

機関番号 : 13401

研究種目 : 基盤研究 (C)

研究期間 : 2008~2010

課題番号 : 20560320

研究課題名 (和文)

サブミリ波領域の有効な光源となる連続的に周波数可変なジャイロトロンの開発

研究課題名 (英文)

Development of continuously frequency tunable Gyrotron

for effective radiation source in the submillimeter wavelength range

研究代表者

小川 勇 (OGAWA ISAMU)

福井大学・遠赤外領域開発研究センター・教授

研究者番号 : 90214014

研究成果の概要 (和文) :

ジャイロトロンは、強力な出力が得られ、光源として有望である。しかし、連続的に周波数掃引することは、不可能であった。長い共振器を持つジャイロトロンを製作し、周波数 134 GHz から 140 GHz に亘り連続的掃引できることが分かった。サブミリ波領域の同様のジャイロトロンを製作し、周波数 394.65 GHz から 396.27 GHz の範囲に亘り連続的に周波数を掃引することができた。発振出力は 10 W 以上を確保できており、周波数掃引の機能を持つ強力な光源を実現できた。

研究成果の概要 (英文) :

The gyrotron with a long cavity continues to produce output radiation in the wide range of magnetic fields from 4.9 T to 5.2 T, and continuous frequency tuning in 6 GHz interval from 134 GHz to 140 GHz can be realized. Similiar type gyrotron in the submillimeter wavelength range was fabricated using a 15 T superconductive magnet. This gyrotron produced an output power larger than 10 W in the wide continuously frequency range from 394.65 GHz to 396.27 GHz.

交付決定額

(金額単位 : 円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009 年度	600,000	180,000	780,000
2010 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野 : 工学

科研費の分科・細目 : 電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード : マイクロ波・ミリ波, サブミリ波領域, ジャイロトロン, 高出力光源, 連続周波数可変

1. 研究開始当初の背景

ミリ波と光の領域との間に位置するサブミリ波領域は、未開拓の電磁波領域として取り残されている。サブミリ波領域において研究を展開しようとする、適切な光源がないことが障害となることがある。ジャイロトロンは、比較的小型の装置でありながら、強力な出力が得られる。

しかし、ジャイロトロンでは、発振周波数は共振器の動作モードにより決まり、一つの動作モードと次の動作モードとの周波数間隔は数 10 GHz 程度離れている。従って、発振周波数に関しては、数 10 MHz 程度の調節を一つの動作モード内で行うか、他の動作モードに移り、数 10 GHz 程度離れた周波数に移るのかの選択となる。

従来のジャイロトロンでは、特定の動作モードにおいて、選択的に発振を得るため、電子ビームと高周波電磁場との相互作用が強くなるように、高い Q 値 ($\sim 10^4$) を持つ共振器が採用されている。そのため、一つの動作モード内では周波数を数 10 MHz 程度しか調節できない。動作モードとしては円形導波管モード (TE_{mn1}) の内、発振に有利な $l=1$ に対応する TE_{mn1} モードのみが発振している。従って、 $l=1$ 以外の縦モードにおける発振の報告例はほとんどない。

Q 値が低い ($\sim 10^3$) 条件の場合には、発振に有利な縦モードと不利な縦モードとの差異が小さく、多くの縦モードの発振が得られる可能性がある。この縦モード間の周波数間隔は数 100 MHz と狭く、一つの縦モード内における発振周波数範囲が広くなり、磁場強度の調節だけで、数 GHz の範囲に周波数掃引の可能性が期待できる。

2. 研究の目的

低い Q 値の共振器を持つジャイロトロンを設計・製作し、サブミリ波領域において、数 GHz の範囲に亘って発振周波数を連続的に変化できる連続動作するジャイロトロンを実現し、周波数可変性を求められる研究に役立つ光源を実現すること。

3. 研究の方法

サブミリ波領域における連続周波数可変ジャイロトロン (395 GHz/CW/20 W) の実現を目指す。基本波動作による発振が高出力を得やすく、連続周波数掃引も達成しやすいので、15 T 超伝導マグネットを用いたジャイロトロンを製作する。このジャイロトロンの動作試験を行い、磁場強度を変化に伴って、多くの縦モードが途切れることなく繋がる現象の探索を行う。

磁場強度を変化させながら、設計モードにおいて縦モードの次数が変化していくことを、ハーモニックミキサースとシンセサイザよりなるヘテロダインシステムを用いた周波数測定を行い確認する。連続的周波数掃引幅がどの程度実現されるか調べる。

4. 研究成果

サブミリ波領域は、電波と赤外光との間に位置する電磁波領域で、存在する光源は、出力が微小であったり、自由電子レーザーのように装置が巨大過ぎて、利用できる場合は極限られてきた。近年、ジャイロトロンの高周波化が進み、ジャイロトロンによりサブミリ波領域の発振が得られるようになってきた。ジャイロトロンは、比較的小型の装置でありながら、強力な出力が得られる。そのため、恰好の光源として利用が拡がり、応用研究の進展に弾みがついてきた。

