

Zusammenfassung

Für die Messung von Submillimeterstrahlung im Frequenzbereich 300 GHz bis 3 THz mithilfe von supraleitenden Devices behilft man sich zweier fundamental verschiedener Detektionsprinzipien. Inkohärente Detektoren messen die Leistung des Strahlungsfeldes gewöhnlich über das Detektorsignal welches durch Paarbrechungseffekte im supraleitenden Material hervorgerufen wird. Im Gegensatz dazu wird in einem Heterodyn timer (Überlagerungsmischer), auch als kohärenter Detektor bezeichnet, die gemessene Signalfrequenz (RF) in eine um Grössenordnungen kleinere Frequenz in das Zwischenfrequenzband (IF) umgesetzt, in dem es dann mit einem Spektrometer weiter analysiert werden kann. Hierzu werden stark nichtlineare Schaltungselemente benötigt in denen das gewöhnlich schwache RF-Signal mit Strahlung aus einer viel stärkeren Referenzstrahlungsquelle (Lokaloszillator, kurz LO) überlagert wird. Heterodyndetektionstechnologien sind in radioastronomischen Empfängersystemen aufgrund ihrer hohen Empfindlichkeit und der hohen spektralen Auflösung im Bereich $\nu/\delta\nu \approx 10^5$ - 10^6 von grosser Bedeutung, welche nur schwer mit einem inkohärenten Detektor erreicht werden kann.

Die vorliegende Arbeit behandelt neuartige Supraleiter-Isolator-Supraleiter (SIS) Zweiseitenbandheterodyn timer und supraleitende Devices für eine neue Generation von astronomischen Submillimeterempfängern im Terahertzfrequenzbereich.

Es werden zwei Projekte dargestellt. Im ersten Projekt wurde ein Prototyp eines neuartigen Mixers mit dem Ziel entwickelt, die Designgenauigkeit, die Technologie und die Performance zu erforschen. Um die ausgereifte Niobtechnologie für die Mixerschaltung ausnutzen zu können wurde der Frequenzbereich 380-520 GHz ausgewählt. Hierbei wurde ein balancierter Hohlleiter SIS Mischer (Gegentaktabwärtsmischer) entwickelt, designt, simuliert, fabriziert und charakterisiert. Im Gegensatz zu gewöhnlichen Mixern mit nur einem Eingang für die RF und den LO haben balancierte Mischer zwei unabhängige Eingänge für diese Signale und ermöglichen deswegen relativ einfache Lösungen in einem Array angeordnet zu werden. Die Optik mit der Strahlung vom Teleskop zu den Mixern eingekoppelt wird vereinfacht sich, da keine optischen Diplexer mehr benötigt werden um RF und LO Signal zu überlagern. Weiterhin würden diese optischen Diplexer die IF Bandbreite limitieren, desweiteren beschränkt die niedrige Ausgangsleistung von Terahertzlokaloszillatoren die Anzahl der Mischer in einem Array. Der Vorteil eines balancierten Mixers ist die Eigenschaft LO Rauschen zu unterdrücken, welches sonst die Empfindlichkeit eines Empfängers verringern würde und die Möglichkeit die niedrige Ausgangsleistung von Terahertzlokaloszillatoren effizienter nutzen zu können.

In den balancierten Mixern in dieser Arbeit sind alle RF Komponenten auf einem 9 μm dünnen Siliziummembran integriert. Dies schliesst zwei Slotline Hohlleiterantennen, einen 90° RF Hybridkoppler, zwei separate SIS Schaltungen als Mischerelemente und einen Tiefpassfilter ein. Die balancierten Mischer haben quantenlimitierte Empfindlichkeit über 70 % der RF Bandbreite von 380-520 GHz

bei einer IF Bandbreite von 4-8 GHz. Somit wird erstmalig ein integrierter balancierter Mischer mit oben genannten Spezifikationen, der quantenlimitierte Empfindlichkeit erreicht, präsentiert. Messungen zeigen die Funktionalität und Symmetrie der Devices wenn die zwei separaten SIS Schaltungen mit gleicher oder entgegengesetzter Spannung betrieben werden.

Weiterhin wird erstmalig eine Messung mit dem balancierten Mischer durchgeführt um den Rauschbeitrag von verschiedenen LO Quellen quantitativ zu bestimmen. Obwohl es allgemein bekannt ist, dass LO Quellen Rauschen zu einem Heterodynempfänger hinzufügen können, hauptsächlich durch Amplituden- und Phasenfluktuationen des LO Signals, wurde dieser Rauschbeitrag noch nicht eindeutig quantifiziert. In gewöhnlichen Mixern wird während dem Mischprozess jegliches Rauschen von den LO Seitenbändern in das IF Band umgesetzt und ist letztlich von dem RF Signal nicht mehr zu unterscheiden. Bisher gibt es nur wenige empfindliche balancierte Mischer im Terahertzfrequenzbereich mit denen diese Messungen durchgeführt werden können. Wir stellen eine Messmethode vor in der ein beliebiger Rauschpegel aus dem LO quantifiziert und in einer äquivalenten Rauschtemperatur ausgedrückt werden kann. Der maximale LO Rauschpegel befindet sich nahe des Trägersignals und kann das Quantenrauschen übertreffen. Als Folge davon sinkt die Empfindlichkeit von Heterodynempfängern mit Mixern, die kleine Zwischenfrequenzen haben, wie etwa Hot-Electron Bolometer Mischer.

Im zweiten Projekt untersucht die vorliegende Arbeit die Devicephysik von mesoskopischen NbTiN/Nb/Al-AIO_x/Nb/Au/NbTiN Kontakten. Diese Devices sind eine aussichtsreiche Technologie für zukünftige Terahertz SIS Mischer für Frequenzen grösser als 700 GHz bei denen Mikrowellenleitungen aus Niob verlustbehaftet werden. Bei diesen Devices kommt weiterhin die Niob-Trilayer Technologie zum Einsatz mit der man sehr niedrige Barrierenleckströme erreichen kann. Wir erwarten, dass Mischer aus dieser Materialkombination bis zu Frequenzen von 1.3 THz funktionieren. Nahezu verlustfreie Übertragung von Signalen bis zu ungefähr den selben Frequenzen ist nun durch das Material Niobtitanitrid gewährleistet. Der bekannte Heizeffekt des Elektronensystems im Niob, verursacht durch die *Andreev* Falle an der Kontaktstelle zwischen Niob und Niobtitanitrid, wird durch eine zusätzliche Goldschicht entfernt. Abhängig von der Dicke und Form der Goldschicht kann die effektive Elektronentemperatur im Niob auf Werte der Phononenbadtemperatur abgesenkt werden, ein Prozess den wir *geometrisches Kühlen* nennen. Weiterhin diskutieren wir den Einfluss des Proximity Effekts im Gold auf das Design von Anpassschaltungen. Diese neue Devicetechnologie ist für eine neue Generation von balancierten SIS Mixern, ähnlich zu denen die in dieser Arbeit entwickelt worden sind, von Interesse, die dann aber für das 1 THz Band designt werden sollen.