



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Magnetic imaging of spin waves and magnetic phase transitions with nitrogen-vacancy centers in diamond

Bertelli, I.

Citation

Bertelli, I. (2021, November 24). *Magnetic imaging of spin waves and magnetic phase transitions with nitrogen-vacancy centers in diamond*. *Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3245183>

Version: Publisher's Version

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

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/3245183>

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

SAMENVATTING

De elementaire excitaties van magneten zijn spingolven en hun bijbehorende quasideeltjes heten *magnonen*. Het snelgroeivende veld van de *magnonica* poogt deze te gebruiken als informatiedrager in een nieuwe generatie elektronica, (bijna) gevrijwaard van elektrische stromen. Het coderen van informatie in de amplitude en/of fase van deze coherente golven zou kunnen leiden tot een drastische afname in gedissipeerd vermogen, wat typisch wordt veroorzaakt door de beweging van elektronen (het "joule-effect").

Dit proefschrift beschrijft zowel de ontwikkeling als het gebruik van een nieuwe techniek om spingolven te bestuderen. Deze techniek gebruikt de elektronenspinnen van stikstof-gat (NV) centra als magneetveldsensoren. Een NV centrum is een luminescerend defect in het kristalrooster van diamant. De helderheid van de emissie hangt af van de toestand van de spin, die gevoelig is voor magneetvelden. Op deze wijze kunnen magnetische eigenschappen met optische technieken bestudeerd worden.

Het hiervoor genoemde veld van de *magnonica* wordt beschreven in Hoofdstuk 1, waar we de grote potentie voor technologische innovatie bespreken, die leidt tot verschillende onderzoeksrichtingen en de ontwikkeling van magnetische beeldvormingstechnieken. In Hoofdstuk 2 zetten we de structurele, elektronische en optische eigenschappen van NV centra uiteen en worden de op NV centra gebaseerde experimentele technieken geïntroduceerd, die in dit proefschrift worden gebruikt om statische en oscillerende magnetische velden te detecteren.

In Hoofdstuk 3 presenteren we een theoretische beschrijving van spingolven, waar hun dispersierelatie wordt afgeleid uit de vergelijkingen van magnetisatiedynamica (de Landau-Lifshitz-Gilbert vergelijking). Vervolgens laten we vergelijkingen zien die de inductieve excitatie van spingolven beschrijven (relevant voor Hoofdstuk 4-5) en de demagnetiserende velden die zij genereren, wat een opstap vormt naar de op stikstof-gat centra gebaseerde detectie van spingolven.

In Hoofdstuk 4 presenteren we een techniek voor fasegevoelige beeldvorming van coherente spingolven via hun magnetisch demagnetisatieveld. Deze techniek maakt gebruik van de interferentie tussen het spingolf-veld en het homogene magneetveld van een nabije microgolfantenne, die dezelfde frequentie en een vaste faserelatie hebben, waardoor hun interferentie stationair is. Op deze wijze kunnen we de amplitude van spingolven, die resonant zijn met de NV spin, in kaart brengen. Met kennis van het homogene veld kan het spingolfveld gereconstrueerd worden, waardoor in modelleerbare geometrieën de amplitude van het spingolfveld zelfs kwantitatief gemeten kan worden.

De ontwikkelde techniek biedt de mogelijkheid om door materialen heen te kijken, een "doorzichtige" eigenschap die we in Hoofdstuk 5 inzetten om spingolven in beeld te brengen die zich voortplanten onder dunne metallische elektroden, waarbij we kwantitatief hun dempende werking karakteriseren. Deze techniek is relevant voor structuren waarin excitatie, controle en detectie van spingolven via metallische contacten bereikt wordt. We ontdekken een 100-voudige toename in spingolfdemping en laten zien dat dit overeenstemt met een effectieve demping die berekend wordt door wervelstromen in de LLG-vergelijking te implementeren op zelf-consistente wijze.

In Hoofdstuk 6 focussen we op thermisch geëxciteerde spingolven en karakteriseren we het magnetische ruisspectrum dat zij genereren via *relaxometry* – het initiëren van de spin in een deterministische staat, om vervolgens zijn decoherentie in de tijd te meten. Zulke ruis is gerelateerd aan de excitaties van het systeem via het fluctuatie-dissipatie-theorema. De resultaten komen goed overeen met een theoretisch model gebaseerd op een chirale koppeling tussen de spingolven en de NV spin. Echter, wij observeren verrassende afwijkingen bij de ferromagnetische resonantiefrequentie, die op de aanwezigheid van inhomogeniteiten in het systeem duiden.

Stikstof-gat centra zijn uitstekende sensoren voor plaatselijke magneetvelden. Een uitdaging die met deze *plaatsgebondenheid* meekomt is het effectief detecteren van *globale* eigenschappen, zoals de temperatuur van een faseovergang. In Hoofdstuk 7 laten we zien dat een mogelijk antwoord op deze uitdaging gevormd wordt door statistische analyse om ruimtelijke correlaties te kwantificeren. We passen een dergelijke methode toe om de temperatuur-gedreven metamagnetische (i.e. van antiferromagnetisch naar ferromagnetisch) faseovergang van de metallische legering FeRh. We brengen de nucleatie, groei en samensmelting van magnetische domeinen in beeld en vinden bewijs voor de aanwezigheid van een heroriëntatie van domeinen door de faseovergang.