

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：13401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05362

研究課題名(和文)高周波ジャイロトロン出力の高品位化による強力なサブミリ波光源の実現

研究課題名(英文) Realization of an intense, sub-terahertz radiation source to produce high quality output by simultaneously stabilizing the intensity and the frequency of the gyrotron output beam.

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：実験は、連続動作の周波数190 GHzおよび周波数242 GHz、出力数 W程度の発振を用いて行った。周波数変動は、10 MHz程度あるが、冷却水温の変動を0.1 に軽減すると、周波数変動は2 MHz程度に軽減できる。ボディ電圧を操作する周波数のフィードバック制御により、1時間にわたり、周波数変動は、0.5 MHz以下になり安定化できた。

ジャイロトロンの直線偏光ビーム出力を偏光子に導くと、偏光子の回転により透過電磁波強度を調整できる。偏光子の回転を操作する電磁波強度のフィードバック制御により、強度変動1%以下の安定化を達成できた。周波数と出力電磁波強度の同時安定化も達成できた。

研究成果の概要(英文)：Simultaneous stabilization of the intensity and the frequency of the gyrotron output beam is carried out. Frequency fluctuation level of CW, 190 GHz gyrotron output was 10 MHz. Frequency fluctuation level was decreased to 2 MHz by reducing fluctuation level of cooling water temperature of gyrotron cavity region down to 0.1 . Frequency was stabilized within 0.5 MHz for 1 hour by the feedback control to adjust body potential. The linearly polarized output beam from gyrotron is incident on polarizer. The intensity of penetrating beam is changed by rotating the polarizer. The intensity of penetrating beam was stabilized within 1 % for 1 hour by the feedback control to adjust rotating angle of the polarizer. Simultaneous stabilizations of the intensity and the frequency of the gyrotron output beam are carried out by the feedback controls.

研究分野：プラズマ工学

キーワード：ジャイロトロンの出力・周波数の同時安定化、ミリ波・サブミリ波帯の強力な光源、周波数のフィードバック制御、出力電磁波強度のフィードバック制御

1. 研究開始当初の背景

ジャイロトロンは、ミリ波・サブミリ波領域において、他の光源に比べ、格段に強力な出力が得られるという特長がある。強力な出力に注目され、ジャイロトロンの光源としての利用が進んだ。ジャイロトロンの利用が進むと、出力や周波数の安定化が求められるようになった。出力の安定化が多くジャイロトロンで達成された。ジャイロトロンは、周波数の安定性は比較的よい(変動は数 10 MHz に留まる。)ことと、周波数の安定化は出力の安定化程容易でないため、達成例は少ない。ところが、出力と周波数の同時安定化が求められることもあるが、達成例は極めて少ない。

同時安定化の手法は、ジャイロトン動作において、敏感に出力を変化させる動作パラメーターと敏感に周波数を変化させる動作パラメーターのそれぞれを用いるフィードバック制御を採用するというものである。しかし、出力の安定化に用いる動作パラメーターも周波数に影響を与え、逆に周波数の安定化に用いる動作パラメーターも出力に影響を与えるので、同時安定化のとき安定性の劣化が起こる。

2. 研究の目的

ジャイロトロンの出力と周波数の同時高安定化(出力の変動 1%以下、周波数の変動 1 MHz 以下)を達成する。

3. 研究の方法

出力の安定化より、周波数の安定化の方の難易度が高い事を踏まえ、出力の安定化が周波数の安定化に悪影響を及ぼさないようにする。周波数の安定化は、動作パラメーターであるボディ電圧の調整により行う。ジャイロトン出力は、直線偏光ビームの形態で得られる。そこで、ジャイロトンからの出力直線偏光ビームを偏光子に入射させ、偏光子を回転すると、透過直線偏光ビームの強度を変化させることができる。

本研究では、ジャイロトン出力の安定化は行わず、透過直線偏光ビームの強度の安定化を行う。本研究で用いるジャイロトンでは、直線偏光ビームの形態で出力が得られるので、ジャイロトロンを光源として利用する場合、透過直線偏光ビームの強度の安定化を行うことと、ジャイロトン出力の安定化を行うことは同等である。

