

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/19553> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Gudat, Jan

Title: Cavity quantum electrodynamics with quantum dots in microcavities

Issue Date: 2012-06-19

Nederlandse samenvatting

Quantumpunten in microscopische optische trilholtten

Voor de implementatie van quantumcomputers kunnen verschillende paden worden bewandeld, waarbij de realisatie plaats vindt door middel van verschillende fysische systemen. In dit proefschrift worden verschillende aspecten van één mogelijke route onderzocht. Deze route maakt gebruik van *quantumpunten* die opgesloten zijn in microscopisch kleine optische trilholtten. Quantumpunten zijn 3D-structuren van halfgeleidermateriaal met een afmeting van ongeveer 10 nanometer, waarin een enkel elektron kan worden gevangen. De spin van dit enkele elektron speelt de rol van een quantum bit. Dit proefschrift kan gelezen worden als een verhaal, beginnend met het introduceren van de theoretische basisconcepten, gevolgd door een overzicht van de experimentele apparatuur. De daarop volgende zes hoofdstukken beschrijven welk onderzoek is verricht om aan te tonen dat dit een bruikbare route is.

Hoofdstuk één schetst het perspectief van het in dit proefschrift beschreven onderzoek. Daarop volgt een korte inleiding van de algemene concepten welke de basis vormen voor dit onderzoek; dit zijn enerzijds de quantumpunten en microcavities, die gezamenlijk het onderzochte fysische systeem vormen, en anderzijds de cavity quantumelektrodynamica, de theoretische taal die gebruikt wordt om de fysische eigenschappen van deze structuren te beschrijven. In de theoretische uiteenzetting beschrijf ik in detail de wisselwerking tussen licht en het quantum-mechanische systeem in het sterke en zwakke koppeling regime. Beide zijn van groot belang voor het onderzoek dat in dit proefschrift is beschreven. Het zwakke koppeling regime is hiervan het meest relevant.

In hoofdstuk twee wordt de experimentele apparatuur gepresenteerd die ontwikkeld is om de experimenten uit te voeren. Allereerst schetsen we de standaard opstelling bestaande uit optische elementen en de cryostaat. Aangepaste en uitgebreide instellingen voor de experimenten worden in ieder hoofdstuk

gepresenteerd. Aangezien we verschillende lasers en detectoren hebben gebruikt, is hiervan een samenvatting opgenomen. Relevante technische informatie met betrekking tot het aanpassen en optimaliseren van de cryostaat wordt beschreven in bijlage A.

Een gedetailleerde uiteenzetting van het fysische systeem en de optische modestructuur van microscopische optische trilhollen met een oxide-apertuur wordt gepresenteerd in hoofdstuk drie. Een model is ontwikkeld om de frequenties van de transversale modes van deze trilhollen te verklaren. De juistheid van het model als een eerste benadering wordt bevestigd door de metingen. Hiervoor introduceren we een techniek die het toestaat modale profielen met hoge resolutie ruimtelijk vast te leggen, hetgeen ook een belangrijk instrument is voor verdere experimenten. De experimentele karakterisatie van de optische modi verschaft verder inzicht in de brekingsindex verdeling in het central deel van de optische trilholve. We vinden een superlineaire spectrale distributie van de modes, veroorzaakt door de vorm en eigenschappen van de oxide-apertuur. Er wordt een verband gelegd tussen de spectrale modeverdeling en de Purcell factor van de optische trilholve.

Voor een implementatie van quantum informatieverwerking met quantumpunten in microscopische trilhollen is het van belang dat de trilholve polarisatie-ontaard is en dat de emissiefrequentie van de quantumpuntovergang overeen komt met eigenfrequentie van de trilholve. Hoofdstuk vier presenteert afstemmingsmechanismen die ontwikkeld zijn om te voldoen aan deze twee vereisten die onmogelijk te realiseren zijn tijdens het fabricatieproces. Beide afstemmingsmethoden zijn gebaseerd op geïnduceerde oppervlakte-defecten die plaatselijk de mechanische spanning in het materiaal veranderen. Deze permanente aanpassingsmethode is gepresenteerd in twee delen. Allereerst wordt het aanpassen van de dubbele breking van de trilholve aangepakt met polarisatie-ontaarding als doel. Ten tweede wordt de eigenfrequentie van de trilholve aangepakt zodat deze resonant met de optische quantumpuntovergang is.

Hoofdstuk vijf geeft het belang aan van het werken met een enkele quantumpunt in een microscopische trilholve. Een techniek die actieve positionering van een enkele quantumpunt tijdens het fabricatieproces toestaat wordt gepresenteerd. Hiermee hebben wij een efficiënte en accurate methode in handen om structuren te prepareren die geschikt zijn om de interactie tussen quantumpunten en trilhollen te meten in het sterke koppelingsregime. Voor het zwakke koppelingsregime is een lagere positioneringsnauwkeurigheid voldoende, en een techniek die zich richt op het actief positioneren van quantumpunten in vlakke

trilholten wordt besproken. Ten slotte presenteren we metingen die het belang van experimenten aan een enkele quantumpunt benadrukken. Er wordt beschreven hoe optische trilholten in fotonische kristallen op hetzelfde substraat aan elkaar gekoppeld kunnen worden.

Een theoretische beschrijving van voorspelde spin-quantumsprongen wordt gepresenteerd in hoofdstuk zes. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een vier-toestanden model om de populatie en coherentie dynamiek van een enkele geladen quantumpunt te modelleren. We berekenen de kansen op quantumsprongen tussen de verschillende toestanden als functie van de optische intensiteit van het invallende licht. Verder bespreken we het quantum Zeno effect. Het hoofdstuk eindigt met een discussie over verdere uitbreidingen van het theoretische model.

Dit proefschrift houdt zicht voornamelijk bezig met experimenten in het zwakke koppelingsregime. In hoofdstuk zeven presenteren we een aantal ideeën hoe een hybride quantum systeem gebruikt kan worden voor de implementatie van een controlled-NOT gate, en daarmee als bouwsteen van een quantumcomputer. Een Bell-toestand detector is het tweede schema dat besproken wordt.

Het laatste hoofdstuk laat de resultaten van spectroscopische reflectie metingen aan een enkel quantumpunt in een micropillar-trilholte zien. We laten zien hoe goed we de quantumpuntovergang kunnen koppelen aan de eigenmode van de trilholte. We bespreken dat het koppelingsrendement afhankelijk is van de positie van de quantumpunt ten opzichte van het centrum van de trilholte. Verder hebben we onderzocht hoe het reflectiespectrum van de trilholte van de optische pompintensiteit afhangt.