しかし、従来のジャイロトロンでは、掃引が可能な周波数範囲は、数 10 MHz の領域に限られてきた。本研究の目的は、数 GHz の範囲に亘って周波数を連続的に掃引できるジャイロデバイスを開発し、サブミリ波領域の有効な光源を実現することである。

先ずミリ波領域において、周波数掃引できるジャイロデバイスを開発した。通常のジャイロトロンでは、共振器長は 10 mm 程度であるがこの装置では共振器長が 20 mm になっている。図 1 に示すように、磁場強度を増加していくと、発振出力(上)は変動するものの、途切れることなく続いている。これは縦方向のモード次数が異なる多くの発振が存在するためである。磁場強度の掃引により、発振周波数(下)は 134 GHz から 140 GHz に亘り連続的に変化していることが分かる。

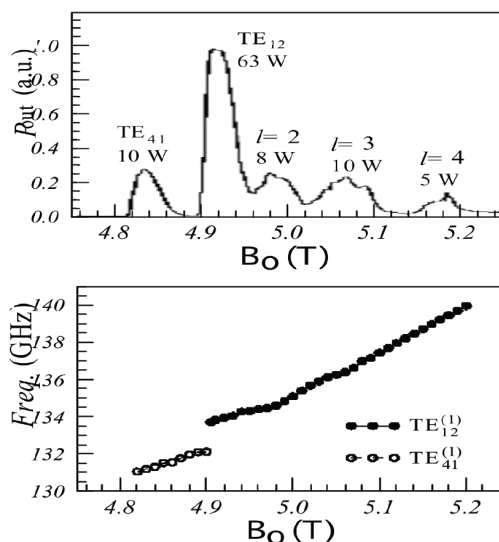


図 1 発振出力(上)と発振周波数(下)の磁場強度依存性

このような周波数連続掃引の特性をサブミリ波領域においても実現するため、15 T まで発生できる超伝導マグネットを用いた Gyrotron FU CW VI を製作した(図 2)。このジャイロトロンは、マグネトロン入射型電子銃、空洞共振器、コレクター、真空窓の各部分がフランジによって接合された組み立て管となっている。ジャイロトロン管上部と下部には真空排気口があり、金属ベローズによって接続されたターボ分子ポンプにより、管内真空度は 10^{-6} Pa 程度の高真空に保たれている。真空度や接合部での歪み等の問題はあるが、真空封じ切り管に比べ、空洞共振器形状の改良やモード変換器の内蔵化など改修には有利である。電子銃は、3 極管方式となっており、カソード電圧およびアノード電圧を各々制御することができる。このジャイロトロンの共振器長は 25 mm であり、共振器が長くなっている。15 T 超伝導マグネットを採用しており、基本波動作によりサブミリ波領域

の出力が得られる。基本波動作を用いると、高出力が得やすく、連続周波数掃引にも有利である。図3に示すように、磁場強度を掃引することにより、発振周波数は394.7 GHz から 396.27 GHz の範囲に亘り連続的に変わることが分かった。発振出力は変動するが10 W以上を確保できており、周波数掃引の機能を持つ強力な光源として、明るい展望が得られた。

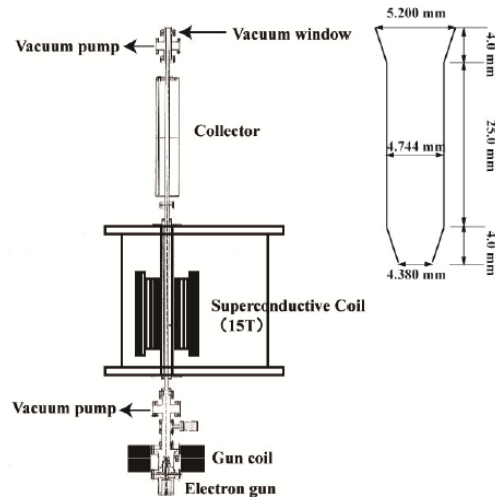


図2 Gyrotron FU CW VI

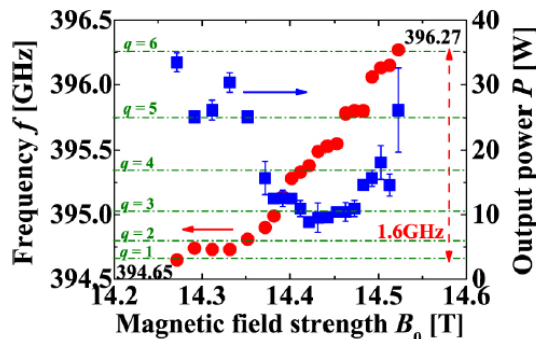


図3 発振出力と発振周波数の磁場強度依存性

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計8件)

