

University of Groningen

Electron spin transport in quantum dots and point contacts

Koop, Erik Johan

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:

2008

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

Citation for published version (APA):

Koop, E. J. (2008). *Electron spin transport in quantum dots and point contacts*. 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).

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

Dit proefschrift presenteert onderzoek dat bijdraagt aan het begrijpen van fundamentele eigenschappen van elektronen en elektronenspin in quantum puntcontacten en quantum dots. Deze nanodevices worden gemaakt met ultra-schone niet-magnetische halfgeleiders, met behulp van geavanceerde nanofabricage technieken. Bovendien worden de experimenten gedaan bij extreem lage temperaturen. Daardoor kunnen we bestuderen hoe fundamentele interacties in materialen de elektron- en spintoestanden beïnvloeden. Alhoewel het voornamelijk fundamenteel onderzoek betreft, wordt dit werk ook gemotiveerd door openstaande vragen in het vakgebied spintronica met betrekking tot het gecontroleerd genereren, transporteren en detecteren van elektronenspin. Wij presenteren onderzoek naar twee types devices, het quantum puntcontact (QPC) en de quantum dot (QD). Beide worden gedefinieerd in een tweedimensionaal elektronengas (2DEG) in een GaAs/AlGaAs heterostructuur, door negatieve spanningen aan te brengen op metalen elektroden bovenop de heterostructuur.

Het eerste gedeelte van dit proefschrift presenteert experimenten aan quantum puntcontacten (QPC's). Een QPC kan beschouwd worden als kort eendimensionaal kanaaltje waarin het elektron transport ballistisch is. Als gevolg van de opsluitingspotentialiaal in de richting loodrecht op de richting van het transport, is de geleiding van een QPC in nul magneetveld gekwantiseerd in discrete stappen van $2e^2/h$, waarbij e de lading van het elektron en h de constante van Planck is. Bovendien kan de elektron emissie vanuit een QPC spin gepolariseerd zijn wanneer een sterk magneetveld wordt aangelegd in het vlak van het 2DEG. Behalve deze gekwantiseerde geleiding, die volledig wordt begrepen, zijn er nog enkele andere distinctieve kenmerken in de geleiding van een QPC als gevolg van *many-body* effecten, die nog steeds niet volledig verklaard kunnen worden. In het bijzonder is de 0.7 anomalie, een knik in de geleiding rond $0.7(2e^2/h)$ in nul magneetveld, al meer dan 10 jaar een onderwerp van discussie. Andere *many-body* effecten in QPC's zijn de versterking van de elektron g-factor en de nul-bias anomalie, een karakteristiek in de geleiding van een QPC dat sterke overeenkomsten vertoont

met het transport door een Kondo onzuiverheid.

Aangezien een QPC één van de meest fundamentele elektronische systemen is, is het een ideaal modelsysteem om de gevolgen te bestuderen van *many-body* effecten op het transport van spin gepolariseerde elektronen en op spin coherentie in nanodevices. We hebben elektrische transportmetingen gedaan om te bestuderen hoe deze effecten afhangen van de geometrie van de puntcontacten. We hebben de energiesplitsing tussen de eendimensionale subbanden bestudeerd, zowel in nul magneetveld als in een sterk magneetveld, voor een serie van 12 QPC's met identieke materiaaleigenschappen. Daarbij hebben we een duidelijke afhankelijkheid gevonden tussen de grootte van de subband splitsing en de versterking van de effectieve elektron g -factor. Deze parameters hangen op een reguliere manier af van de geometrie van de QPC's en deze afhankelijkheid kunnen we snappen als we een elektrostatisch model van de potentiaal van het puntcontact beschouwen. De kenmerken van de 0.7 anomalie laten geen reguliere afhankelijkheid van de QPC geometrie zien. Echter vinden we wel dat er in sterke magneetvelden een magneetveld-onafhankelijke *exchange* bijdrage is aan de spin-splitsing van de laagste eendimensionale subband, naast de reguliere Zeeman splitsing. Deze *exchange* bijdrage is duidelijk gecorreleerd met de ogenschijn-lijke subband splitsing van de 0.7 anomalie in nul magneetveld. Dat suggereert dat de splitsing van de 0.7 anomalie wordt bepaald door deze *exchange* bijdrage. Ook voor de nul-bias anomalie vinden we geen duidelijke afhankelijkheid van de QPC geometrie, maar onze data laat zien dat het waardevol kan zijn om de correlatie met de splitsing van de 0.7 anomalie verder te onderzoeken. Op dit moment is onze analyse van de experimentele data erg fenomenologisch, waarbij we parameters en correlaties presenteren waarvoor het niet mogelijk is om een kwantitatieve vergelijking met de theorie te maken, aangezien er geen analytische modellen beschikbaar zijn. Desondanks kunnen we op basis van trends in de data conclusies trekken over het kwalitatieve gedrag.

