

University of Groningen

Hybrid organic spin valves

Popinciuc, Mihaita

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:

2007

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

Citation for published version (APA):

Popinciuc, M. (2007). *Hybrid organic spin valves: interfaces and transport*. 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

Spin elektronica - spintronica - is de tak van elektronica die de spin eigenschappen van ladingsdragers (elektronen en gaten) gebruikt voor het transporteren en manipuleren van informatie. Het meest simpele op spin gebaseerde apparaatje is het spin ventiel, waarin een niet-magnetisch materiaal in contact gebracht wordt met twee ferromagneten. Indien hier een stroom doorgestuurd wordt, kunnen twee weerstandstoestanden gemeten worden, laag of hoog. Dit is afhankelijk van de relatieve oriëntatie van de magnetisatie van de twee ferromagnetische elektroden (parallel of anti-parallel). De ferromagnetische elektroden moeten hierin gezien worden als de spin injector of detector terwijl het niet-magnetische materiaal het transportmedium is. Voor een juiste werking van het spin ventiel moeten de spins overleven tijdens hun transport door het niet-magnetische materiaal. Dit betekent dat de afstand tussen de injector and de detector in de orde van grootte van de spinrelaxatie lengte λ_{sf} , de lengte waarover spins getransporteerd kunnen worden zonder hun oriëntatie te verliezen, moet zijn. De spin-flip lengte is proportioneel met $\sqrt{\mu\tau_{sf}}$, waar μ de mobiliteit is van de ladingsdragers en τ_{sf} de spin relaxatie tijd. Hieruit blijkt dat een hoge mobiliteit en lange spin relaxatie tijd nodig zijn voor een lange spin-flip lengte. Door de in het algemeen zwakke spin-baan koppeling in lichte materialen hebben organische halfgeleiders (meestal bestaande uit lichte koolstof atomen) een lange spin relaxatie tijd. Van de organische halfgeleiders heeft pentaceen een van de hoogste mobiliteiten. Deze aspecten maken pentaceen een goede kandidaat voor het maken van een organisch spin ventiel. Voor toepassingen zijn bovendien apparaatjes gewenst die werken bij kamertemperatuur. Daarom zijn ferromagnetische metalen de beste

kandidaten voor de contacten, aangezien deze een Curie temperatuur hebben die ver boven kamertemperatuur ligt. Het maken van spin ventielen met kobalt (Co) en pentaceen is een onderwerp dat grote interesse geniet vanuit fundamenteel en commercieel oogpunt, en is het onderwerp van dit proefschrift.

Hoofdstuk 2 beschrijft kort de theorie van het spin ventiel en geeft de motivatie voor de experimenten die gepresenteerd worden in de volgende hoofdstukken. In het simpele weerstandsmodel is aangetoond dat hybride metaal-halfgeleider spin ventielen lijden onder het probleem van conductivity mismatch; de lage en spin afhankelijke weerstand van de injector/detector in vergelijking met de hoge en spin onafhankelijke weerstand van de halfgeleider zorgt voor een inefficiënte spin injectie/detectie. De oplossing voor dit probleem is om de weerstand van de injector/detector vergelijkbaar te maken met die van de halfgeleider. Een alternatief is het maken van tunnel barrières tussen het ferromagnetische metaal en de halfgeleider. Aangezien tunnelende ladingsdragers hun spin oriëntatie behouden, moet de weerstand van de tunnel contacten in beschouwing worden genomen. Deze komt tot uiting als een extra (spin afhankelijke) weerstand bij de injector/detector. Verder geldt ook, in een klassieke halfgeleider plaatje, dat het bestaan van de Schottky barrière bij het metaal/halfgeleider grensvlak een efficiëntere spin injectie of detectie van spins mogelijk kan maken. Deze theoretische aspecten motiveerden ons om de eigenschappen van het grensvlak van pentaceen met kobalt te onderzoeken in het geval van schone contacten en in het geval van een aluminiumoxide (AlOx) tunnel barrière. Dit onderzoek is gedaan met behulp van röntgen en ultraviolet foto-elektron spectroscopieën (XPS en UPS). Deze methodes geven ons de mogelijkheid om de energetica van het grensvlak - de chemische interactie en energie niveau aanpassing - te onderzoeken. De resultaten van dit onderzoek omvatten het grootste deel van dit proefschrift en worden beschreven in *Hoofdstuk 4* en *Hoofdstuk 5*. Met behulp van deze resultaten zijn uiteindelijk spin ventielen gefabriceerd en gekarakteriseerd. De resultaten daarvan worden beschreven in *Hoofdstuk 6*. In *Hoofdstuk 3* worden de technieken voor de sample fabricatie and karakterisatie gegeven.