- ① Akira Miyazaki, Takayuki Yamazaki, Taikan Suehara, Toshio Namba, Shoji Asai, Teruo Saito, Toshitaka Idehara, Isamu Ogawa, Yuichi Urushizaki, Svilen Sabchevski, Materials Science Forum, 査読有, 666, 2011, 133-137
- ② Toshitaka Idehara & Kosuke Kosuga & La

Agusu & Ryosuke Ikeda & Isamu Ogawa & Teruo Saito & Yoh Matsuki & Keisuke Ueda & Toshimichi Fujiwara, Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, 査読有, 31, 2011, 775-790

- ③ Nai-Ching Chen, Tsun-Hsu Chang, Ching-Pin Yuan, Toshitaka Idehara, and Isamu Ogawa, APPLIED PHYSICS LETTERS, 査読有, 96, 2010, 161501-1-161501-3
- ④ T.H.Chang, T. Idehara, I. Ogawa, L. Agusu and S. Kobayashi, J. Appl. Phys., 査読有, 105, 2009, 063304-1-063304-4
- ⑤ T. Idehara, I. Ogawa, T. Saito, S. Mitsudo, Y. Tatematsu, La Agusu, H. Mori, S. Kobayashi, Terahertz Science and Technologies, 査読有, 1, 2008, 100-106
- ⑥ T. Idehara, T. Saito, I. Ogawa, S. Mitsudo, Y. Tatematsu, La Agusu, H. Mori, S. Kobayashi, Applied Magnetic Resonance, 査読有, 34, 265-275, 2008
- ⑦ M. Toda, Y. Fujii, S. Mitsudo, I. Ogawa, T. Idehara, T. Saito, H. Ito and M. Chiba, Applied Magnetic Resonance, 査読有, 34, 2008, 277-287
- ⑧ V.N. Manuilov, T. Idehara, T. Saito, La Agusu, T. Hayashi, I. Ogawa, Int. J. Infrared and Millimeter Waves, 査読有, 29, 2008, 1103-1112

[学会発表] (計10件)

- ① 池田亮介, 出原敏孝, 小川勇等 周波数連続可変ジャイロトロンの開発, 第27回プラズマ・核融合学会年会, 2010年11月23日, 北海道大学 学術交流会館
- ② R. Ikeda, et al., Development of continuously frequency tunable gyrotrons FU CW VI and FU CW VI A for application to 600 MHz DNP-NMR spectroscopy, The 35th International Conference on Infrared, Millimeter and THz Waves (IRMMW-THz 2010), 2010年10月7日, Angelicum, Rome, Italy
- ③ N. C. Chen et al., Theoretical investigation of a high efficiency and broadband subterahertz gyrotron, The 35th International Conference on Infrared, Millimeter and THz Waves (IRMMW-THz 2010), 2010年10月6日 Angelicum, Rome, Italy
- ④ 池田亮介, 出原敏孝, 小川勇等 600 MHz DNP-NMR 測定のための周波数連続可変ジャイロトロン開発と長時間安定発振の研究, 日本物理学会 2010年秋季大会, 大阪府立大学中百舌鳥キャンパス 2010年9月24日, 大阪府立大学中百舌鳥キャン

- パス
- ⑤ 小菅 幸介他 DNP-NMR のためのジャイロトロンFU CW IIAの開発 II, 日本物理学会第64回年次大会, 2009年3月30日立教大学池袋キャンパス
 - ⑥ 小川 勇他 周波数可変 Gyrotron FU CW IVの開発 II, 日本物理学会第64回年次大会, 2009年3月30日, 立教大学池袋キャンパス
 - ⑦ I.Ogawa, et al. Continuously frequency tunable Gyrotron, Gyrotron FU CW IV, 8th Japan-Australia Plasma Diagnostics Workshop, 2009年2月4日, Australian National University, Canberra, Australia
 - ⑧ 小菅 幸介他, DNP-NMR のための Gyrotron FU CW IIAの開発, 日本物理学会2008年秋季大会, 2008年9月20日 岩手大学上田キャンパス
 - ⑨ 小林真一郎他, 周波数可変性 Gyrotron FU CW IVの開発, 日本物理学会2008年秋季大会, 2008年9月20日, 岩手大学上田キャンパス
 - ⑩ 小林真一郎他 周波数連続可変性 Gyrotron FU CW IVの開発, 日本赤外線学会第18回研究発表会, 2008年9月20日 神戸大学百年記念館(神大会館)六甲ホール

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小川 勇 (OGAWA ISAMU)
福井大学・遠赤外領域開発研究センター・教授
研究者番号: 90214014

(2) 研究分担者

出原 敏孝 (IDEHARA TOSHITAKA)
福井大学・遠赤外領域開発研究センター・教授
研究者番号: 80020197
斉藤 輝雄 (SAITO TERUO)
福井大学・遠赤外領域開発研究センター・教授
研究者番号: 80143163

(3) 連携研究者

立松 芳典 (TATEMATSU YOSHINORI)
福井大学・遠赤外領域開発研究センター・准教授
研究者番号: 50261756