

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/65452> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Atesci, H.

Title: Towards an ab-axis giant proximity effect using ionic liquid gating

Issue Date: 2018-09-12

Samenvatting

Supergeleiding is een fenomeen dat gekarakteriseerd wordt door condensatie van elektronen in een Bosonische grondtoestand, beschreven door één enkele, kwantummechanische functie. De theorie die voor supergeleiders in 1957 is geformuleerd door Bardeen, Cooper en Schliefer (BCS-theorie), is in staat een specifieke categorie van supergeleiders te beschrijven die in het algemeen een kritische temperatuur (T_c) hebben onder 30 K. De theorie lijkt niet toepasbaar te zijn voor hoge- T_c supergeleiders van koperoxides (cupraten). Deze cupraten gedragen zich anders in een aantal belangrijke aspecten.

Cupraat supergeleiders hebben typisch een isolerende grondtoestand, waarbij dotering de elektrische eigenschappen van de isolator verandert. Supergeleiding wordt alleen verkregen wanneer het cupraat voorzien wordt van een correcte hoeveelheid dotering (mits de temperatuur lager is dan T_c). Wanneer de dotering in een fase-diagram wordt uitgezet tegen de temperatuur, laat dit zien dat het cupraat wordt gekarakteriseerd door afzonderlijke isolerende en supergeleidende fases. Echter, tussen deze twee fases in bevindt zich de zogenaamde pseudogapfase, een fase die, tot op heden, niet heel goed begrepen is, maar die verondersteld wordt cruciaal te zijn voor ons begrip van supergeleiding in de cupraten.

Cupraten zijn in hoge mate anisotropisch in hun elektrische eigenschappen zoals ξ , de supergeleidende coherentielengte. Dit wordt veroorzaakt door de gelaagdheid van hun eenheidscelstructuur, bestaande uit de supergeleidende CuO_2 -vlakken in het a, b -vlak van de eenheidscel. Zo geldt voor een verbinding zoals $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ dat $\xi_{a,b} \simeq 100\xi_c$.

De coherentielengte speelt een cruciale rol in het supergeleidende "proximity" effect. Dit effect ontstaat bijvoorbeeld wanneer een normaal metaal is gesitueerd tussen twee supergeleiders (net als in een boterham). Het wordt gekarakteriseerd door een exponentiële afname

van de supergeleidende golffunctie over de dikte van het normale metaal. De supergeleiders boven en onder het metaal kunnen zowel van het conventionele soort als van de hoge- T_c soort zijn.

Wat gebeurt er nu wanneer het normale metaal wordt vervangen door een cupraat dat zich bevindt in zijn pseudogapfase en waarbij de c -as ervan loodrecht op het grensvlak staat? Verrassend genoeg wordt de coherenctielengte opgevoerd, en wel met een factor 100 of meer. Dit verbluffende resultaat staat bekend als het Giant Proximity Effect (GPE). De exacte fysische oorzaken van het GPE zijn voorsnog onbekend, maar zouden gerelateerd kunnen zijn aan de pseudogapfysica van het koperoxide.

Gezien het feit dat $\xi_{a,b} \simeq 100\xi_c$, zou verwacht kunnen worden dat voor typische cupraten het proximity effect langs de ab -as zich over afstanden tot wel 10^2 nm zou kunnen manifesteren. Daarom vormt het onderzoek naar het GPE, en in het bijzonder naar het GPE langs de ab -as, het centrale thema van dit proefschrift.

We hebben twee methoden gebruikt om een GPE langs de ab -as te induceren. De eerste maakt gebruik van het elektrostatisch induceren van ladingsdragers (*gaten*) met behulp van ionische vloeistoffen. Deze aanpak maakt het mogelijk een junctie tot stand te brengen die structureel homogeen is. De methode maakt gebruik van een gesmolten (moleculair) zout om grote ladingsdragerdichtheden te verkrijgen. Door over de ionische vloeistof een potentiaalverschil aan te brengen, wordt een elektrische dubbellaag gevormd op het oppervlak van het materiaal. Deze methode leidt tot ladingsdragerdichtheden van de orde van $10^{14}/\text{cm}^2$, typisch voldoende om het fasediagram van een cupraat te doorlopen. Hoofdstuk 2 biedt de lezer een idee van wat er bij komt kijken om deze methode toe te passen.

