

University of Groningen

Fundamental limitations of THz and Niobiumnitride SIS mixers

Dieleman, Pieter

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

1998

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Dieleman, P. (1998). *Fundamental limitations of THz and Niobiumnitride SIS mixers*. University of Groningen.

Copyright

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

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Samenvatting

In dit onderdeel zal worden getracht de essentie van het onderzoek beschreven in dit proefschrift te presenteren zodanig dat het te begrijpen is door familie, vrienden en vakgenoten zonder de natuurkundige achtergrond al te veel te verliezen.

Wat is licht

Het onderzoek richt zich op de ontwikkeling van een detector die uiterst gevoelig is voor een bepaald soort licht. Licht bestaat uit verschillende kleuren, wat bijvoorbeeld mooi gedemonstreerd wordt door een regenboog. Er bestaat ook licht dat we niet kunnen zien, omdat ons oog niet gevoelig is voor die "kleuren". Daarom spreken we dan ook niet over de kleur, maar over de *frequentie* van dat licht. De manier waarop licht zich voortbeweegt door de lucht kun je vergelijken met een golf op een wateroppervlak. De snelheid waarmee de golf "kabbelt", dat wil zeggen hoe vaak hij op en neergaat per seconde wordt in de natuurkunde de frequentie genoemd en deze bepaalt de kleur van het licht. Simpel gezegd: "Blauw kabbelt sneller dan rood". Licht met een erg hoge frequentie wordt röntgen straling genoemd, en als je de frequentie steeds lager maakt, ga je van infrarood (nachtkijkers) naar radiogolven (tv zenders). Tussen deze laatste zit het frequentie gebied dat voor ons van belang is, 0.1 tot 3 Terahertz. (1 Tera hertz is 1 miljoen keer 1 miljoen "kabbels per seconde", dus onvoorstelbaar veel!)

Stroom als water

De detector bestaat uit twee laagjes van een supergeleider, gescheiden door slechts één tot twee atoomlagen van een metaal oxyde (roest!). Daarom wordt het een SIS detector genoemd, wat staat voor Supergeleider-Isolator-Supergeleider. Een supergeleider is een materiaal dat als het wordt afgekoeld tot een temperatuur van 200 tot 270 graden onder nul, enorm goed een elektrische stroom kan geleiden. De SIS detector kun je beschouwen als een bak water met in het midden een

dijk. Water moleculen zijn de elektronen in de supergeleider, de dijk is het oxyde laagje. Als je het waterniveau aan één kant verhoogd, zal er geen waterstroom lopen, totdat het waterpeil hoger wordt dan de dijk, want dan zal het water over de dijk heen stromen. Evenzo hebben elektronen in de ene supergeleider niet genoeg energie om naar de andere kant te springen, tenzij een elektrische spanning wordt aangelegd die de elektronen genoeg energie levert. Stel nu dat het waterpeil zo hoog is dat er net geen water over de dijk stroomt. Een paar regendruppels zijn dan al genoeg om een waterstroom te veroorzaken. Zo werkt ook de SIS detector: een klein beetje licht is al voldoende om de elektronen net iets meer energie te geven zodat ze naar de andere kant kunnen springen en een meetbare stroom doen ontstaan. Ergo, hij ziet het licht.

A star is born

Er zijn twee redenen om de gevoeligheid van zo'n detector te onderzoeken. De eerste is dat vele verschijnselen optreden die slechts ten dele begrepen zijn, zodat er een fundamentele reden is om goed te kijken wat zo'n apparaat nu eigenlijk doet. De tweede reden is een meer toegepaste. Er is een sterke vraag naar een extreem gevoelige detector voor straling uit de ruimte en de bovenste lagen van de atmosfeer. Als atomen in gas wolken namelijk met elkaar in botsing komen zenden ze met een molekuul-specifieke frequentie licht uit. Deze frequentie ligt meestal tussen de 0.1 tot 3 Terahertz. Als nu de frequentie van dit licht kan worden bepaald weet je dus precies welk gas in welke mate aanwezig is. Zo wordt er onderzoek gedaan naar hoe een ster geboren wordt op miljoenen lichtjaren afstand, en hoe het broeikas effect zich ontwikkelt in onze eigen aardse atmosfeer.

Een ongewenste zonnebril

Het werk beschreven in dit proefschrift is een voortzetting van het werk van mijn voorgangers, Netty Honingh en Gert de Lange, die het pionierswerk hebben gedaan wat betreft de optimalisatie van de detector voor frequenties van 0.35 tot 0.69 Terahertz. Het bleek dat als je naar hogere frequenties gaat, de detector zelf nog steeds goed blijft werken, maar dat een gedeelte van het licht verloren gaat in het element dat het licht naar de detector geleidt, vergelijkbaar met het kijken door een zonnebril. Voor zowel dit toevoerelement als de detector zelf werd niobium gebruikt als supergeleider en deze bleek slecht tegen licht te kunnen met een frequentie hoger dan 0.7 Terahertz. Licht van een hogere frequentie heeft namelijk

een sterker effect op het materiaal waar het op gericht wordt dan licht met een lagere frequentie. Daarom kan je huid ook prima tegen gewoon zichtbaar licht, van rood tot blauw, maar ultraviolet licht heeft een hogere frequentie en kan je huid dus beschadigen! Zo ook niobium, dat zijn supergeleidende eigenschappen snel verliest bij een frequentie boven 0.7 Terahertz. Daarom hebben we het niobium in het toevoerelement vervangen door een gewoon metaal, aluminium. Het blijkt dat voor deze hoge frequenties een gewoon metaal een betere geleiding heeft dan een *supergeleider*!

