



Universiteit  
Leiden  
The Netherlands

## Conductance and gating effects at sputtered oxide interfaces

Yin, C.

### Citation

Yin, C. (2019, July 3). *Conductance and gating effects at sputtered oxide interfaces*. *Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/74527>

Version: Not Applicable (or Unknown)

License: [Leiden University Non-exclusive license](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/74527>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/74527> holds various files of this Leiden University dissertation.

**Author:** Yin, C.

**Title:** Conductance and gating effects at sputtered oxide interfaces

**Issue Date:** 2019-07-03

# Samenvatting

Het onderzoek beschreven in dit proefschrift gaat over het optreden van geleiding en de effecten van elektrische velden aan het grensvlak tussen de materialen  $\text{LaAlO}_3$  en  $\text{SrTiO}_3$ . Hiervoor werden dunne lagen  $\text{LaAlO}_3$  van hoge kwaliteit gegroeid op  $\text{SrTiO}_3$  substraten, door middel van  $90^\circ$  'off-axis' sputter depositie. Voor het moduleren van grensvlakgeleiding met elektrische velden werden twee geometrieën gebruikt, namelijk een 'back-gate' (via het aanleggen van een spanning op de achterkant van het substraat) of met een ionische vloeistof (wat een spanning aan de kant van het  $\text{LaAlO}_3$  aanlegt).

## **De grensvlakgeleiding in $\text{LaAlO}_3/\text{SrTiO}_3$ dubbellagen onder controle gebracht**

In hoofdstuk 3 wordt de fabricage van geleidende grenslagen tussen  $\text{LaAlO}_3$  en  $\text{SrTiO}_3$  bestudeerd door middel van  $90^\circ$  off-axis sputteren in een Ar atmosfeer. Bij groei in een druk van 0.04 mbar was het grensvlak metallisch, met een ladingdrager dichtheid van de orde van  $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  bij een temperatuur van 3 K. Met toenemende druk vonden we een toename van de uit-vlak roosterparameter van de dunne  $\text{LaAlO}_3$  lagen, terwijl de in-vlak roosterparameters niet veranderden. Ook ging de grensvlakweerstand bij lage temperaturen omhoog met toenemende sputterdruk, wat leidde tot een isolerende grenslaag boven een druk van 0.10 mbar. We schrijven de structuurvariatie toe aan een verandering van de verhouding La/Al, wat ook de overgang van een geleidend naar een niet geleidend grensvlak verklaart. Ons onderzoek benadrukt de sleutelrol van de cation stoichiometrie van het  $\text{LaAlO}_3$  bij de vorming van het geleidende grensvlak, en laat zien dat de controle over de geleiding via de Ar druk het sputterproces net zo bruikbaar maakt als gepulste laserdepositie. Het voornaamste nadeel van het sputterproces in vergelijking met laserdepositie is dat er geen in situ meetmethode voorhanden is om de laagdikte met grote precisie te controleren.

## **Electron vangst mechanismen in $\text{LaAlO}_3/\text{SrTiO}_3$ dubbellaags structuren**

Een vaak waargenomen, maar slecht begrepen fenomeen in het bestuderen van  $\text{LaAlO}_3/\text{SrTiO}_3$  dubbellaags structuren is dat van electron vangst in back-gate experimenten. Dit betekent dat niet alle electronen die geïnduceerd zijn door de gate ook aan de geleiding deel gaan nemen, maar dat een aantal ervan door, waarschijnlijk, defecten in het  $\text{SrTiO}_3$  ingevangen worden. In Hoofdstuk 4 wordt een empirische relatie verkregen tussen het aantal ingevangen electronen en de gate spanning, door het combineren van gegevens uit magnetotransport metingen en berekeningen met behulp van de zelf-consistente