4. 研究成果

本研究は、図 1 に示す実験装置を用いて行った。ジャイロトン出力は、直線偏光ビームの形態で窓から放射され、偏光子に入射させる。偏光子は傾けられており、反射波が直接ジャイロトロンの窓に戻らないようにしている。反射波はエコソープで吸収している。一方、透過ビームは、応答性が速い検出器で観測している。

ジャイロトロンの周波数は、局部発信器とハーモニックミキサーよりなるヘテロダイン受信系で測定している。局部発信器としてシンセサイザーを用いている。ハーモニックミキサーに入射する電磁波が強くなりすぎないように、出力直線偏光ビームの光軸から離してハーモニックミキサーは置いている。ハーモニックミキサーで出力される中間周波信号は周波数カウンターに入力されその周波数が測定される。

ジャイロトロンの周波数は、シンセサイザーの周波数にヘテロダイン受信系の逡倍数をかけて、中間周波信号の周波数を加えることにより得ることができる。シンセサイザーの周波数安定性は 10^{-9} 程度である。ジャイロトロンの発振周波数の変動は、中間周波信号の周波数の変動に等しい。

周波数カウンターからは、周波数に対応したアナログ電圧が出力される。アナログ電圧は増幅され、周波数安定化のためのフィードバック制御の操作に当たるボディ電圧としてボディ電極に印加される。

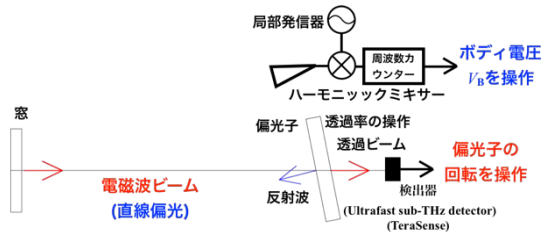


図 1 実験装置

出力ビーム強度の安定化

ジャイロトンからの出力ビームの強度は、図 2 に示すように、約 25%も変動している。本研究では、ジャイロトン出力の安定化をすることなく、偏光子を用いて出力ビーム強度を安定化するという新しい手法を採用している。偏光子を回転することにより、出力ビーム強度を調節できることが重要である。図 3 に示す装置で偏光子を一定の速度で回転させておき、透過ビームの強度の変化を調べたところ(図 4)、出力ビーム強度を調節できることが分かった。偏光子の回転機構では、入力する信号電圧に比例して、回転角を変化できるようになっている。偏光子の回転角度を操作するフィードバック制御を行った結果を図 5 に示す。出力ビーム強度と同時に偏光子の回転角に対応した信号電圧も示している。フィードバック制御をしなければ、約 25%出力ビームの強度が変動していたが、フィードバック制御を行うと変動は 1%以下に軽減されている。偏光子を用いた出力ビーム強度の安定化に成功したことが分かる。

