

氏 名 江 畑 克 史 (Katsufumi EHATA)

論文題目 高効率高温超伝導パッチアンテナの設計・試作・評価

英訳題目 Design, fabrication, and characterization of high-temperature superconducting patch antenna with high efficiency

- **Abstract**

In this thesis, evaluation of superconducting patch antennas, examination on their power handling capability, and development of miniaturized cooling systems for the antennas have been described. The thesis consists of the following 7 chapters.

In chapter 1, the background and the aim of the thesis have been written.

In chapter 2, the basic theory of the superconducting patch antenna and the high-temperature superconducting materials have been described.

In chapter 3, experimental procedure has been provided.

In chapter 4, design, fabrication, and characterization of the superconducting patch antennas have been described. Patch antennas with resonant frequency 5 GHz and input impedance 50  $\Omega$  were designed by the transmission line model. The antennas were fabricated of superconducting thin films and characterized. The gain of the superconducting antenna was 4 dB higher than that of the normal conducting one. Therefore, high efficiency of the superconducting antenna was demonstrated.

In chapter 5, power handling capability of the antennas have been examined. Superconductivity of the antennas disappeared by applying large microwave power about 1 W. In the electromagnetic simulation of the current distribution for the conventional patch antenna, it was shown that a large current was produced at the feed point. Using gap-coupled feed technique, the maximum current was decreased to 58 %. Hence, It was shown that the power handling capability can be enhanced using this technique. A 50  $\Omega$  matching between the antenna and the feed line could be achieved even for this technique.

In chapter 6, development of the cooling systems for superconducting antennas have been described. Two types of cooling systems for superconducting antennas, namely, the 1st and the 2nd system, were designed and built. Both the systems had small size and light weight. In the result of seal-off trials, the 2nd system could maintain high vacuum for thermal isolation not less than 3 months. The gain of the antenna installed in the

1st system was higher than that in free space by 11.2 dB because of “Lens Effect” of the radiation pattern.

In chapter 7, a summary of this thesis has been provided.

## (和訳要旨)

本研究は、高温超伝導体を用いた高効率パッチアンテナの実用化を目的とし、高温超伝導パッチアンテナの基礎特性の評価と、実用化への検討を行ったものである。

共振周波数 5 GHz, 入力インピーダンス 50 Ω を有する超伝導パッチアンテナの設計・試作・評価を行い、その諸特性、特に高効率性を明らかにした。また、超伝導パッチアンテナの耐電力特性を測定し、その結果より耐電力特性の向上について検討した。さらに、高温超伝導アンテナ用小型冷却システムの開発を行い、クライオパッケージング技術について検討した。以下に、本論文の各章の内容を記す。

第1章「序論」では、本研究の背景と目的について述べている。初めに、近年の無線通信の普及に伴うアンテナの重要性を示した。次に、アンテナの性能を向上させる手段の一つとして、超伝導体を用いることを提案した。さらに、過去における超伝導アンテナの研究例や、超伝導アンテナの実用化への課題について述べた。

第2章「超伝導パッチアンテナの原理」では、パッチアンテナの基礎理論、高温超伝導薄膜材料、およびパッチアンテナの超伝導化について述べている。まず、パッチアンテナの入力インピーダンスが、給電点の位置により変化することや、パッチアンテナからの電磁波放射のメカニズムを示した。次に、マイクロ波デバイス用高温超伝導薄膜材料、および基板材料について述べた。さらに、パッチアンテナを超伝導化した際の放射効率の向上についての計算結果を示した。

第3章「実験方法」では、パッチアンテナの理論的解析手法や、試料の作製法、アンテナの測定法について述べている。初めに、伝送線路モデル、sonnet em, KCC Micro-Stripes の計算原理について説明した。次に、パッチアンテナの作製手順として、フォトリソグラフィとウェットエッチング技術について述べた。また、電波暗室と冷凍機による超伝導アンテナ測定システムについて述べた。さらに、アンテナの入力インピーダンス特性や放射特性の測定、および耐電力特性の測定に用いたマイクロ波回路について説明した。

第4章「超伝導パッチアンテナの設計・試作・評価」では、超伝導パッチアンテナの設計・試作・評価の結果について述べている。パッチアンテナの基礎特性を実験的に確認した後、伝送線路モデルを用いて、共振周波数 5 GHz, 入力インピーダンス 50 Ω のパッチアンテナを設計した。次に、銅薄膜、および超伝導薄膜パッチアンテナを試作し、これらのアンテナの入力インピーダンス特性と放射特性を測定した。この結果より、入力インピーダンス特性の温度変化について検討した。また、超伝導アンテナは、常伝導アンテナに比べて 4 dB 高利得であった。よって、超伝導体の利用により、パッチアンテナの放射効率が向上することを実験的、理論的に示した。さらに、パッチアンテナの設計手法について検討し、sonnet em を用いることにより、正確なパッチアンテナの設計が可能であることを示した。sonnet em により設計した金薄膜パッチアンテナは、ほぼ目的の特性を有していた。

第5章「耐電力特性に関する検討」では、超伝導パッチアンテナを実用化する際の検討課題の一つである、耐電力特性について述べている。超伝導パッチアンテナの耐電力特性を測定した結果、数百 mW 程度の入力電力により超伝導性が失われ、アンテナの利得が数十 dB 減少した。超伝導パッチアンテナの耐電力特性の向上には、高品質薄膜を用いることやアンテナをより低温に冷却することが有効であることを示した。

次に、パッチアンテナの電流分布を計算した結果、給電点付近に大電流が集中することが分かった。ギャップ結合給電を用いることにより、パッチ内の最大電流が 56% に減少することを示し、耐電力が 3 倍に向上する可能性を明らかにした。さらに、ギャップ結合給電パッチアンテナの給電部の形状が入力抵抗に与える影響について調べ、ギャップ結合給電を用いても、50 ス給電線路と整合できることを示した。ギャップ結合給電パッチアンテナの放射特性についても検討を行い、給電法による放射特性の違いがないことを示した。

第6章「超伝導アンテナ用小型冷却システムの開発」では、高温超伝導アンテナ用小型冷却システムの開発について述べている。市販の小型スターリング型冷凍機を用いて、小型、軽量の超伝導アンテナ用小型冷却システムを開発した。開発した2つのシステムについて、その冷却性能や真空封止性能を評価した。開発したシステムは、高温超伝導マイクロ波デバイスの冷却に十分な冷却性能を有していた。1号機では40時間、2号機では90日間の真空封止が可能であった。これらのシステムに取り付けられたパッチアンテナの特性を調べ、1号機に取り付けられたパッチアンテナの指向性利得が 11.2 dB 向上することを、実験的・理論的に示した。また、1号機冷却システム用アンテナの設計、試作を行い、冷却システム中で、共振周波数 5 GHz、入力インピーダンス 50 スを有するパッチアンテナを実現した。

第7章「結論」では、本論文にて明らかになった点を総括し、超伝導アンテナの研究における今後の展望と課題について述べている。