



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Josephson and noise scanning tunneling microscopy on conventional, unconventional and disordered superconductors

Chatzopoulos, D.

Citation

Chatzopoulos, D. (2021, November 25). *Josephson and noise scanning tunneling microscopy on conventional, unconventional and disordered superconductors*. *Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3243474>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/3243474>

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

Samenvatting

Tussen de verschillende fenomenen die zich in gecondenseerde materie voordoen, is supergeleiding een van de meest fascinerende. Opmerkelijk is dat de elektrische weerstand van een supergeleider verdwijnt onder een karakteristieke temperatuur. Supergeleiding ontstaat in bepaalde materialen door de vorming van elektronenparen, de zogenaamde Cooperparen. Onder de supergeleidende kritische temperatuur condenseren Cooperparen in een coherente macroscopische kwantumtoestand, die beschreven wordt als een geladen supervloeistof. De notie van Cooperparen is essentieel voor het begrijpen van supergeleidende correlaties tussen de verschillende klassen van conventionele, onconventionele en wanordelijke supergeleiders. Daarom is het onderzoeken van de supervloeistof om de eigenschappen van zijn bestanddelen te meten uiterst belangrijk, zodat er meer licht geworpen wordt op supergeleidende correlaties.

In dit proefschrift gebruiken we Josephson raster tunnelmicroscopie en ruis raster tunnelmicroscopie voor de studie van conventionele, onconventionele (ijzergebaseerde) en wanordelijke supergeleiders op atomaire schaal. Enerzijds staat de Josephson raster tunnelmicroscopie (JSTM) ons toe om de dichtheid van de supervloeistof rechtstreeks te visualiseren met hoge spatiële resolutie. Anderzijds wordt ruis raster tunnelmicroscopie (NSTM) gebruikt voor het meten van de hagelruis, die de lading detecteert van de dragers die een supergeleidend condensaat vormen.

Deze nieuwe raster tunnelmicroscopie (STM) technieken worden geïntroduceerd in hoofdstuk 2. Voor JSTM worden de belangrijke theoretische overwegingen van het Josephson-effect geanalyseerd. Bovendien beoordelen we de relevante modellen voor het beschrijven van dergelijke JSTM juncties samen met de methoden voor het extraheren van de dichtheid van de supervloeistof via tunnelspectroscopie metingen. Vanuit een experimenteel perspectief bespreken we hoe we een JSTM junctie kunnen vormen door punt van de STM-naald te bedekken met lood, een conventionele supergeleider, en we wijzen op het belang van elektronische filtering om ongewenste ruis te verminderen. Verder in hoofdstuk 2 worden de basisprincipes van NSTM gepresenteerd met de nadruk op de gelimiteerde breedte van conventionele STM-schakelingen die metingen van hagelruis onmogelijk maken. Vervolgens wordt onderzocht hoe deze fundamentele beperking kan worden overwonnen met behulp van een hoogfrequente versterker. Tenslotte vatten we de methoden samen die we gebruiken om de hagelruis uit NSTM-metingen kwantitatief te bepalen.

In hoofdstuk 3 wordt de JSTM-techniek uitgevoerd op de onconventionele ijzerhoudende supergeleider $\text{Fe}(\text{Se},\text{Te})$. Door het condensaat direct op atomaire schaal te onderzoeken vinden we dat de dichtheid van de supervloeistof ruimtelijk inhomogeen is. Geïntrigeerd door dit gedrag van de supervloeistof onderzoeken we de mogelijke oorzaken van zulke sterke dichtheidsvariaties. We sluiten kristalrooster-

fouten, supergeleidende 'energy gap' variaties en verstrooiing uit als de oorzaak van de waarnemingen. We vinden echter dat de dichtheid van de supervloeistof de ruimtelijke onregelmatigheden van de coherentie van de quasideeltjes volgt. We ontdekken dat deze correlatie geldt voor afstanden geassocieerd met de lengteschaal van supergeleiding in Fe(Se,Te). Onze bevindingen suggereren dat de supervloeistof intrinsiek inhomogeen is, vergelijkbaar met cupraat supergeleiders waar een vergelijkbare correlatie tussen de dichtheid van de supervloeistof en de coherentie van quasideeltjes gevonden is op de macroscopische schaal. Tenslotte geven we een vooruitblik op hoe JSTM kan worden gebruikt in andere supergeleiders om inzicht te krijgen in de variaties in hun dichtheid van supervloeistof.

Ons volgende wetenschappelijke avontuur, gepresenteerd in hoofdstuk 4, gaat weer over Fe(Se,Te) waar we merkwaardige resonanties ten gevolge van onzuiverheden ontdekken. Het gebruik van een supergeleidende STM-naald stelt ons in staat spectroscopie uit te voeren met een ongekende energie-resolutie. We vinden onzuiverheidsresonanties in de supergeleidende energiekloof van Fe(Se,Te) die volgens ons afkomstig zijn van de lokale interactie tussen de supervloeistof en de magnetische defecten. Verrassend genoeg ontdekken we dat in Fe(Se,Te) de energie van de zogenaamde Yu-Shiba-Rusinov toestanden, ruimtelijke dispersie vertoont en kan worden afgestemd door de afstand tussen de naald en het oppervlak aan te passen. Om dit ongewone gedrag te verklaren realiseren we ons dat de lage en inhomogene dichtheid van de supervloeistof in Fe(Se,Te) een gedeeltelijke penetratie van het elektrisch veld in het binnenste mogelijk maakt. Op deze manier beïnvloedt het elektrische veld van onze naald-sonde de onzuiverheidstoestand, waardoor deze in essentie elektrostatisch gedoteerd wordt. Onze hypothese wordt getest via theoretische simulaties met behulp van het single-impurity Anderson model. Het blijkt dat deze eenvoudige beschrijving van ons systeem de experimentele bevindingen goed reproduceert. Tenslotte vergelijken we onze resultaten met recente rapporten van Majorana fermionen op Fe(Se,Te).

NSTM op een conventionele supergeleider, lood, is het onderwerp van hoofdstuk 5. In dit werk meten we in wezen de lading van de dragers die overgedragen worden in een STM-junctie gevormd door een loden naald en oppervlak. Wij verifiëren met behulp van NSTM dat voor een specifieke aangelegde spanning Andreev reflectieprocessen effectief optreden, waarbij een lading van tweemaal de elektronlading over de junctie wordt overgedragen. Verder brengen we hagelruis in kaart op atomaire schaal rond argon nanocaviteiten om aan te tonen dat Cooperparen niet beïnvloed worden door verstoringen op een lengteschaal kleiner dan de supergeleidende coherentielengte.

Tenslotte behandelen we in hoofdstuk 6 een andere klasse van supergeleiding. De wanordelijke supergeleider TiN wordt onderzocht boven zijn kritische temperatuur via NSTM met behulp van een metalen naald. Wij vinden dat er dragers bestaan met een lading die tweemaal zo groot is als de elektronlading, terwijl het materiaal zich in een niet- supergeleidende toestand bevindt die qua geleidingspectroscopie lijkt op een metaal. Deze opmerkelijke waarneming wijst in de richting van het bestaan van voorgevormde Cooperparen in TiN, een concept dat theoretisch werd besproken en onderzocht via conventionele STM-spectroscopie in de context

van wanordelijke supergeleiding. Onze studie bevestigt deze ideeën verder door rechtstreeks de lading van de dragers in de metallische toestand van TiN te meten.