Hoofdstuk 3 beschrijft de methodes die gebruikt zijn bij de groei van cupraten, namelijk gepulste laserdepositie gecombineerd met reflectie hoge-energie elektronendiffractie (RHEED). In dit hoofdstuk wordt de interpretatie van RHEED-data, en informatie over verschillende parameters voor de groei van cupraten, met name $\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_4$, $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ en $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ voorgelegd aan de lezer. Daarnaast worden methodes beschreven voor het verkrijgen van ab -as Josephson-juncties, en worden belangrijke aspecten van structuurfabricage en ionische vloeistofbehandeling toegelicht.

De ionische vloeistof gatingmethode werd eerst uitgebreid toegepast op een niet-koperoxide, namelijk SrTiO_3 , zoals beschreven in

Hoofdstuk 4. Hierin wordt beschreven hoe we een manier hebben gevonden om te differentiëren tussen elektrochemische en elektrostatistische processen geïnduceerd door ionische vloeistof gating. Metingen bij lage temperatuur (dichtbij het smeltpunt van de ionische vloeistof, 183 K) en bij lage druk (10^{-6} mbar) verwijdert het elektrochemische mechanisme van gating, en zorgt ervoor dat het oxide homogeen kan opladen. Het resulterende 2D elektronsich systeem op het oppervlak van SrTiO_3 wordt gekarakteriseerd door percolatiegedreven transport.

Vergelijkbare studies zijn uitgevoerd op de cupraten $\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_4$ (Hoofdstuk 5) en $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ (Hoofdstuk 6). We zijn niet in staat geweest om met de Nb-verbinding een substantiële verandering te weeg te brengen in de ladingsdragerdichtheid aan het oppervlak vanwege de grote gevoeligheid van dit materiaal voor elektrochemische reacties. Deze spelen ook een rol in de La-verbinding in de vorm van oxygenatie. Dit proces doteert het materiaal met positieve ladingsdragers en maakt het mogelijk om supergeleiding te induceren in deze films.

Hoofdstuk 8 beschrijft de methodes voor het maken van een Josephson-junctie in het vlak. Hier wordt ionische vloeistof gating toegepast op een dunne supergeleidende film met een lage T_c , waarbij een specifiek gebied door middel van een laag AlO_x op het koperoxide het gatingeffect blokkeert. We nemen waar dat, alhoewel de toegenomen ladingsdragerdichtheid op de niet door AlO_x bedekte gebieden wel leidt tot een hogere T_c in het junctiegebied over afstanden veel groter dan $\xi_{a,b}$ (ongeveer twee ordes van grootte), de resultaten nog niet doorslaggevend zijn vanwege vermoede imperfecties (i.e., porositeit) in het AlO_x .

De tweede methode maakt gebruik van geëtste dubbellagen (zie Hoofdstuk 7). Hier worden, opeenvolgend een film met een lage T_c ($\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$) en een film met een hoge T_c ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$) gedeponeerd. Daarna wordt de toplaag weggeëtsd op een specifieke manier met een bundel van argonionen. De resulterende quasi-*ab*-as junctie biedt elektronen van beide hoge- T_c elektroden een pad door het lage- T_c gebied van de barrière. De resultaten worden ondersteund door magnetische veldmetingen en wijzen op een "proximity" effect over afstanden die beduidend groter zijn dan $\xi_{a,b}$. Echter, inhomogeniteiten als gevolg van het gebruikte etsproces laten niet toe dat ondubbelzinnige conclusies worden getrokken.

Het proefschrift wordt afgerond met een vooruitblik en een kri-

tische beschouwing over de fysische oorsprongen van het GPE op grond van een aantal cruciale metingen in Hoofdstuk 9. Ondanks de beperkingen van de onderzochte juncties concluderen we voorzichtig dat twee van de voorgestelde mechanismen van het GPE niet de voorkeur hebben.