuele subroosters afzonderlijk bijdragen aan het SMR signaal. Omdat het SMR signaal kwadratisch afhangt van de richting van de subroosters bleek het mogelijk om verschillen in de Néel vector te meten als functie van het magneetveld en de temperatuur. Door de symmetrie en interacties in NiO bevat het vele mogelijke magnetische domeinen; gebieden met gelijke magnetische orde, welke worden beïnvloed door het magnetische veld via de Zeeman energie. De temperatuur speelt een rol door middel van excitaties, magnonen, die de grootte van de Néel vector op een voorspelbare manier beïnvloedden.

Na het bewijzen van de werking van deze techniek in het 'simpele' steenzoutstructuur was een volgende stap het onderzoeken van de antiferromagneet  $\text{DyFeO}_3$  met een interessante rol van het orbitaal moment van het zeldzame aardmetaal Dy. De Dzyaloshinskii-Moriya interactie zorgt ervoor dat de magnetische momenten van Fe gefrustreerd zijn, wat zorgt voor een zwak magnetisch veld die kan koppelen aan het aangelegde magnetische veld. Verder heeft de Néel vector heeft een voorkeursrichting die ook kan worden beïnvloed door het aangelegde magneetveld door middel van de Zeeman energie. Deze eigenschappen kan de beïnvloeding van de Néel vector verklaren, maar niet de grootte van het signaal. Deze hangt lineair af van de grootte van het aangelegde magneetveld en dusdanig van de temperatuur die alleen kan worden verklaard door de invloed van het orbitaal moment van Dy.

Op lagere temperaturen dan 50 K is worden er eerste-orde Morin transitie geobserveerd, waarbij de Fe Néel vector  $90^\circ$  roteert. Echter, vanaf 23 K zijn er waarnemingen van magnetisch veld geïnduceerde orde die niet kunnen worden verklaard door de Fe spins. Deze kenmerken lopen over in de ordeningskarakteristieken beneden de ordeningstemperatuur van Dy op 4 K en worden dus toegeschreven aan deze orbitaalmomenten.

Naast SMR vertonen NiO en  $\text{DyFeO}_3$  het spin Seebeck effect (SSE). De elektronenstroom in Pt zorgt voor Joule verwarming die een stroom van magnetische excitaties, magnonen, veroorzaakt richting de koudere gedeeltes. Een magnon is een spingolf bestaande uit quasi-deeltjes die een hele spin  $\hbar$  bevatten. Antiferromagnetten hebben typisch twee modi van magnonen met gelijke energie maar met tegengestelde spin. Met gelijke populatie leidt de magnonenstroom niet tot een spinstroom. Een magneetveld verschuift deze energieën zodat er een onbalans komt in

de populatie van de verschillende magnonen en de magnonenstroom dan een spinstroom met zich meedraagt.

NiO bevat vele soorten magnon modi met verschillende energieverhuivingen die worden veroorzaakt door een aangelegd magneetveld. Deze veranderingen zijn zorgen voor het SSE signaal op lage temperaturen zoals bevestigd met modellering. De magnonen worden gecreëerd door de Joule verwarming in een dunne Pt strip waarna ze via bulk NiO getransporteerd worden naar eenzelfde detecterende Pt strip. In ferromagneten vervallen magnonen volgens een diffusie-relaxatiemodel, wat zorgt voor een exponentiële afname met afstand tussen de strips. In NiO zijn er echter grote lokale variaties. Tegelijkertijd nemen de signaalgrootte en de spreiding in de datapunten toe. Een verklaring kan zijn dat het magnon-chemische potentiaal onderhevig is aan lokale ophopingen van de magnonen wat kan voorkomen bij kristallografische onzuiverheden of domeingrenzen.

Om de effecten van onzuiverheden en daarbij in invloed van een aangrenzende ferromagnetische laag op spinstromen door NiO verder te onderzoeken, werden dunne films van NiO gegroeid op de ferromagneet YIG. In de eerder besproken niet-lokale geometrie met Pt strips werden deze dubbellagen onderzocht op hun vermogen om spinstromen over te brengen die op verschillende manieren zijn opgewekt over grotere afstanden.

De NiO-films blijken een variabele transparantie te hebben voor het spinoverdrachtskoppel (i.e. spin-transfer torque) dat wordt toegepast tijdens een SMR-meting. Bij kamertemperatuur bereikt de spinstroom de YIG, waarna de informatie over de magnetische volgorde van de YIG wordt teruggevoerd naar de Pt. Bij lage temperaturen bereikt deze spinstroom de Pt niet meer en wordt het signaal gedomineerd door de interactie met de magnetische orde van NiO. Magnonen, elektrisch geïnjecteerd door de SHE of door verwarming als de SSE, vertonen een vergelijkbare temperatuurafhankelijkheid; de spinstroom gemeten bij de detector wordt gedempt op lagere temperaturen. Dit geldt voor de spinstromen geïnduceerd met het SSE in de YIG die de NiO laag één maal passeren, maar nog sterker voor de elektrisch geïnjecteerde magnonen die twee keer de NiO laag passeren voordat ze gedetecteerd worden. Op zeer lage temperaturen worden opnieuw SSE signalen waargenomen, vergelijkbaar met de SSE-signalen in bulk NiO. Hoewel de films niet transparant zijn voor elektrisch geïnjecteerde magnonen, lijken ze wel transparant voor de door warmte gegenereerde magnonen.

Het effect van ordening wordt onthuld door magnetische veldafhankelijke metingen. Alle SMR-signalen veranderen kwadratisch bij het vergroten van het magnetis-

che veld. Voor dunne films komt dit door een verhoogde doorlaatbaarheid voor de spintroom terwijl de grotere Néel-orde in dikkere films zorgt voor de kwadratische afhankelijk van het magnetische veld. Bij de SSE signalen op lage temperatuur wordt een toename van het SSE signaal waargenomen op een manier gelijkende het SSE signaal vanuit bulk NiO, wat duidt op NiO als oorsprong van het SSE signaal.