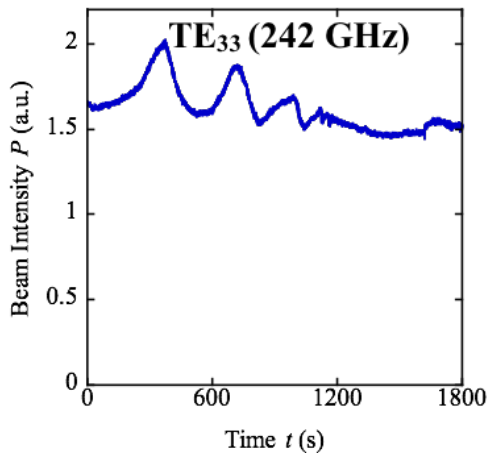


図2 出力ビーム強度の時間変化

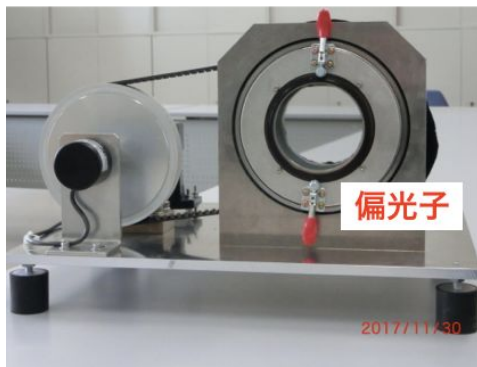


図3 偏光子の回転機構

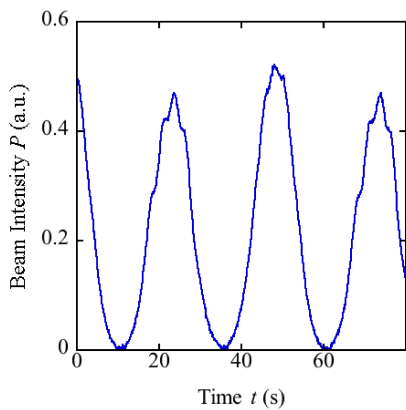


図4 偏光子の回転による透過ビーム強度の調節

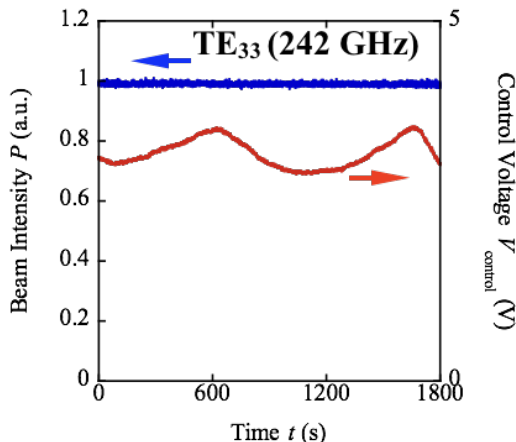


図5 出力ビーム強度と操作信号の時間変化

周波数の安定化

ジャイロトロンが発振開始後の周波数と出力ビーム強度の時間変化を図6に示す。周波数は数10 MHz 低下する。その後周波数の低下は収まるが、10 MHz 程度の周波数変動が続く。チラーを用いて、冷却水温の変動を0.1 以内にすると、周波数変動は2 MHz 程度まで軽減される。

この状態で、ボディ電圧を100 V 程度変動すると、5 MHz 程度の周波数変動がかかる(図7)。2 MHz 程度の周波数変動は、ボディ電圧を100 V 程度操作することにより、充分打ち消すことができる。ボディ電圧を操作する周波数のフィードバック制御を行った結果、1 時間にわたって周波数変動を500 kHz 以下に抑える事ができることが分かった(図8(a))。ジャイロトロンが発振状態の変動を少なくするため、ビーム電流の安定化も行っている(図8(b))。

