

AN RF CAVITY FOR AN ATMOSPHERIC SCANNING POSITRON MICROSCOPE

Noriyosu Hayashizaki ^{#A)}, Nagayasu Oshima ^{B)}, Brian O'Rourke ^{B)}, Ryunosuke Kuroda ^{B)}, Ryoichi Suzuki ^{B)}

^{A)} Research Laboratory for Nuclear Reactors, Tokyo Institute of Technology
2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8550, Japan

^{B)} National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)
1-1-1 Umezono, Tsukuba, Ibaraki 305-8568, Japan

Abstract

Positron annihilation spectroscopy is an effective method to analyze material defects non-destructively. When the positron beam is extracted from the vacuum chamber into atmosphere, larger acceleration energy is desirable to obtain high transmission factor for the vacuum window. Therefore, we have developed an RF cavity for an atmospheric scanning positron microscope.

大気陽電子顕微鏡用高周波加速空洞

1. はじめに

産業技術総合研究所（産総研）と東京工業大学原子炉工学研究所（東工大）は、大気陽電子顕微鏡の共同開発を進めている。陽電子は物質中で電子と出会うと、 γ 線を放出して消滅する性質をもつ。その消滅時の陽電子寿命や γ 線エネルギーのドップラー広がり、極微欠陥のサイズ（原子～nm サイズ）や濃度（ $10^{-5} \sim 10^{-7}$ ）に依存し、この原理を利用した陽電子消滅分光は、試料中の極微欠陥等を非破壊的に評価する最も有効な手法である[1]。

産総研では、電子線形加速器を利用して発生した高強度低速陽電子ビームをマイクロビーム化することにより、真空中に設置した試料に対して高い位置分解能で陽電子消滅分光を行う手法を開発した[2-7]。この測定装置は、陽電子プローブマイクロアナライザー、あるいは陽電子顕微鏡と呼ばれる。しかし、現時点では真空中への試料設置が必須となっており、測定可能な試料が限られてしまうことから、我々は陽電子マイクロビームを大気に取り出して、陽電子

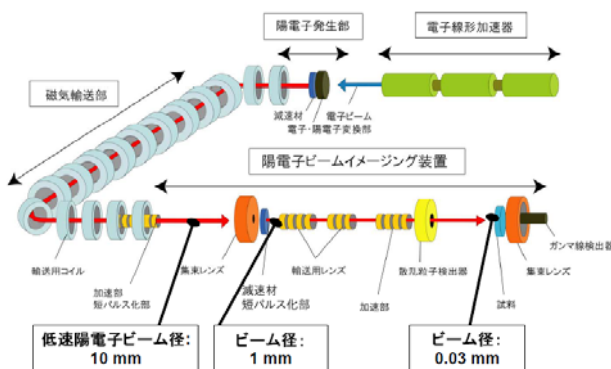


図1 産総研の高強度低速陽電子ビーム実験施設

寿命や消滅ガンマ線ドップラー広がりを計測する装置（大気陽電子顕微鏡）の開発に取り組んでいる。これが実現すると、真空環境への設置が容易でない試料（液相や粉末、あるいは応力・熱などの外部負荷を与えられた試料等）に対しても、陽電子消滅分光による極微欠陥イメージング評価が可能になる。

2. 大気陽電子顕微鏡

大気陽電子顕微鏡システムは図2に示すように、①陽電子マイクロビーム源、②ビーム加速部、③ビーム取り出し真空窓、④試料走査部から構成される。本稿では、①および②の内容について以下に述べる。

要素技術の開発→融合→大気中陽電子顕微鏡の実現

- (1) 陽電子ビーム集束部(マイクロビーム源)
- (2) 陽電子ビーム加速部
- (3) 陽電子ビーム取り出し真空窓
- (4) 試料走査部

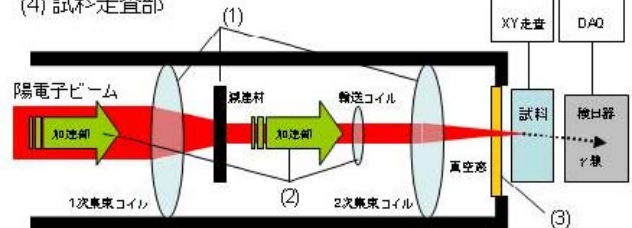


図2 大気陽電子顕微鏡の構成と要素技術

①陽電子マイクロビーム源

これまでの研究成果として、電子線形加速器を用いて発生した低速陽電子ビーム（ビーム径 10 mm）は、減速材を通過して輝度が増強され、末端の試料測定部では 0.03～0.1 mm のビーム径が得られている。本装置でも同システムを利用する予定である。