Schrödinger-Poisson (S-P) vergelijkingen. We vinden hiermee dat het aantal ingevangen electronen exponentieel afneemt met toenemende afstand van het grensvlak. Anders dan bij eerdere waarnemingen echter, vinden we dat het Fermi niveau van de geleidingsband in de quantum put ver onder de bovenkant van de put blijft. Het versterkt invangen van electronen door een gate spanning kan daardoor niet verklaard worden met een thermisch ontsnappingsmechanisme, waarin geleidingselectronen verder het substraat in diffunderen en gevangen raken. Verdere experimenten waarin de gate spanning omhoog en weer omlaag gebracht wordt, versterken de conclusie dat het thermisch ontsnappingsmechanisme niet valide is. We stellen daarom een ander mechanisme voor, waarin electromigratie en het clusteren van zuurstof vacatures in het SrTiO<sub>3</sub> een rol speelt. Ons werk wijst er op dat electron vangst een universeel fenomeen is in dubbellaags structuren gebaseerd op SrTiO<sub>3</sub>. Een belangrijke ingrediënt in de S-P berekeningen is de empirische formule voor de permittiviteit van het SrTiO<sub>3</sub>, die afhankelijk is van zowel temperatuur als elektrisch veld. Het gedrag van de permittiviteit werd al bijna 50 jaar geleden bestudeerd, maar de formule die destijds werd voorgesteld leidt niet tot een redelijke beschrijving van onze resultaten. Onze studie beperkte zich tot kamertemperatuur en vloeibaar-Helium temperatuur, maar het lijkt nodig de vraag van het gedrag van de permittiviteit opnieuw te bekijken.

### **Rashba spin-baan koppeling variaties in LaAlO<sub>3</sub>/SrTiO<sub>3</sub> dubbellaag structuren door band vulling**

De Rashba spin-baan koppeling die optreedt aan het geleidende grensvlak tussen SrTiO<sub>3</sub> en LaAlO<sub>3</sub> kan beïnvloed worden door een elektrisch veld, wat tot mogelijk toepassingen leidt voor 'spintronische' schakelingen, waarin de elektrische werking (deels) van de electron spin afhangt. Eerdere studies rapporteerden verschillende afhankelijkheden van de gate spanning op de koppelingssterkte. Theoretisch werd voorspeld dat het grootste Rashba effect op zou treden als het Fermi niveau in de buurt ligt van het kruispunt tussen de  $d_{xy}$  en de  $d_{xz,yz}$  orbitals of banden. In Hoofdstuk 5 hebben we dit onderzocht door het Fermi niveau te variëren met een back gate. Hierdoor kunnen we over gaan van een 1-band systeem (alleen de  $d_{xy}$  band) naar een 2-band systeem, de zogenaamde Lifshitz overgang. In het experiment gaan we verschillende keren heen en weer door de Lifshitz overgang, door de gate spanning te variëren rond het kruispunt van de  $d_{xy}$  en de  $d_{xz,yz}$  banden. Door de waargenomen zwakke antilocalisatie in het gedrag van de magnetoweerstand te analyseren kunnen we laten zien dat het maximale spin-baan koppelingseffect optreedt wanneer de Fermi energie in de buurt ligt van het Lifshitz punt. We vinden ook sterke aanwijzingen voor een enkele draaiing van de spin over het Fermi oppervlak. Op dit moment zijn alle theoretische modellen voor deze analyse gebaseerd op één-band geleiding. Het is voor dit probleem belangrijk dat theoretici een meerbands

model ontwikkelen.

### **Verstembare magnetische wisselwerkingen in $\text{LaAlO}_3/\text{SrTiO}_3$ dubbellaag structuren met behulp van ionische vloeistoffen**

Door gebruik te maken van de elektrische dipool laag in een ionische vloeistof kan een ladingsoverdracht bewerkstelligd worden die ordegrottes hoger is dan in conventionele veld-effect transistoren. De grote geladen ionen aan het vloeistof-vaste stof grens-vlak veroorzaken ook onvermijdelijke Coulomb verstrooiing, waardoor de toename van de mobiliteit van de ladingsdragers beperkt wordt. In Hoofdstuk 6 bestuderen we het effect van de dikte van een  $\text{LaAlO}_3$  laag op de elektrische-transport eigenschappen van  $\text{LaAlO}_3/\text{SrTiO}_3$  dubbellaagen als daar een ionische vloeistof gate op wordt aangebracht. We vinden dat, in ons geval van niet al te hoge mobiliteiten, de grensvlakgeleiding gedomineerd wordt door de interacties in de grenslaag, en niet zozeer door de ionen in de vloeistof.

