ポジトロニウムの超微細構造の 直接測定II(ミリ波共振器)

<u>宮崎彬</u>,山崎高幸^A,末原大幹^A, 難波俊雄^A,浅井祥仁,小林富雄^A,斎藤晴雄^B, 立松芳典^C,小川勇^C,出原敏孝^C

> 東大理, ^A東大素粒子センター, ^B東大院総合文化^C福井大遠赤センター

> > 日本物理学会2012年秋季大会 2012.9.11 @京都産業大学

目次

- ポジトロニウム超微細構造の直接測定
- ・ミリ波共振器
- シリコン基板を用いたFabry-Pérot共振器
- ・回折格子を用いたRing共振器
- ・ミリ波共振器の比較
- ・まとめ



- Phys. Rev. Lett. 108, 253401 (2012) 周波数202.9 GHzにおける直接遷移(o-Ps → p-Ps)を世界で初めて観測した
- •以下の2つが超微細構造の直接測定に不可欠である.
- 1. 遷移曲線を測定することで,入力する周波数を201-206GHzの範囲でsweep →新しいジャイロトロンを開発することで達成した(前の山崎のtalk) 2. 複数の周波数点で測定するために, パワーを極力上げて(20-30kW)S/Nを上昇 させー点の測定時間を短くする(ーヶ月以内)





- ・共振長が半波長735μm(Free Spectral Range)の整数倍で共振
- •入射側はミリ波にたいして反射率の高い(99%)ハーフミラーとして 金のメッシュミラーを使用
- •反対側は凹面ミラーにすることで傾きに対する安定性を増している

Fabry-Pérot共振器の問題点



石英基板の熱伝導は悪い(5W/Km)ため メッシュミラーを冷却できず,20kW以上で金のメッシュパターン溶解 うこれ以上S/Nをあげることができない!

新しいミリ波共振器:2つのアイデア 1. シリコン基板金メッシュを用 2. 回折格子を用いたRing共振器 いたFabry-Pérot 共振器 入射波 水冷 水冷 可能 平面 可能 ミラー 回折波 透過波 入射波 Cuの 共振 共振 回折 反射波 格子 凹面 ミラー

ー見全く異なるこれら二つを定量的に比較するために, 光共振器の性能を表す2つの独立パラメタ フィネス(F)とカップリング(C)を導入する 透過波

反射波

フィネスとカップリング



Akira Miyazaki @ 京都産業大学



すなわち光共振器とは

- 1. カップリングが1に近いほど(反射波が減るほど)よい
- 2. フィネスが高いほど(共振が鋭いほど)よい

という2つの指標で性能を評価することができる.

 P_{gyrotron} は300WなのでC>0.6かつF>400のとき P_{int} >20kWとなって目標達成.

カップリングを上げるには共振器入射時のロスを減らす(透過率と同じとき最大)
 フィネスを上げるには共振器の反射率を上げる

シリコン基板金メッシュ(1)

•高抵抗シリコンは屈折率が 大きいため基板と金メッシュ の干渉が共振に影響 •電磁場シミュレータ CST MW studioでオプティマイズ

物質	屈折率	熱伝導率
		[W/Km]
石英ガラス	1.94	5
シリコン	3.45	148



周波数201-206GHzで フィネスF=400-600程度 カップリングC=0.6が見込める

(2a, g) = (200µm, 140µm)

を厚み1960μmのシリコン基板に対して 見出した

シリコン基板金メッシュ(2)



•フィネス𝒯=430とカップリングC=0.62 シミュレーションを再現
 •cavity内蓄積パワー20-30kWを確認→当初のパワー目標達成
 •水冷は正常に動作し、20kW以上でもメッシュは溶けない



を満たす角度で位相が揃って干渉光が極大→回折光発生



<u>溝形状の寄与</u>

- ●
 ・
 ドリを浅くするほど反射率が上がってフィネス大
 ・
 回折で散乱が大きいと入射ロスを生じるのでカッ
 プリング下がってしまう
 →
 散乱を減らす形状は?
- ★シミュレーションで有望そうな形状をいくつか選 んで実際に製作し試験した結果, 影りの深さ48µm, ruled型回折格子のときが最も良かった→次ページ



ruled型

回折格子を用いたRing共振器(3)



・共振器内光路が波長(1.47mm)の整数倍の地点で共振
 ・フィネスF=630とカップリングC=0.56を達成
 (Fabry-Pérot共振器はフィネスF=430とカップリングC=0.62だった)

ミリ波共振器の比較と選択

•Fabry-Pérot共振器もに比べ,はRing共振器の蓄積パワーは1.5倍 •ただしRing共振器では光路が2つに割れているという特徴がある



★陽電子線源を用いてガス中でポジトロニウムを生成する場合,広い 光路に一様にポジトロニウムを分布させることができないためFabry-Pérot共振器の方が得→今回の実験ではこちらをもちいる

さらなるハイパワーへ向けて



<u>1. 戻り光の問題</u>

 ・ジャイロトロンは内部共振器中で電子 ビームと電磁波が共鳴して発振
 →今より高い発振効率を実現した場合,
 戻り光が発振に影響を与える可能性
 ・Fabry-Pérot共振器は反射波が戻るが,
 Ring共振器は戻らない

2.水冷効率

•シリコン基板にくらべ回折格子はさらなるハイパワーでも十分冷却できることが期待できる

•Fabry-Pérot共振器はパワー密度が高いため100kWくらいでポジトロニウムの直 接遷移確率はサチュレーションを起こす

•Ring共振器は光路が広いのでパワー密度が低く,ポジトロンビーム等でポジトロ ニウムを光路上へ上手く誘導できれば有利になる

結論

- ポジトロニウム超微細構造の直接測定を行うために、20kWを 超えるハイパワーの203GHz光を蓄積できるミリ波共振器が 必要である
- シリコン基板金メッシュを用いたFabry-Pérot共振器と回折格
 子を用いたRing共振器を設計・製作し性能を評価した
- ポジトロニウム生成における優位性からFabry-Pérot共振器を 今後は用いる
- さらなるハイパワーが得られた場合は、ポジトロンビームを用いてRing共振器で実験をすることも考えられる

測定の予定

- Fabry-Pérot 共振器を用いて直接遷移を複数の周波数点 で測定する(1点1ヶ月程度)
- 一年以内に超微細構造の値をO(100ppm)で世界で初め て直接測定する