



Universiteit  
Leiden  
The Netherlands

## Spin transport and superconductivity in half-metallic nanowires and junctions

Yao, J.

### Citation

Yao, J. (2023, July 5). *Spin transport and superconductivity in half-metallic nanowires and junctions*. *Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3629768>

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/1887/3629768>

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

# Samenvatting

Dit proefschrift houdt zich bezig met spin transport in normale metalen en supergeleidende halfmetallische juncties. Spin transport hangt sterk samen met de spin polarisatie ( $P$ ) van materialen. Halfmetallische ferromagneten, ook halfmetalen genoemd, zijn van belang voor efficiënte spin injectie; maar ook als supergeleidend spin transport kanaal tussen twee supergeleidende electrodes. Er zijn echter weinig halfmetalen. Hier bestuderen we het oxide-perovskiet materiaal  $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$  (LSMO) in combinatie met normale metalen (Pt en Ag) of de supergeleider NbTi.

In Hoofdstuk 3 wordt het pinnen en ontpinnen van domeinwanden (DWs) bestudeerd met behulp van halfmetallische LSMO nanostructuren met een inkeping waar de DW wordt vastgehouden. Zulke domeinwanden kunnen stabiel gepind en ontpind worden tussen 10 K en 300 K, wat wordt waargenomen door het registreren van de magnetoweerstand gedurende een magneetveld verandering. We vinden een bijna lineaire afname van de pinvelden met toenemende temperatuur. Interessant is dat zowel de weerstandstoename  $\Delta R$ , als een DW gepind wordt, en  $\Delta R/R_0$  (met  $R_0$  de weerstand van de nanostructuur) evenredig zijn met de temperatuur en een maximum bereiken bij 300 K. Ons werk geeft aan dat het mogelijk is om DW's te creëren en te manipuleren in halfmetallische LSMO over een breed temperatuurbereik. De openstaande vraag is of pinning en ontpinning ook mogelijk is met een (per definitie spin-gepolariseerde) transportstroom, via het mechanisme van spin-transfer geïnduceerde torsie. Er is onderzoek dat drempelstromen rapporteerde van de orde van  $10^8 \text{ A/m}^2$  in halfmetallische draden, wat een lage waarde zou zijn. Een systematische studie ontbreekt nog.

In Hoofdstuk 4 wordt de spininjectie van LSMO in Ag onderzocht. In een niet-lokale meetconfiguratie, waar een staafvormige injector met een brug van een normaal metaal verbonden is aan een staafvormige detector, kan een spin potentiaalverschil worden opgewekt door een elektrische stroom door het grensvlak tussen injector en N-metaal te sturen. Een spanning, gemeten in de detector, toont dan ondubbelzinnig aan dat er een zuivere spinstroom in de Ag-brug wordt geïnjecteerd. Het gedrag van spintransport in Ag wordt grondig geanalyseerd, zoals spinpolarisatie en spin-levensduur, enz., door de afstand tussen de injector en detector te variëren. De verkregen resultaten zijn consistent met de waarden afgeleid uit Hanle-precessiemetingen (met een magneetveld loodrecht op de brug). Theoretisch is er geen 'geleidings-mismatch' probleem te verwachten in het LSMO/Ag-systeem, vanwege de verschillen in weerstand en de spin-diffusielengte in Ag. Dit zou moeten leiden tot een hoge spinpolarisatie van

de geïnjecteerde spinstroom. De experimentele resultaten zijn echter niet in overeenstemming met de berekende waarden, vanwege het bestaan van een spin-actief grensvlak. We concluderen dat halfmetallisch LSMO een efficiënte spininjector kan zijn, als het grensvlak zorgvuldig gemaakt wordt. Door een epitaxiaal grensvlak te maken, met atomaire gladheid, is een hoge spinpolarisatie van de geïnjecteerde spinstroom te verwachten.

Een intrigerend resultaat wordt gepresenteerd in Hoofdstuk 5, waar we laten zien dat een spin-gepolariseerde superstroom, gedragen door gelijkgerichte spins, wordt gegenereerd in laterale NbTi/LSMO juncties met verschillende geometrische vormen. We zien een toestand met nul weerstand in alle stroom-spanningscurves die bij verschillende temperaturen zijn genomen, als zijnde een handtekening van de supergeleidende juncties. Door de supergeleidende quantuminterferentie (SQI) patronen te onderzoeken, vinden we ondubbelzinnig de aanwezigheid van Josephson-koppeling in schijfvormige, staafvormige en vierkante verbindingen, respectievelijk. Bovendien tonen de Fourier-analyses op de verkregen SQI-patronen een rand-superstroom in de schijfvormige juncties, maar een relatief homogene verdeling van superstroom in de vierkante en staafvormige verbindingen. Anders dan in eerder werk met het Nb/Co-schijfvormige juncties zijn hier de triplet-superstromen zeer robuust tegen het aanleggen van een in-vlak magnetisch veld, zelfs tot 200 mT, waar de spin-textuur verdwenen is. We schrijven dit fenomeen toe aan de halfmetallische aard van LSMO, met slechts één spintoestand. Bovendien onthult de waarneming van triplet-generatie in een NbTi/Ag(10 nm)/LSMO device dat de conversie van singlets naar triplets mogelijk wordt gedreven door de magnetische inhomogeniteit in de toplaag van het LSMO, en niet door interfacekoppeling.

Naast de analyse van de stroomdichtheidsverdeling werd ook de temperatuurafhankelijkheid van de kritische superstroom  $I_c(T)$  grondig gemeten en geanalyseerd. Theoretici voorspellen een plateau, of zelfs een piek in de  $I_c(T)$  van supergeleidende halfmetallische verbindingen als gevolg van de exotische pairing-symmetrie, die zeer robuust zou zijn, ongeacht of er sprake is van een schoon of diffusief regime. Hier is de lengte van de schijfvormige junctie vergelijkbaar met de defaseringslengte van de triplet correlaties. Daarom beschouwen we een 'korte' junctie en  $I_c(T)$  wordt verwacht  $(1 - T/T_c)^2$  afhankelijkheid te volgen, wat goed overeenkomt met onze metingen. Een maximum in  $I_c(T)$  is echter nog steeds niet gevonden.

Om meer inzicht te krijgen in de mysteries van triplets in supergeleidende halfmetallische juncties, bestuderen we in Hoofdstuk 6 lange NbTi/LSMO-juncties. De lengte van de junctie is in dit geval veel groter dan de defaseringslengte van de triplet correlaties. We zien supergeleiding, of de aanzet daarvan, in alle juncties, met verschillende afmetingen, als gevolg van het langeafstands proximity effect. De Josephson-koppeling wordt ook onderzocht door de SQI-patronen te inspecteren. In tegenstelling tot het geval bij korte juncties vertonen lange juncties allemaal een Gaussisch SQI-patroon. We

nemen aan dat het transportregime van triplet-supercurrents diffusief is. Verder wordt  $I_c(T)$  gemeten tot 1.5 K, maar er wordt geen maximum waargenomen. Een kwantitatieve analyse van  $I_c(T)$  van lange supergeleidende halfmetallische juncties vereist een beter theoretisch raamwerk.