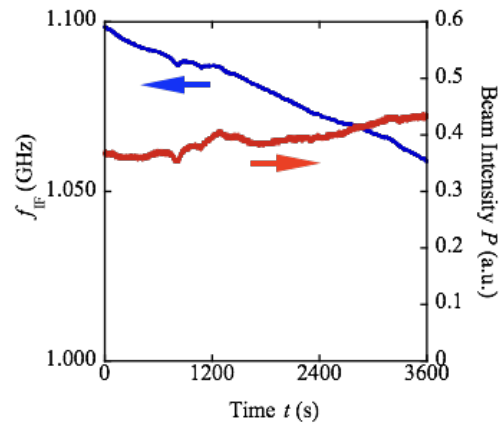


図6 周波数と出力ビーム強度の時間変化

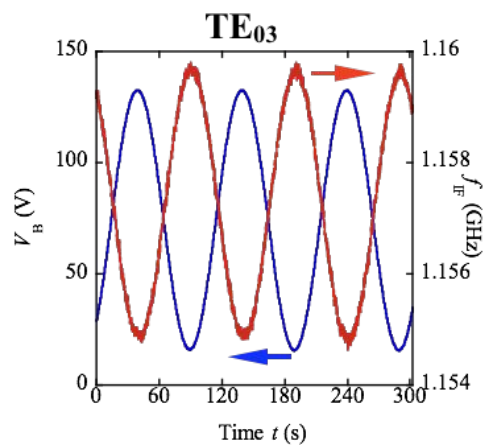


図7 ボディ電圧の変化による周波数変動

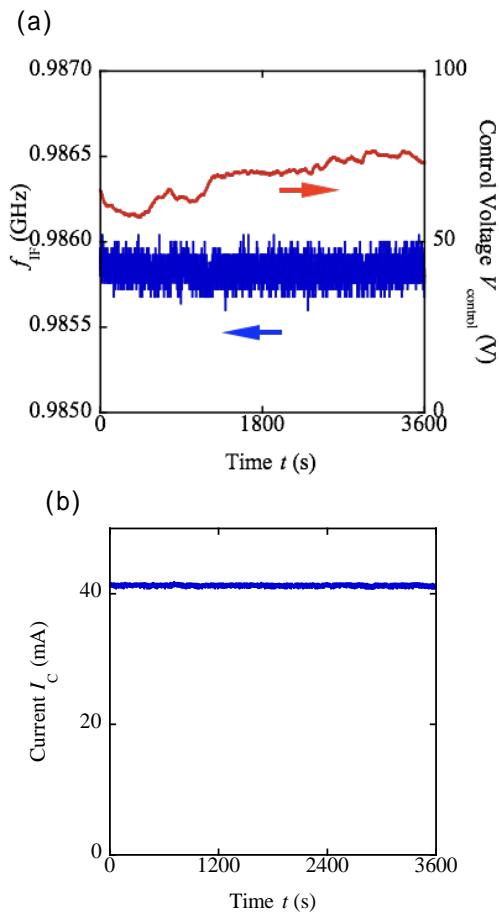


図 8 周波数の安定化
(a)周波数とボデイ電圧
(b)ビーム電流

出力ビーム強度と周波数の同時安定化
出力ビーム強度と周波数の同時安定化は、出力ビーム強度の安定化と周波数の安定化のためのフィードバック制御を同時に稼働させて行う。そのときの結果が図 8 に示されたものである。実は、周波数の安定化の実験で得られた周波数の安定性が、同時安定化を行っても全く損なわれなかったのである。同時安定化の際の出力ビーム強度の安定化の結果を図 9 に示す。
一切安定化しない場合の出力ビーム強度(図 6)と図 9 を比較すると、一切安定化しない場合には、出力ビーム強度が一定値を保っていない。図 9 では、出力ビーム強度は一定値を保とうとしている様子が窺える。しかし、一定値から上下に揺らいでいる。出力ビーム強度の安定化は働いているが、制御が最適になっていないのが原因のように思われる。
出力ビーム強度と周波数の同時安定化では、出力ビーム強度安定化用、周波数の安定化用、ビーム電流の安定化用、合わせて三つの制御器が必要である。自作の制御器が二つしかなかったため、出力ビーム強度安定化用制御器は市販品を用いた。出力ビーム強度安定化の実験だけを行っても、図 5 のように良好な結

果は得られなかった。もし、出力ビーム強度安定化を最適な条件で行えたら、出力ビーム強度と周波数の同時安定化も目標を達成することができたと思われる。

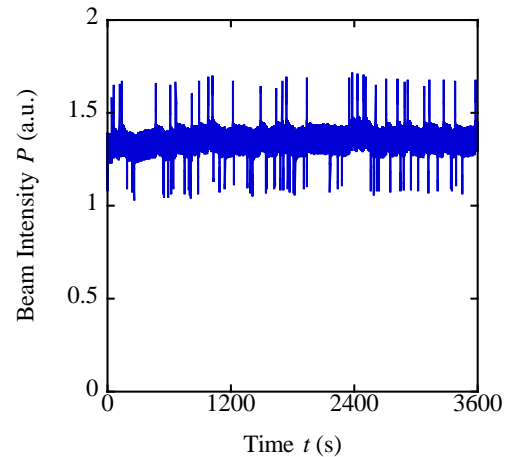


図 9 出力ビーム強度と周波数の同時安定化の際の出力ビーム強度の安定化の結果

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 4 件)

T. Idehara, E.M. Khutoryan, I. Ogawa,
Y. Matsuki and T. Fujiwara

Modulation and Stabilization of the Output Power and Frequency of FU Series Gyrotrons Terahertz Science and Technology, 査読有

9 巻, 2016, 117-129

〔学会発表〕(計 1 件)

小川 勇, 出原敏孝

サブテラヘルツジャイロトロン¹の電磁波ビーム強度と周波数の同時安定化

日本物理学会 第 73 回年次大会 (2018 年)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

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

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()