De symmetrie van het aanpassen van de energie niveaus van de Co/pentaceen/Co grensvlakken is bestudeerd met behulp van XPS en UPS (*Hoofdstuk 4*). We vonden vergelijkbare barrières van ongeveer 1.0 eV ongeacht of pentaceen op kobalt wordt aangebracht of andersom. De dipolen op het raakvlak waren asymmetrisch. We denken dat dit veroorzaakt wordt door de hoge ruwheid van de oppervlaktelaag wanneer kobalt op pentaceen opgedampt wordt. Het banddiagram van een Co/pentaceen/Co gelaagde structuur is bepaald met behulp van het rigid-band model met grensvlak dipolen. Verder vonden we dat pentaceen orbitalen met die van kobalt mixen door hybridisatie en dat kobalt atomen niet significant diffunderen als ze opgedampt worden op een losse matrix van

pentaceen. Voor spin ventielen en vanuit het standpunt van het conductivity mismatch probleem, kan een significante barrière voor ladingsinjectie spin injectie in pentaceen mogelijk maken. Spin injectie is mogelijk onder een aangelegde spanning wanneer de barrière driehoekig wordt en er directe tunneling plaatsvindt van ladingsdragers van Co in de hoogste bezette moleculaire orbitaal (HOMO) van pentaceen. Echter, zowel de injector en detector weerstanden moeten vergelijkbaar zijn met die van pentaceen voor een goede werking van het spin ventiel. Daardoor zijn spin ventielen met een schoon Co/pentaceen grensvlak nog steeds problematisch en lijkt de toevoeging van tunnelbarrières onontkoombaar.

In *Hoofdstuk 5* is met behulp van XPS en UPS het energie niveau diagram van Co/AlOx/pentaceen onderzocht als functie van de dikte van de AlOx barrière en de mate van oxidatie van Co. De veranderingen in het energie niveau diagram van het Co/AlOx grensvlak waren consistent met de formatie van een dipool op het grensvlak. De sterkte van de dipool hangt af van de oxidatie van kobalt en van de band bending in de dunne AlOx tunnelbarrière. Het vacuüm niveau van pentaceen past zich aan het vacuüm niveau van het Co/AlOx substraat aan, in alle gevallen waarin de injectie barrière enkel wordt bepaald door de eigenschappen van het Co/AlOx grensvlak. De experimenten lieten geen hybridisatie effecten zien op het AlOx grensvlak. De injectie barrière voor positieve ladingsdragers wordt groter naarmate de dikte van de tunnel barrière toeneemt en wordt kleiner door oxidatie van kobalt bij een gelijkblijvende dikte van de AlOx barrière. Een interessant resultaat was dat de injectie barrière voor positieve ladingsdragers voor de dunste tunnelbarrière (die gemaakt was door het oxideren van 6 Å Al) 0.4 eV kleiner was dan de barrière voor schone contacten. De variatie van de injectie barrière met de dikte van de tunnel barrière toont aan dat het in principe mogelijk is om de weerstand van de spin injector/detector gelijk te maken aan de pentaceen weerstand.

De resultaten van de fabricage en karakterisatie van devices met kobalt, goud en Co/AlOx elektroden op pentaceen worden gepresenteerd in *Hoofdstuk 6*. De stroom/spanning metingen van schone Co/pentaceen contacten zijn kwalitatief consistent met foto-elektron spectroscopie metingen. In laterale configuratie is het vanwege de fabricage procedure onontkoombaar dat er enige Co oxidatie plaatsvindt, waardoor de spin injectie minder efficiënt wordt. Een gelaagde configuratie kan daarentegen geheel in situ gefabriceerd worden. Een nadeel daarvan is dat het bovenste pentaceen/Co grensvlak slecht is gekarakteriseerd. Dit zorgde voor oncontroleerbare magnetische eigenschappen van de bovenste ferromagnetische elektrode. Metingen van de magnetoweerstand op gelaagde schone contacten waren, geheel tegen verwachting, consistent met spin ventiel gedrag. Of deze metingen werkelijk spin ventiel gedrag vertoonden kon niet ondubbelzinnig worden aangetoond. Om het conductivity mismatch probleem

op te lossen is een field effect geometrie gebruikt met AlOx tunnel barrières van een vaste dikte. In deze geometrie is de pentaceen weerstand zodanig gevarieerd dat deze gelijk is met die van de tunnel barrière. In deze laatste experimenten konden we geen spin signaal detecteren. De ruis in deze experimenten was van de orde van een paar procent waardoor de meting van het kleine spin signaal waarschijnlijk onmogelijk wordt.