

University of Groningen

## Spin polarized electron transport in mesoscopic hybrid devices

Filip, Andrei Teodor

**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:*

2002

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

*Citation for published version (APA):*

Filip, A. T. (2002). Spin polarized electron transport in mesoscopic hybrid devices s.n.

**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).

**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

Ferromagnetische materialen zijn materialen in welke, als gevolg van de verwisselings interactie, de twee spin subbanden ten opzichte van elkaar verschoven zijn. Dit betekent een eindige magnetisatie en verschillende toestandsdichtheden op de Fermi energie. Dit impliceert ook dat een elektrische stroom door een ferromagnetisch materiaal spin gepolariseerd is. Voor de transport eigenschappen van hybride ferromagnetische/ niet ferromagnetische systemen, die in dit proefschrift centraal staan, zijn twee effecten van groot belang:

**het "spin valve" effect:** De geleiding van een ferromagneet/ niet magnetisch materiaal/ ferromagneet sandwich hangt af van de relatieve magnetisatie richting van de twee ferromagnetische lagen. Dit staat bekend als het "spin valve" effect. De achterliggende fysica kan worden begrepen in termen van een simpel twee stromen model, waarin de totale geleiding wordt gegeven door de geleiding van de twee parallelle spinkanalen bij elkaar op te tellen. Een verandering in de magnetisatie richting van de tweede laag leidt tot een verandering in de geleiding van elk spinkanaal.

**de spin veld effect transistor (spin-FET) :** Datta en Das hebben laten zien dat, uitgaande van een standaard spin valve-junctie, een transistorachtig device verkregen kan worden, indien men in staat is om gecontroleerde spin precessie te induceren in de niet magnetische laag. Zij stelden voor om een tweedimensionaal elektronen gas te gebruiken (2DEG), waar het elektronen gas wordt begrensd door een asymmetrische potentiaal put. De asymmetrie van de put resulteert in een Rashba-type spin-orbit interactie en kan daardoor spin-precessie veroorzaken. De grootte van de Rashba spinsplitsing is proportioneel aan de asymmetrie van de potentiaal put en kan in principe worden geregeld door een externe electrode ("gate"). Derhalve hangt de gemiddelde spin precessie af van de aangelegde spanning. Dit betekent ook dat de totale geleiding van het kanaal een functie is van de aangelegde electrode spanning, dat wil zeggen dat het device een zich gedraagt als een FET.

**dit proefschrift:** Het oorspronkelijke doel van het onderzoek was het realiseren van een spin-FET device. Het idee was om dit device op de lange termijn te gebruiken om informatie te verkrijgen over zogenaamde "spin-flip" processen in

halfgeleiders. Voor de realisatie van het device, besloten we een InAs 2DEG kanaal te gebruiken dat in contact stond met een metallische ferromagnetische "source" en "drain" (Ni, Co of permalloy). De keuze voor systemen gebaseerd op InAs werd ingegeven door het feit dat InAs een ladings-accumulatie laag aan de oppervlakte vormt waardoor er geen Schottky barriere ontstaat wanneer het in contact wordt gebracht met metalen. Door op InAs gebaseerde materialen te gebruiken kunnen daarom hoog transparante metaal-2DEG contacten verkregen worden. Andere onderzoeksgroepen kozen tegelijkertijd voor een vergelijkbare aanpak. Echter, wij waren niet in staat om de injectie van spin in de halfgeleider waar te nemen en ook de in de literatuur vermelde resultaten zijn niet doorslaggevend. Het onderzoek werd daarom meer gericht op het begrijpen van de fundamentele fysica achter spin injectie en haar intrinsieke beperkingen. De eerste hoofdstukken van dit proefschrift zijn gewijd aan het introduceren van de fundamentele concepten die vereist zijn om de fysica van spin transport in hybride ferromagneet/ normale systemen en in halfgeleider hetero structuren in het bijzonder. Zolang de spin interacties zwak zijn (dat wil zeggen, de spin flip tijd is veel langer dan de tijd tussen twee inelastische botsingen) kan elk spin populatie worden beschouwd als een onafhankelijk fermion systeem in thermisch evenwicht. Daarom kan voor elk populatie een onafhankelijke elektrochemische potentiaal worden gedefinieerd. Het transport in zulke ferromagneet/ normaal systemen kan worden beschreven in termen van enkel en alleen spin diffusie tussen reservoirs met een verschillende potentiaal.

