

400 GHz帯二次高調波ジャイロトロンにおける複合共振器の改良

Design Improvement of a Complex Cavity
for a 400-GHz Band Second-Harmonic Gyrotron

前田悠斗¹, 福成雅史¹, 小椋大聖¹, 笹野準貴¹, 若林優次¹,
 峠正範², 山口裕資¹, 立松芳典¹, 齊藤輝雄¹
 Y. Maeda¹, M. Fukunari¹, T. Ogura¹, J. Sasano¹, Y. Wakabayashi¹,
 M. Tao², Y. Yamaguchi¹, Y. Tatematsu¹, T. Saito¹

福井大学遠赤外領域開発研究センター¹, 福井大学工学部技術部²
 FIR Center Univ. Fukui¹, Technical Division, University of Fukui²

ジャイロトロンはサブミリ波帯の大電力発振器である。より高い周波数の発振を得るためには、高次高調波発振の利用が不可欠である。高次高調波発振では基本波発振とのモード競合が問題となるため、複合共振器を用いたモード競合の抑制が試みられた[1]。複合共振器とは、空洞共振器を複数接続した共振器である。図1に複合共振器の例を示す。複合共振器で発振させるためには、各々の共振器において管軸に垂直な方向の波数を合わせる必要がある。つまり共振器全体における共振条件が厳しくなり、これを利用した不要モードの抑制効果が期待できる[2]。福井大学においては、2段の複合共振器(前段(以下、C1)の半径: 2.588 mm, 後段(以下、C2)の半径: 2.996 mm)を用いて、400 GHz帯二次高調波TE_{8,4}/TE_{8,5}モードペアの発振を調べた。しかし、実験の結果、不要な基本波モード(以後、寄生モード)がそれぞれの空洞で発振し、二次高調波の発振が妨げられていることがわかった[3]。この複合共振器では前述の不要モード抑制効果を期待したが、寄生モードが発振する結果となった。図2に、横軸に各共振器で共振するTEモードの固有値 χ' を示す。便宜上二次高調波は一部のみ示した。TEモードの固有値は共振器内の磁場強度と比例しており、二次高調波発振の固有値は基本波発振の固有値の二倍となる。TE_{8,4}モードの固有値の近くにTE_{5,2}モードがあり、各々の共振器が単独で発振する場合、設計モードと寄生モードが競合しやすい条件にあることが分かる。

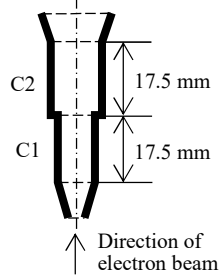


図1 複合共振器の形状

そこで我々は、不要な基本波発振による二次高調波発振のモード競合を避けて、複合共振器においても二次高調波の発振が可能であることを示すため、新たに共振器設計を行った。

新たに採用した二次高調波のモードはTE_{8,3}モード、TE_{8,5}モードである(以下、設計モード)。C1でTE_{8,3}モードを採用し、寄生モードと設計モードの運転条件を離すことで、寄生モードの発振を避けることを期待した。共振器はC1半径: 2.134 mm, C2半径: 2.974 mmとした。ジャイロトロンは加速電圧15 kV, 電子ビーム電流300 mAで運転した。

図3にヘテロダイン受信機によって計測した、発振周波数を示す。 f_c はサイクロトロン周波数である。今回はC1, C2の両共振器から設計モードの発振を得ることができた。今回の実験で複合共振器においても、寄生モードの発振を避けて設計二次高調波モードを発振させることができると実証した。

一方で、複合共振器を全体として機能させる場合、両段の発振周波数を一致させる必要がある。今回の実験では、C1でTE_{8,3}モードが約397.4 GHz, C2でTE_{8,5}モードが約394.6 GHzで発振しており、周波数がわずかに異なる。発振周波数は共振器径を変更することで調節可能である。今後、複合共振器全体として機能させるために、C1, C2での発振周波数を一致させた複合共振器を作成する。

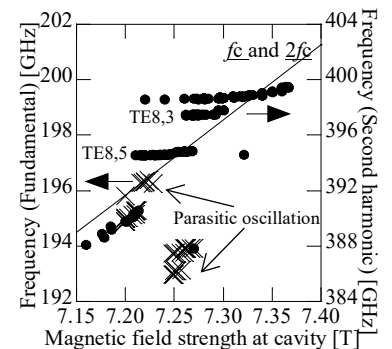
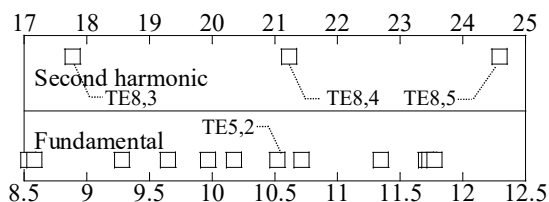


図3 発振周波数測定結果

図2 TEモードの固有値 χ'

- [1] Maria M. Melnikova, et al., IEEE Trans ED, Vol.64, No.12 pp.5141 (2017)
- [2] Dumbrajs, et al., International J. Electronics, Vol65, No.3, pp.285 (1988)
- [3] 小椋大聖 他, 第35回プラズマ・核融合学科年会, 3P61, 大阪大学, 2018/12/03