

特集：超電導マイクロ波・テラヘルツ波デバイス技術

「超電導マイクロ波～光デバイス技術の最近の動向」

山形大学
大学院理工学研究科
教授 大嶋重利

超電導デバイスの研究動向を知る最善の指針は、国際会議での発表件数の推移であろう。昨年9月に行われた EUCAS-ISEC-ICMC の合同国際会議は直近の国際会議として、その指標を出すのに好都合な会議である。今回は超伝導発見 100 年を記念としたシンポジウムであったので、発表件数も多く、デバイス関連だけでも 300 を超えていた。超伝導エレクトロニクス関連の発表種目を大ざっぱに分けると、図 1 ようになっていた。SQUID 関連とジョセフソン接合関連の発表が極めて多かったが、マイクロ波～光デバイスなどのデバイスに関する発表も比較的多く、図で示されるように、主としてフィルタ関連、テラヘルツ波関連、TES/ボロメータ関連等に分類される。マイクロ波～光デバイスの中で最近精力的に研究されているテーマや私が興味を持っている研究について以下に紹介したい。

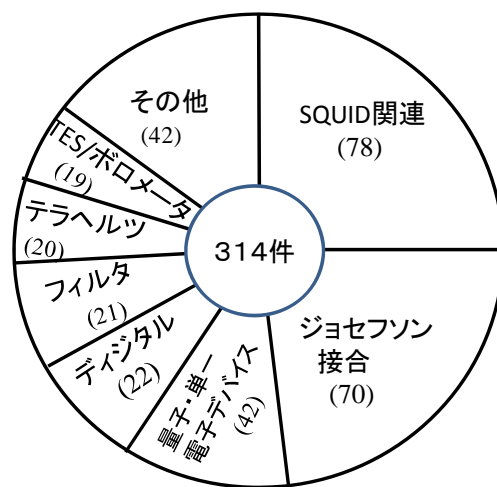


図 1 EUCAS-ISEC-ICMC 会議で発表されたデバイス関連の論文数

1. マイクロ波分野

マイクロ波超伝導デバイスとして現在精力的に検討されているのはやはりバンドパスフィルタである。その中でも最近は、次の 3 種類のフィルタについて多く検討されている。

- ・デュアルバンドバンドパスフィルタ (DBPF)
- ・UWB (Ultra Wide Band) 通信フィルタ
- ・高耐電力バンドパスフィルタ

DBPF については、この特集号で楢林氏が解説しているので詳しい説明は避けたいが、2 つの周波数帯域を通過するバンドパスフィルタのことである。もともとは、米国の携帯電話の周波数割り当てで問題となった、A-B 問題を解決するために検討されたフィルタである¹⁾。しかしそれ以外の目的で最近良好な特性を示すフィルタが幾つか報告されている。中でも中国の清華大学の Cao 教授のグループ²⁾、中国科学アカデミーの He 教授グル

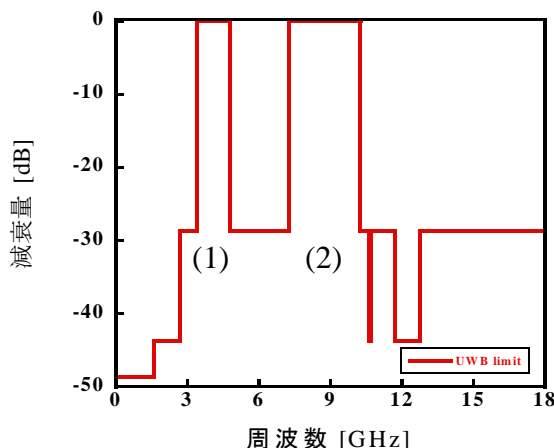


図 2 日本の UWB 通信の周波数スペクトルマスク図 (1)3.4~4.8 GHz, (2)7.25~10.25 GHz

ープ³⁾は新たな応用を目指して、DBPFを提案している。日本でもNTTDoCoMoの佐藤らは、独自の共振器形状でDBPFを実現している⁴⁾。また、3つ以上の帯域を持つマルチバンドバンドパスフィルタ(MBPF)も提案され始めている。

UWB通信は、周波数帯域を極めて広くした通信で、近距離の超高速通信用に開発されたものである。日本でも、総務省がUWB通信用周波数帯域を提示しており(図2)、3.4~4.8 GHzと7.25~10.25 GHzの2つの周波数帯が使用されることになっている。挿入損失が小さく、超広帯域(1~3 GHz)でかつ急峻な帯域外遮断特性を有するフィルタとしては、超伝導フィルタが有利である。我々のグループ⁵⁾や台湾の国立台湾大学の研究者たち⁶⁾中国の清華大学のCao教授グループ⁷⁾が、良好な超伝導UWBフィルタを報告している。

