

Jörg Stodolka: Fabrikation und Analyse supraleitender diffusionsgekühlter Hot-Electron-Bolometer als Terahertz-Heterodyntimer

Für astronomische Beobachtungen im Fern-Infrarot-Bereich sind Heterodynempfängersysteme mit hoher Empfindlichkeit und hohem spektralen Auflösungsvermögen gefordert. Ziel sind dabei Zwischenfrequenzen von 8 GHz. Kandidaten für Frequenzmischer in diesen Systemen sind supraleitende diffusionsgekühlte Hot-Electron-Bolometer (HEB). Diese bestehen aus einem nur etwa 10 nm dünnen und 100-300 nm langen Supraleiter (hier: Niob) zwischen zwei normalleitenden Anschlüssen (hier: Gold) als Wärmesenken.

In dieser Arbeit wird ein optimiertes Verfahren für die reproduzierbare Nanofabrikation dieser Elemente vorgestellt. Der Supraleiterstreifen wird dabei mittels Reaktivionen-Ätzen unter Verwendung einer per Elektronenstrahl-Lithographie definierten Aluminium-Maske aus einer großflächigen Schicht herausgeätzt. Durch Vermeidung von hohen Prozesstemperaturen über 120 °C und selektives nasschemisches Entfernen der Ätzmaske ist eine gleichbleibende Qualität des Niobfilms gewährleistet.

Von essentieller Bedeutung für die Mischerperformance ist eine gute Transparenz des Kontakts von Normalleiter und Supraleiter. Diese kann über Widerstand/Temperatur-Kennlinien in Gleichstrom-Tests kontrolliert werden. Detaillierte Heterodynmessungen eines im Institut hergestellten HEB der Abmessungen 170 nm x 150 nm x 12 nm wurden in einem Hohlleitermischer bei Frequenzen von 780 bis 880 GHz und Zwischenfrequenzen zwischen 500 MHz und 8 GHz durchgeführt. Am optimalen stabilen Biaspunkt wurde eine Systemrauschtemperatur von 2200 K bei 4.6 K Badtemperatur, 1 GHz Zwischenfrequenz und 880 GHz Lokaloszillor-Frequenz ermittelt. Der Lokaloszillator-Leistungsbedarf betrug 15 nW. Durch Absenken der Badtemperatur auf 3 K konnte die Rauschtemperatur auf 1100 K halbiert werden. Als 3dB-Zwischenfrequenz-Gainbandbreite wurden 3.7 GHz gemessen.

Zum Vergleich der Messergebnisse mit zwei theoretischen Ansätzen wurden Simulationsrechnungen durchgeführt. Das Hotspot-Modell gibt die Tendenz der Messungen etwas besser wieder als das vereinfachende Lumped-Element-Modell. Abweichungen gerade im Bereich des im Experiment verwendeten Arbeitspunkts deuten jedoch darauf hin, dass die Physik von Normalleiter/Supraleiter-Grenzflächen noch besser implementiert werden muss.

For astronomy in the far infrared new receivers of high resolution and sensitivity have to be developed. Superconducting diffusion-cooled Hot-Electron-Bolometers (HEB) utilizing a thin superconducting film (here: 10 nm niobium) of small length (100-200 nm) between two normalconducting heat sinks (here: gold) have become established as sensitive mixers in the THz region.

In this work we present an optimized reproducible fabrication process for these elements using a self-aligned process with gold as an initial contact layer and aluminum as an etch mask that is removed by a wet etch. Care has been taken to avoid processing temperatures above 120°C to minimize degradation of the Niobium film.

For optimum mixer-performance a good transparency of the normalconductor/superconductor-interface is essential. An indicator are the DC noise-vs.-temperature characteristics. Detailed heterodyne measurements of an HEB of dimensions 170 nm x 150 nm x 12 nm in a fixed-tuned waveguide mixer were performed at 780 - 880 GHz and at intermediate frequencies from 500 MHz to 8 GHz. At optimum stable bias we have measured a DSB-noise temperature of 2200 K at 880 GHz, 1 GHz intermediate frequency and 4.6 K bath temperature. The coupled local-oscillator power was estimated to be 15 nW. Reducing the batch temperature to 3 K lead to a decrease of DSB-noise down to 1100 K. The 3dB-gainbandwidth was measured to be 3.7 GHz. The experimental results are compared with predictions of two theoretical models. Calculations in the framework of the hotspot model show better agreement with measurements than those done using the

lumped-element approximation. Nevertheless, discrepancies between experiment and theory are observed at low bias voltages indicating that physical effects at superconductor/normalconductor-interfaces have to be implemented in the model.