De detector zelf bleek het wel goed te doen bij frequenties net boven 0.7 Terahertz. Daarom hebben we ons eerst gericht op de optimalisatie van een niobium detector met een aluminium toevoer circuit, zoals beschreven in hoofdstuk 3. Een interessante vondst tijdens het testen was dat het aluminium element de detector veel beter koelde dan voorheen het niobium deed, wat beschreven is in hoofdstuk 4. De detector wekt immers bij erg lage temperaturen.

Dijkverzwaring

Toch heeft ook de niobium *detector* een frequentie bovengrens en die ligt bij ongeveer 1.2 Terahertz. Bij hogere frequenties wordt deze werking verstoord, omdat er evenveel elektronen van de ene naar de andere kant springen als omgekeerd, zodat er effectief geen verandering optreedt. (Zoals grote waterdruppels evenveel water van de ene kant van de waterbak slaan als vice versa, ongeacht het niveauverschil). De oplossing is het gebruik van een andere supergeleider, waarbij de elektronen een hogere energie nodig hebben om naar de andere kant te komen, zodat ook de frequentie waarbij de werking wordt verstoord hoger ligt. (Vergelijkbaar met een hogere dijk in de waterbak). De supergeleider die wij hiervoor hebben gebruikt is niobiumnitride, die in principe moet werken tot 2 Terahertz. Omdat dit materiaal veel moeilijker is te maken dan niobium, zijn we gaan samenwerken met Karl Heinz Gundlach en Berk Plathner van het Institut de Radio Astronomie Millimétrique, die een redelijk werkende detector hadden ontwikkeld bestaande uit niobiumnitride lagen gescheiden door een magnesiumoxyde laagje, maar nog zonder aluminium toevoer element. Na wat technologische moeilijkheden slaagde Berk's opvolger, Matthias Schicke erin een goede niobiumnitride detector te fabriceren *met* een aluminium element. Onze metingen aan dit apparaat staan in hoofdstuk 5 en vormden wereldwijd de eerste en tot nog toe de beste resultaten met een niobiumnitride SIS detector bij frequenties tot 1 Terahertz.

Een (dijk)doorbraak

Toch bleken de niobiumnitride detectoren een hoeveelheid ruis te produceren die veel groter was dan met de huidige theorieën verklaard kon worden. Uiteraard is ruis ongewenst in een ontvanger (zoals bijvoorbeeld je radio) en dus was verder onderzoek naar de bron van deze ruis noodzakelijk. Het probleem zit hem in het oxyde laagje, dat te dun is om de supergeleiders overal volledig van elkaar te scheiden. Hierdoor ontstaan kleine gaten in de oxyde laag. Wat het effect hiervan is, is te begrijpen als je dit boekje uitvouwt en de kaft bekijkt. De foto stelt namelijk een dijkdoorbraak voor, in Zeeland in 1953. Duidelijk is te zien dat het water zich met grote kracht door de gaten in de dijk perst. Even duidelijk is dat dit ongewenst is. Dit geldt ook voor de gaten in de oxyde laag, omdat hierdoor grote stromen kunnen lopen, zelfs zonder dat straling op de detector valt. We hebben ontdekt dat deze stromen bovendien worden veroorzaakt door elektronen die door een wisselwerking met de supergeleider andere elektronen op hun reis mee kunnen nemen, zodat de stroom eigenlijk meer bestaat uit schoksgewijze stroomstoten, en dit is de oorzaak van de grote hoeveelheid ruis. Dit fenomeen wordt uitgelegd in hoofdstuk 6 en is veruit de belangrijkste conclusie van dit werk. De detector wordt hierdoor een stuk minder gevoelig omdat er meer licht op de detector moet vallen om boven de ruis uit te komen.

Met de huidige technologie is het niet mogelijk om een oxyde laagje te fabriceren tussen de niobiumnitride laagjes zonder dat deze gaten ontstaan, zodat verbetering van de gevoeligheid op korte termijn niet erg waarschijnlijk is.

Vanuit dit gezichtspunt is opnieuw gekeken naar processen die zich in de *niobium* detector afspelen en ook hier werd hetzelfde effect gevonden. Veel minder dan in het geval van niobiumnitride weliswaar, maar voldoende om meer stroom te laten lopen dan gewenst. De goede vertrouwde niobium detector bleek een factor twee slechter dan altijd werd berekend. Dit is wel eerder gevonden, maar was nooit begrepen, tot de theorie van hoofdstuk 6 werd toegepast op deze detectoren.

En dus ...

Ondanks dat de hoeveelheid ruis in de niobium detector groter is dan verwacht, is de detector beter dan concurrerende concepten tot 0.7 Terahertz. Tussen 0.7 en 1 Terahertz functioneert de detector vergelijkbaar tot iets beter dan de concurrentie. Niobiumnitride detectoren daarentegen presteren vanwege de grote stromen door de gaten in de oxyde laag en de daardoor veroorzaakte ruis, minder goed dan

de concurrerende systemen bij frequenties tot 1 Terahertz en dit verschil zal alleen maar groter worden bij hogere frequenties.

Toekomstig onderzoek zal zich dan ook richten op het ontwikkelen van alternatieve detectoren, die een goede gevoeligheid hebben bij frequenties tot 3 Terahertz.