Het tweede gedeelte van dit proefschrift presenteert experimenteel en numeriek werk over elektron spin accumulatie in zogenaamde grote open quantum dots (QD's). We hebben spin accumulatie en relaxatie bestudeerd van een elektronenverzameling die was opgesloten in een micronschaal QD. Ons systeem kan het beste worden omschreven als een elektronenverzameling die ballistisch rondbotst in een kleine chaotische ruimte. Met behulp van dergelijke systemen kunnen we spin relaxatie bestuderen in een regime tussen 2D samples en extreem kleine QD's en in dit regime wordt de spin relaxatie gedomineerd door de spin-baan-koppeling. Daarom heeft de botsingsfrequentie met de rand van de dot een

belangrijke invloed op de relaxatietijd.

We hebben een niet-lokale meettechniek ontwikkeld, waarbij we QPC's gebruiken om een 4-punts meting aan een quantum dot te doen. We laten zien dat dit gebruikt kan worden om voor een enkel device de spin relaxatietijd binnen in de dot te bepalen ($\tau_{sf} \approx 300$ ps), maar tegelijkertijd ook de bijdrage aan de spin relaxatie door koppeling van de dot aan grote elektron reservoirs en de mate van polarisatie van het spin-selectieve transport in de contacten ($P \approx 0.8$). We kunnen de spin relaxatie in grote quantum dots kwalitatief reproduceren met behulp van Monte-Carlo simulaties. De waarden voor polarisatie die we vinden zijn consistent met de korte lengte van onze QPC's.

In deze Monte-Carlo simulaties hebben we voor een aanpak gekozen waarbij de relaxatie wordt gesimuleerd met behulp van semi-klassieke elektronenbanen in 2D en opgesloten systemen waarbij we gebruik maken van realistische device parameters. Door deze aanpak kunnen we alle drie de spin-baan effecten meenemen die in realistische 2DEG materialen voorkomen. We berekenen waarden voor spin relaxatie in micronschaal dots met frequente botsingen met de rand van de dot, en deze waarden zijn veel lager dan de berekende waarden voor grote 2DEG gebieden met een hoge mobiliteit. Dit is tegenstrijdig met het gebruikelijke resultaat dat sterkere opsluiting of meer frequente botsingen de relaxatie verzwakken. In dit regime van *confinement enhanced relaxation*, kan de relaxatietijd tot wel 2 ordes van grootte afnemen wanneer een sterk extern magneetveld wordt aangelegd parallel met de initiële spin richting. Een analoog van *confinement enhanced relaxation* hebben we ook gevonden voor grote 2D systemen met extreem hoge mobiliteiten.

Met behulp van de 4-punts meting hebben we ook quantum fluctuaties in de niet-lokale weerstand van de quantum dot bestudeerd. In de praktijk zijn er altijd mesoscopische fluctuaties van de geleiding wanneer elektron transport in grote open QD's wordt gemeten. Deze fluctuaties zijn het gevolg van interferentie van verschillende transportpaden door de dot. De amplitude van deze fluctuaties neemt sterk af wanneer de koppeling tussen de spanningsprobes en de dot versterkt wordt. Naast de experimentele resultaten presenteren we ook een theoretische analyse gebaseerd op het Landauer-Büttiker formalisme. De overeenkomst met de theorie is erg goed wanneer het geschaald wordt met een factor die rekening houdt met de invloed van orbitale dephasing in de dot.

Tenslotte rapporteren we over het annealing mechanisme van ohmse contacten aan een tweedimensionaal elektronengas (2DEG) in GaAs/AlGaAs heterostructuren. Deze contacten worden vaak gerealiseerd door AuGe/Ni/Au, dat op het

oppervlak is opgedampt, te annealen. We hebben de optimale anneal parameters gevonden voor drie verschillende heterostructuren waarbij het 2DEG op een andere diepte ligt onder het oppervlak van de wafer. TEM plaatjes van verschillende geannealde contacten geven verder inzicht in het anneal mechanisme en het ontstaan van een goed ohms contact. Met al deze informatie hebben we een model ontwikkeld waarmee we de optimale anneal parameters kunnen voorspellen om een 2DEG op een willekeurige diepte in een GaAs/AlGaAs heterostructuur te contacteren. Dit model zal een voorspellende waarde hebben voor veel heterostructuren, zolang de temperatuur van de samples bekend is gedurende het anneal proces.