



UvA-DARE (Digital Academic Repository)

Magnetotransport studies of the single and bilayer two dimensional electron gas in the quantum Hall regime

Galistu, G.M.

Publication date
2010

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Galistu, G. M. (2010). *Magnetotransport studies of the single and bilayer two dimensional electron gas in the quantum Hall regime*. [Thesis, fully internal, Universiteit van Amsterdam].

General rights

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), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Disclaimer/Complaints regulations

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: <https://uba.uva.nl/en/contact>, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

Samenvatting

Dit proefschrift bestaat uit twee delen. Het eerste en tevens belangrijkste deel is gewijd aan een experimentele magnetotransport studie van het schalings-gedrag van het integer quantum Hall effect, met nadruk op het meten van het irrelevante kritische gedrag (*Hfdst.* 3-5). Het tweede deel (*Hfdst.* 6-7) is gewijd aan een magnetotransport studie van ‘potentiaal putten (*quantum wells*)’ met een dunne centrale (elektronen) barrière en aan *bi-layer quantum wells*.

Na een introductie van het quantum Hall effect (Hoofdstuk 1) en een samenvatting van de aan schaling ten grondslag liggende theoretische aspecten (Hoofdstuk 2), beschrijven we allereerst de experimentele techniek die gebruikt is om te meten aan het 2-dimensionale electron gas (2DEG) in samples met een Hall bar configuratie in het hoog-ohmische regime (Hoofdstuk 3). Er wordt hoofdzakelijk ingegaan op een recent door ons geïmplementeerde dc-techniek, die vergeleken met de traditionele ac-techniek, een verbeterde meetnauwkeurigheid bleek op te leveren. Dit is met name van belang voor magnetotransport metingen uitgevoerd bij hoge magneet velden, waar de weerstand van de samples snel toeneemt in het regime van de plateau-insulator overgang.

In de Hoofdstukken 4 en 5 beschrijven we een ‘schaling studie’ uitgevoerd op een InGaAs/GaAs *quantum well* met een relatief breed geleidingskanaal met als doel de totale weerstand van de Hall bar bij hoge magneet velden af te doen nemen. De electronen dichtheid van het 2DEG kon ingesteld worden door belichting en varieert van $n_e = 1$ tot $2 \times 10^{15} \text{ m}^{-2}$. Dit betekent dat de plateau-insulator (PI) overgang plaatsvindt in het magneetveld bereik van 7.7 tot 14.8 T. Dit werk bouwt voort op – en is een uitbreiding van – de experimentele studies naar schaling eerder verricht op het Van der Waals-Zeeman Instituut door De Lang en Ponomarenko op vergelijkbare samples.

In Hoofdstuk 4 ligt de focus op het karakteriseren van de InGaAs/GaAs Hall bar d.m.v. magnetotransport metingen. De gradiënt in de electronen dichtheid langs de Hall bar is voor vier verschillende electronen dichtheden bepaald gebruik makende van de methode van ‘reflectie symmetrie’ voor de 2→1 plateau-plateau (PP) overgang. De kwaliteit van de samples neemt toe met toenemende dichtheid. Vervolgens is onderzoek gedaan naar de

relevante kritische exponent κ zoals bepaald uit de temperatuur variatie van de longitudinale weerstand nabij de PI overgang. De hieruit afgeleide waarden van $\kappa = 0.43-0.53$ zijn vergelijkbaar met de waarden verkregen uit eerdere studies. Numerieke simulaties zijn gebruikt om de invloed van dichtheid gradiënten op de waarde van κ te bepalen. De variatie van κ is deels te verklaren doordat de Landau niveaus nog niet helemaal gescheiden zijn bij de laagste dichtheden. Aan de andere kant moeten de geëxtraheerde waarden van κ beschouwd worden als “effectief”, omdat het scattering gedrag mogelijk componenten bevat die een grote reikwijdte hebben t.o.v. de magnetische lengte.

