

Wechselwirkung von selbstorganisierten Quantenpunkten mit zweidimensionalen Elektronengasen

Vom Fachbereich Physik der Universität
Duisburg-Essen zur Erlangung des akademischen
Grades eines Doktors der Naturwissenschaften
genehmigte

DISSERTATION

von

Marco Ruß

aus

Oberhausen

Tag der Einreichung: 23.2.2006
Referent: Prof. Dr. Axel Lorke
Korreferent: Prof. Dr. Gerd Bacher
Tag der mündlichen Prüfung: 26.6.2006

Für Miriam, Lia-Sophie und Laurin

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
2	Elektronensysteme in reduzierten Dimensionen	13
2.1	Das zweidimensionale Elektronengas	13
2.1.1	Herstellung und Bandstruktur	14
2.1.2	Elektronische Eigenschaften für $B=0$	16
2.1.3	Das 2DEG im Magnetfeld: Quanten-Hall-Effekt	18
2.1.4	Streuung und Abschirmung	24
2.2	Selbstorganisierte InAs-Quantenpunkte	26
2.2.1	Die Stranski-Krastanov Wachstumsmode	27
2.2.2	Der zweidimensionale harmonische Oszillator	27
2.2.3	Coulombblockade	29
2.3	Eindimensionale Systeme	33
3	Proben und Präparation	35
3.1	Verwendete Heterostrukturen	35
3.2	Lithografie	36
4	Kapazitätsspektroskopie	41
4.1	Messaufbau	42
4.2	3D-Rückkontakt	43
4.2.1	Coulombblockade	46
4.2.2	Effektiver g-Faktor	48
4.2.3	Effektive Masse	50
4.2.4	Quantenpunktdichte	52
4.3	2D-Rückkontakt – Allgemeine Effekte	54
4.3.1	Probendesign und Kapazität	54
4.3.2	Frequenzabhängigkeit	56
4.3.3	Persistiver Photoeffekt	59
4.4	Fazit	60

5	Landau-Niveau-Spektroskopie	63
5.1	Die Zustandsdichte eines 2DEG im Magnetfeld	64
5.1.1	Theoretische Arbeiten	64
5.1.2	Experimentelle Arbeiten	65
5.2	Landau-Level Spektroskopie mit Quantenpunkten	68
5.2.1	Anpassung mit Gaußfunktionen	71
5.2.2	Anpassung mit semi-Ellipsen und Lorentzfunktionen	74
5.2.3	Temperaturabhängigkeit	75
5.2.4	Zweites s-Niveau und p-Zustände	77
5.2.5	Andere Probengeometrien	81
5.2.6	Abschirmungseffekte	82
5.3	Fazit	83
6	Transportparameter eines 2DEG unter dem Einfluss von Quantenpunkten	85
6.1	Probenmaterial und Messaufbau	86
6.2	Ladungsträgerdichte	87
6.2.1	Gekoppelte niedrigdimensionale Elektronensysteme	88
6.2.2	Anwendung auf die untersuchte Probengeometrie	92
6.3	Beweglichkeit	99
6.3.1	Bisherige Arbeiten	99
6.3.2	Ergebnisse	101
6.4	Fazit	113
7	Quanten-Hall-Effekt	117
7.1	Verschiebung der Hall-Plateaus	118
7.2	Unabhängige Konfiguration der Besetzungszahlen n_{2d} und n_{qd}	121
7.3	Fazit	126
8	Nanostrukturierte Proben	129
8.1	Schmale Mesastrukturen	130
8.1.1	Probendesign und Lithografie	130
8.1.2	Leitfähigkeit	132
8.2	Split-Gate-Strukturen	135
8.2.1	Probendesign	135
8.2.2	Leitfähigkeit	136
8.3	Fazit	139
9	Zusammenfassung und Ausblick	141

Anhang	147
A Probenmaterial	147
B Ergänzende Messungen	151
Literaturverzeichnis	156

