

東京大学 大学院新領域創成科学研究科
基盤科学研究系 先端エネルギー工学専攻
2011年3月修了 修士論文要旨

内部導体装置Mini-RTにおける

電子バーンスタイン波の屈折率直接計測

学生証番号 47-096081 氏名 本田 章浩
(指導教員 小川 雄一 教授)

Key Words : Electron Bernstein Wave, X-B Mode Conversion, Direct Observation, overdense plasmas

電子バーンスタイン波 (Electron Bernstein Wave) とは、UHR層においてX波からのモード変換により励起される静電波であり、極めて短い波長を持つ、伝播密度限界が無い、高次の電子サイクロトロン周波数でも共鳴加熱可能といった点が主な特徴としてあげられる。このような性質から、近年、密度限界の無い加熱・電流駆動の方法として注目されており、ヘリカル装置や球状トカマク装置 (MAST, TJ-K, LHD・・・etc) において、ECE計測や電子温度や密度の増加を観測する事で間接的にEBWの存在を指し示す研究結果が多数報告されている。しかし、トーラス系実験装置においてプローブ等を用いたEBWの直接計測例は数少なく、実験的に未解明な分野と言える。本研究では、3本のプローブによる直接計測を行い、EBW分散関係との間での有意な一致を見出す事を目的とした。

本研究では、EBW励振にあたり、弱磁場側からのX波垂直入射による励振を採用している。この為、プラズマ内でのEBWの励振には、オーバードenseプラズマの生成と右手遮断層から先の非伝搬領域の波動トンネリングが重要となる。Mini-RTにおいては、入射波よりカットオフ密度の十分高い2.45GHzのマイクロ波によるECHでプラズマを生成する事により、定常的に入射波よりもオーバードenseなプラズマを生成している。また、浮上用コイルに電流を流し、セパトリックス配位を形成する事により、密度勾配を急峻にし、右手遮断-UHR間の長さを狭くする事で、トンネリングを可能としている。先行研究においては、ヘテロダイン計測器を用いたEBW直接計測により、およそ屈折率にして15程度の波が観測された。そこで本研究では、より詳細なEBWの波動を測定し、高い屈折率のEBWを検出するため、ヘテロダインではなく新設の3本静電プローブで計測されるEBW波形の位相差から屈折率を計測する方法を用いた。自作した3本の静電プローブは、アンテナのようにEBWの静電振動を捉えるために用いられる。EBW計測プローブは径方向に、1chを基準として+3mm (2ch)、+5mm (3ch) ずらした形で設置され、各々のプローブで受信される波形の位相差をもって屈折率を算出する。これらを纏めて径方向にスイープする事で、任意の位置におけるEBWを計測している。測定対象とするEBWは、周波数1GHz、屈折率にしておよそ50から100程度であるため、プローブの付け根部分にグランド面を設けたエレメント長はおよそ3mmのモノポールアンテナとした。また、測定対象に合わせて、プローブ間隔を任意に調整できる機構となっている。測定に際し、位相情報に生じる経路差は、真空中でのマイクロ波放射による校正を行い、実験に臨む。実験においては、3本のプローブより生じた位相差から一つの屈折率を算出するため、それぞれの位相情報を縦軸、プローブ間隔を横軸に取り、最小二乗法により波数 k を算出した。また、チャンネル毎に測定された位相情報が、 2π 以上ずれると屈折率の判定が出来なくなるため、最小二乗法で得られた直線と測定点との間の分散が最小になる様、位相に 2π の補正を行った。実験結果と理論の比較においては、EBWの分散関係方程式を計算するコードを作成し、実験時にトリプルプローブにより計測された電子温度、電子密度の径方向分布から、EBWの屈折率を算出出来る様にした。分散関係計算コードにおける磁場情報は、EBW測定中にホール素子により計測された浮上コイル電流値より計算している。また、任意の周波数を入射した場合のEBWモード変換効率を計算する計算コードを作成した。

本研究の実験結果として、屈折率にしておよそ60から100の値がUHR層から2ndECR高調波層の間で観測され、EBW分散関係計算コードより計算された理論値との間での一致を得る事が出来た。また、同時に、測定波形の振幅分布からもUHR層内側領域での振幅増加が確認でき、上記を裏付ける結果となった。1GHzのX波入射時のEBWモード変換率はおよそ90%であった。