In Hoofdstuk 5 focussen we op de irrelevante kritische exponent γ_{σ} , die is afgeleid uit de afwijkingen van de Hall weerstand van de integrale plateau waarde h/e^2 bij toenemende temperatuur. De Hall weerstand is gemeten voor vier verschillende dichtheden gebruik makende van de dc-methode. Een gedetailleerde analyse van de Hall data, waarbij gebruik wordt gemaakt van een nieuwe methode van ‘data collapsen’ geeft waarden voor γ_{σ} variërend van 2.4 tot 2.7 voor de verschillende elektron dichtheden. Deze waarden corresponderen goed met eerder verkregen waarden. Echter, voor het verkrijgen van een goede ‘data-collapse’ bleek het nodig te zijn om een temperatuur afhankelijke shift van de data uit te voeren in de vul factor ν . Het feit dat de kritische vul factor een kleine temperatuur afhankelijke variatie vertoont duidt op een hoge mate van macroscopische inhomogeniteiten in het sample. Door gebruik te maken van de universele schalingsfuncties zoals afgeleid door Pruisken en de experimenteel verkregen parameters voor κ , γ_{σ} en de karakteristieke temperaturen T_0 en T_1 van de InGaAs/Gaas *quantum well* wordt het ‘renormalization group flow diagram’ geconstrueerd. Dit is tevens het meest belangrijke resultaat van dit proefschrift. In het ‘flow diagram’ komen alle eigenschappen terug die voorspeld zijn voor authentiek schalen: relevante en irrelevante flow, de plek van het kritische punt $(\sigma_H, \sigma_0) = (1/2e^2/h, 1/2e^2/h)$ en ‘particle-hole symmetrie. Het dient benadrukt te worden dat het bepalen van het flow diagram voor dit sample alleen mogelijk is door het bepalen van de geleidbaarheids tensor voor de PI overgang. Macroscopische inhomogeniteiten verhinderen het bepalen van een nauwkeurig flow diagram uitgaande van de geleidbaarheids tensor voor de PP overgangen. Dus voortgang in het ontrafelen van alle facetten van schalen binnen het quantum Hall effect kan alleen gemaakt worden nadat volledig begrip is verkregen omtrent macroscopische sample inhomogeniteiten.

In het resterende deel van dit proefschrift worden *quantum wells* met een centrale barrière en *bilayer quantum wells* onderzocht. In Hoofdstuk 6 is gekeken naar het energie spectrum van twee sets van δ -gedoopte GaAs/InGaAs *quantum wells*, te weten *quantum wells* met en zonder dunne centrale AlAs barriere. Onze experimentele sondes bestaan uit magnetotransport en fotoluminescentie metingen. De experimentele resultaten zijn vergeleken met numerieke berekeningen van de energie niveaus en de distributies van de golffuncties. Het is gebleken dat de AlAs barriere dienst doet als fononen barrière en de afstand tussen de energie niveaus en de ruimtelijke verdeling van de golffuncties aanzienlijk verandert. Bovendien is gebleken dat de δ -gedoopte gebiedjes als V-vormige potentiaal putjes ageren en de golffuncties op een ongewenste wijze vervormen. Om de golffuncties toch te beperken tot de centrale *quantum well* is een tweede serie samples gegroeid waarbij het effect van de V-vormige potentiaal putjes (deels) gecompenseerd is door deze te omgeven met AlAs barrières. Helaas was de electronen dichtheid in deze serie samples niet genoeg om meer dan een subband te vullen en kon de gewenste verbetering niet verkregen worden.

In Hoofdstuk 7 is gekeken naar het effect van een schuin invallend magnetisch veld op een $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ bilayer *quantum well* met een grote Landé g -factor. Een grote Landé g -factor is gekozen om het effect van spinsplitsing te versterken. Door het uitvoeren van magnetotransport metingen voor verschillende hoeken tussen het magneetveld en het vlak van het 2DEG, is het mogelijk een parallelle veld component, B_{\parallel} , toe te voegen aan het loodrechte magneet veld, terwijl het effect van spinsplitsing gelijk blijft. M.a.w. het is op deze manier mogelijk om het effect van het toevoegen van een parallelle component te bestuderen terwijl de bilayer *quantum well* in een bepaalde ‘integer quantum Hall’ toestand is gebracht door de loodrechte component van het magneetveld. Magnetotransport data verkregen van een *single* (SQW) en een *double quantum well* (DQW) worden met elkaar vergeleken. De DQW data vertonen eigenschappen die niet verklaart kunnen worden door de onderliggende fysica van de SQW. Deze eigenschappen zijn: (i) het verdwijnen van het $\nu = 2$ minimum voor toenemend B_{\parallel} , (ii) het verwijden en vervolgens vernauwen van het $\nu = 3$ minimum als functie van B_{\parallel} , (iii) het $\nu = 6$ minimum vertoont onregelmatig gedrag bij een toenemend B_{\parallel} en (iv) een onverwachte en nog steeds onverklaarde dip in de even ‘integer plateaus’ van de Hall weerstand. Een verklaring van de eerste drie eigenschappen

is verkregen a.d.h.v. analyse van de 'Landau Level fans'. De laatste eigenschap wordt toegekend aan het 'reentrant quantum Hall effect'.