Met betrekking tot de fysica die ten grondslag ligt aan spin injectie zal er in dit proefschrift worden aangetoond dat het verschil in geleidbaarheid tussen een metaal en een halfgeleider resulteert in een fundamenteel obstakel voor spin injectie. We hebben de spin polarisatie effecten van een stroom in een twee dimensionaal elektronen gas berekend, dat in contact staat met twee ferromagnetische metalen. Het blijkt dat, zelfs in het geval dat de spin flip in de halfgeleider verwaarloosbaar klein is, de efficiëntie van de spin injectie zwaar wordt onderdrukt door de ongunstige ratio tussen de geleidbaarheden van de twee materialen. Voor een gebruikelijke device geometrie is de mate van spin-polarisatie beperkt tot slechts 0,1%. De verandering in weerstand voor parallelle en anti-parallelle magnetisatie van de contacten is maximaal kwadratisch kleiner en daarom moeilijk te detecteren. Voor aanvang van de spin-injectie experimenten, hebben we eerst het omslag processen van de magnetisatie in submicron Ni draadjes bestudeerd, door middel van magnetoweerstand (AMR) metingen. Het doel was inzicht te verkrijgen in magnetisatie-omslag processen. Het schakelgedrag is geanalyseerd

als een functie van de breedte en van de aspectratio van de draadjes. We onderzochten de afhankelijkheid van het schakelveld op de hoek tussen het aangelegde veld en het draadje. Het bleek dat voor hoeken van rond de 90° het schakelgedrag het best wordt beschreven door het Stoner Wohlfarth model, terwijl voor kleinere hoeken het omslag proces waarschijnlijk veroorzaakt wordt door het verplaatsen van domein randen. Submicron laterale spin valve juncties, gebaseerd op een NiAs/AlSb 2DEG met hoge mobiliteit en Ni, Co, Permalloy als ferromagnetische electrodes, zijn experimenteel bestudeerd. In een standaard HEMT geometrie is het erg moeilijk om echte spin signalen van andere effecten te onderscheiden, waaronder het lokale Hall effect, magnetoweerstand (AMR) bijdragen van de ferromagnetische electrodes en zwakke lokalisatie / anti-lokalisatie correcties. Deze effecten kunnen resulteren in een meetsignaal dat sterk lijkt op het verwachte spin valve signaal. Daarom hebben we gekozen voor een niet lokaal type meeting, waarbij stroom en spanningen paden van elkaar gescheiden zijn. Ondanks onze inspanning zijn we er echter niet in geslaagd om spin injectie in InAs waar te nemen. Dit "negatieve" resultaat is wel consistent met het geleidbaarheids "mismatch" argument. Dit omdat het spin afhankelijke deel van de weerstand van de halfgeleider, dat evenredig is met de weerstand van de ferromagnetische draadjes over een spin flip lengte, veel kleiner is dan het spin onafhankelijke deel. Dit inzicht is gebruikt in het ontwerpen en analyseren van experimenten met systemen van alleen metalen, waar de problemen met de mismatch in geleiding minder groot zijn. Hierdoor ontstond er een koppeling met het werk van Friso Jedema, die probeerde om spin injectie in metallische systemen waar te nemen. Daarom zijn in dit proefschrift de resultaten voor metallische systemen ook opgenomen. We beschrijven de elektrische injectie en detectie van spin stromen in een volledig metalen laterale mesoscopische spin valve. De junctie gemaakt van Py ferromagnetische elektrodes in goed Ohms contact met een koperen kruis. Een niet lokale geometrie is gebruikt om zo magnetoweerstands bijdragen van de ferromagneten te elimineren. De waargenomen spin signalen waren in kwantitatieve overeenstemming met het diffusie model dat we hebben opgesteld. Ook kon op basis van de afhankelijkheid van het signaal van de afstand tussen de elektrodes de spin flip lengte in Cu worden bepaald. M. Johnson heeft voorgesteld om het Rashba effect te gebruiken om spin injectie te detecteren, hetgeen Hammer et al. later naar eigen zeggen experimenteel hebben gerealiseerd. In hoofdstuk 8 bespreken we spin transport in de aanwezigheid van Rashba interactie. Hier laten we zien dat in het lineaire transport regime, de aanwezigheid van Rashba spin splitsing de detectie van spin injectie niet toestaat. We

bespreken ook de implicatie van de Onsager reciprociteits relaties en laten zien dat men door naar de symmetrie van de IV karakteristieken te kijken het lokale Hall effect van een richting afhankelijke correctie ten gevolge van de Rashba interactie van elkaar kan onderscheiden. Het laatste hoofdstuk van dit proefschrift handelt over een ander onderwerp: mesoscopische supergeleiding. Er bestaat echter een duidelijk technologisch verband met voorafgaand werk, aangezien dit werk gebaseerd is op dezelfde halfgeleider technologie. De kwaliteit van het metaal-2DEG grensvlak speelt hier een belangrijke rol. We onderzochten het fase coherente transport in devices die werden verkregen door een halfgeleidende quantum dot te koppelen aan supergeleidende elektrodes via transparante contacten. Voor dit doeleinde werden 500x500nm dots, getst in InAs/AlSb heterostructuren met hoge mobiliteit in contact gebracht met Nb supergeleidende elektrodes. Het aanbrengen van een Aharonov-Bohm supergeleidende ring maakte het mogelijk om de invloed van de fase op de transport eigenschappen te bestuderen. Door de samples met verschillende schoonmaak procedures met elkaar te vergelijken, hebben we geconcludeerd dat een InAs oppervlakte behandeling een essentiële rol speelt bij het bepalen van de eigenschappen van de junctie. In het eindige voltage-regime hebben we lager dan verwachte kloof spanningen en een ongewone temperatuurs afhankelijkheid waargenomen. Dit gedrag is toegeschreven aan de aanwezigheid van een geïnduceerde gap in het InAs onder de supergeleidende elektrodes.