高耐電力超伝導バンドパスフィルタは大きく分けて3つの手法が検討されている。①特殊な共振器形状フィルタ②バルク共振器フィルタ③ハイブリッドフィルタ、③に関しては、この特集号で加屋野氏が解説しているので省略する。①に関しては現在我々のグループや中国の清華大学のCao教授グループが精力的に検討している。我々は、マイクロストリップ線路に細いスリットを入れ、線路端に集中する電流を低減させることにより耐電力が向上することを確認している⁸⁾。また、Cao教授のグループは、各共振器に流れる電流が異なることに着目し、各共振器の幅を変化させ耐電力を向上させるのに成功している⁹⁾。バルク共振器を用いた耐電力向上も我々のグループで報告している。

2. テラヘルツ波分野

この分野での研究は、テラヘルツ波発振デバイスと受信デバイスである。テラヘルツ発振デバイスに関しては、実験・理論ともに現在日本がリードしている。Bi系の固有ジョセフソン接合を用いたメサ構造から良好なテラヘルツ波が発振されることを始めて実験的に見出したのも日本のグループであり、筑波大学の門脇教授グループ¹⁰⁾、NIMSのWang博士のグループ¹¹⁾などから素晴らしい成果が報告されている。また、テラヘルツ波の高感度受信器も多く検討されている。トンネル接合を用いた受信機は従来から検討されているデバイスであるが、最近注目されているのは、MKIDs(Microwave Kinetic Inductance Devices)である。マイクロ波共振器にテラヘルツ波が照射されると、その共振周波数に変化する。その周波数シフトからテラヘルツ波を検知するものである。小型でアレー化も容易であるので、今後の実用化が期待できるデバイスである。

3. 光~X線分野

光~X線を検出する超伝導デバイスは、やはりTransition-Edge Sensor(TES)が主流である。EUCAS2011においても幾つか報告されていたが¹²⁾、分解能や高粒子エネルギーの検知を向上させるために、色々と工夫している。TESに関する詳しい説明はK.D.Irwin and G.C.Hilton著¹³⁾に載っているなのでそれを参考にしてください。

参考文献:

1. A. M. Abu Hudrouss *et al.* 'An Asymmetric Dual-Band HTS Band-pass Filter for American Mobile Phone System' Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceeding, Cambridge, USA (2010) 183
2. C.Feng *et al.* "Design and performance of a compact superconducting duplexer at VHF-band" Physica C; Superconductivity Vol.470 (2010) 1959
3. J. Wang *et al.* "An L-band HTS duplexer with improved performance" Chinese Science Bulletin, Condensed Matter Physics Vol. 55 (2010) 3527
4. K.Sato *et al.* "New Method to Increase Power Handling Capability of High Temperature Superconducting Dual-Band Band Pass Filter" EUCAS2011. 1 EA-06

5. 石井博之ら「マイクロストリップスタブ付き 3 モード共振器を用いた高温超伝導 UWB 帯域通過フィルタの開発」信学技法 SCE2011-1(2011-7)
6. Li-Min Wang *et al.* " Characteristics of Ultra-Wideband Bandpass YBCO Filter With Impedence Stub" IEEE Trans. Applied Superconductivity Vol.21 (2011) 551
7. XB Guo *et al.* " Design of a compact microstrip ultra-wideband bandpass filter at P-Band" Microwave and Optical Technology Letters Vol 51 (2009) 2797
8. S. Takeuchi *et al.* " Power handling capability improvement of HTS filter with sliced microstrip line resonator" Physica C 468 (2008) 1954
9. XB Guo *et al.* " Design of a High-power Superconducting Filter Using Resonators With Different Linewidth" Microwave Theory and Techniques (2007) 2555.
10. T.M. Benseman *et al.* " Tunable terahertz emission from $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ mesa devices" Phys. Rev.B Vol 84 (2011)
11. HB Wang " Coherent Terahertz Emission of Intrinsic Josephson Junction Stacks in the Hot Spot Regime" Phys. Rev.Letters Vol.105 (2010)
12. J. Ullom *et al.* "Transition-Edge Sensor Development for X-and Gamma-Ray Spectroscopy" EUCAS2011. 1-EA-09
13. K.D.Irwin and G.C.Hilton 著 Transition-Edge Sensors ; Cryogenics Detection, Topics in Applied Physic Vol. 99 (2005) 63-152, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005.

[超電導 Web21 トップページ](#)