

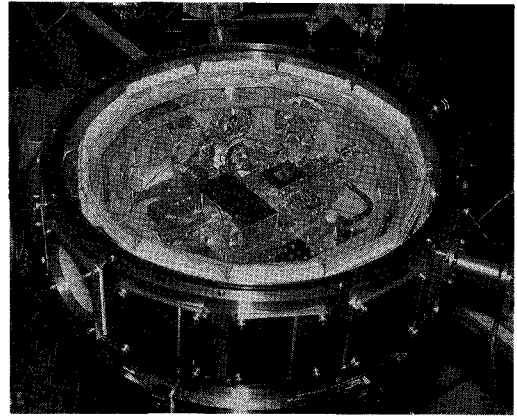
天文観測技術の最前線 (1)

電波天文学を支えるミクロの技術: SIS 受信機

電波観測の検出感度はおもに受信機自身の雑音でっており、その低雑音化は、アンテナの大型化・アレイ化と並んで、近年の電波天文学の目ざましい発展の原動力であった。とりわけ、ミリ波受信機の低雑音化は日進月歩で、その依拠する技術も常温半導体から冷却半導体へ、さらに超伝導体へと急速に進んできた。その中で、今日、「SIS 受信機」は、トップレベルのミリ波低雑音受信機の代表選手となった感がある。SIS とは、Superconductor-Insulator-Superconductor (超伝導体・絶縁体・超伝導体) の略であり、トンネル型ジョセフソン接合の構造を示している。この接合のシャープな非線形特性を利用した周波数変換器が SIS ミキサーであり、これを用いた受信機が SIS 受信機と呼ばれる。

SIS ミキサーの優位性は、1979年、J. R. Tucker の理論とともにパークレイ及びベル研究所の両グループによる実験によって明らかにされた。第1に、その雑音レベルは、不確定性原理で決まる量子論的限界まで小さくできる。これは、従来の半導体ミキサーに比べて桁違いの低雑音であり、しばしば超低雑音と形容される。第2に、周波数変換効率が著しく高い。半導体ミキサーではミリ波から IF (通常はセンチメートル波) への変換効率はいずれも 30% 止まりであるのに対して、SIS ミキサーは動作条件次第では 100% 以上の高効率を実現できる。第3に、ミキサーをそうした状態に駆動するために必要な局部発振器 (周波数変換の基準周波数を与える) の電力がきわめて小さくてよい。短ミリ波からサブミリ波の領域では良質で高出力の信号源が得難い事情があり、SIS ミキサーのこの特徴は受信機の実用化にとって大変好都合である。

半導体ダイオードを流れる電流は 0.1 V オーダーの電圧変化に対して指数関数的に変化する。この非線形性により、ミリ波信号と局部発振器の2つの周波数のビート成分を発生させるのが半導体ミキサーである。これに対して、SIS 接合の電流は、超伝導体の小さなギャップエネルギーを反映して、0.1 mV オーダーの電圧変化で急激に変化する。SIS ミキサーの上述の特徴は、この著しく強い非線形特性の結果である。



国内で初めて実用化された 40 GHz SIS 受信機。現在、野辺山の 45 m 望遠鏡に搭載されて活躍している。

こうして、SIS 受信機は、いわば究極のミリ波受信機ともいうべき魅力的な存在であることが明らかになった。野辺山宇宙電波観測所では、1983年からこの受信機の開発を始めた。折しもこの年、それまでの常識を破る画期的な SIS 接合がベル研究所から発表された。Nb/A10x/Nb の3層構造のこの接合は、ニオブ (Nb) 特有の安定性ととも、超伝導の基礎理論である BCS 理論の予測通りの理想的な電気特性を持っていた。われわれは、通産省電子技術総合研究所の協力を得ながら、これをミキサーとして実用化することとした。新しい受信機を実現するためには、当然ながら様々な理論と技術が必要である。ミキサー用の微小 SIS 接合、ミキサーの最適動作条件、ミリ波回路技術、4K 冷却の方法、低雑音 IF アンプ、低損失ビーム伝送系、等の課題は、多くの関連研究者、企業の協力で解決することができた。

現在、野辺山宇宙電波観測所の 45 m 望遠鏡、5素子ミリ波干渉計には、合計6台の SIS 受信機 (40 GHz 帯、100 GHz 帯) が搭載され、活躍している。これらに続いて、200 GHz 帯の受信機や、多点同時観測のマルチビーム受信機、さらにはサブミリ波用の準光学型ミキサーなど、新しい SIS 受信機が計画されている。15年前、電波の低雑音受信機は中身の理解できないブラックボックスであった。今、われわれは大パラボラで捕えられたミリ波をわずか $1\mu\text{m}$ ほどの SIS 接合に導く技術を手に入れている。SIS の最大の意義は日本の電波天文学の自立に貢献したことである。(稲谷順司)

平成元年12月20日

発行人 〒181 東京都三鷹市国立天文台内

社団法人 日本天文学会

印刷発行

印刷所 〒162 東京都新宿区早稲田鶴巻町565-12

啓文堂 松本印刷

定価 470円 (本体 457円)

発行所 〒181 東京都三鷹市国立天文台内

社団法人 日本天文学会

電話 (0422) 31-1359

振替口座 東京 6-13595