②陽電子ビーム加速部

nhayashi@nr.titech.ac.jp

従来のシステムでは、真空中でのサンプル照射のため静電型加速管を利用して 25 keV 程度までの加速をおこなっていた。しかし、大気陽電子顕微鏡では、陽電子ビームを大気中に取り出す必要があり、真空窓に対して高い透過率を得るには、ビームの加速エネルギーが大きいほうが望ましい。そして、幾つかの真空窓材料の阻止能を検討した結果、加速エネルギーは 50~100 keV 程度で実用上十分であることがわかった。

この加速エネルギーを、これまで使用してきた加速管によって得ることは絶縁耐圧の問題から難しいので、もしも高耐圧のものに加速管を置き換えたとしても、試料測定部への高電圧印加の必要性は変わらない。そこで本研究では、これらの点を総合的に考慮して、試料設置部に制約条件のない、高周波型の陽電子加速空洞を開発することにした。なお、陽電子消滅分光の測定時間を短くするためには、CW 運転が理想となる。

3. 高周波加速空洞

3.1 全体計画

陽電子大気顕微鏡用高周波加速空洞の開発は段階的に進められている。まず最初に開発されたのが、現在の常伝導型電子線形加速器（運転周波数 2856 MHz）を入射器とした従来のシステムに導入予定のシングルセル加速空洞である[8]。その後、日本原子力研究開発機構から超伝導型電子線形加速器（運転周波数 499.8 MHz, 図 3）が移管され、これを陽電子システム専用入射器として整備する計画がスタートしたことから、新しいデザインによる高周波加速空洞の開発もおこなわれている。

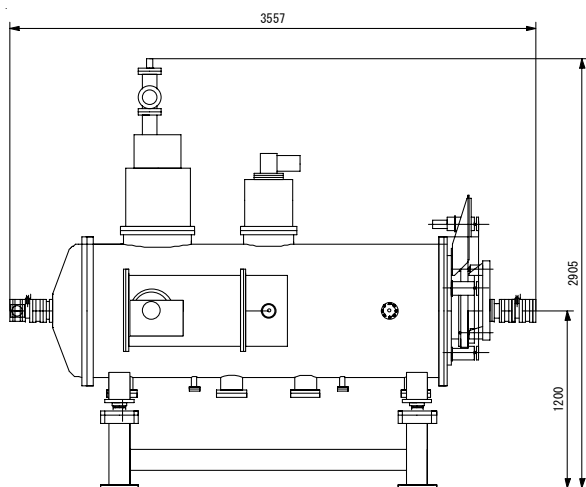


図 3 陽電子生成用超伝導型電子線形加速器

3.2 シングルセル加速空洞

シンプルで取り扱いやすい S-band 加速空洞として、以前に東工大で開発実績のあるシングルセルタイプを基本デザインとした。なお、使用する高周波

増幅器（クライストロン）の制約によりパルス運転となる。その形状図と写真を図 4 および図 5 に示す。ビーム加速のための高周波電場は、TM₀₁₀ モードによって空洞中央部の電極間に励振される。

全体寸法は空洞直径が $\phi 160$ mm, ビームパイプを含む全長が約 100 mm である。構造的には、加速空洞の中央部における分割構造となり、組み立ては O リングとボルト締結によりおこなう。RF コンタクトにはインジウムワイヤを用いる。また、高周波カップラーやチューナーを取り付けるためのポートをハーフセル毎に 2 ヶ所ずつ、合計 4 ヶ所設けている。真空排気はビームポートを通じておこなう。加速空洞本体部分の材料は無酸素銅とし、各種ポートはステンレス製になっている。また、既存装置との取り合いの関係から、フランジ類は全てコンフラットタイプ (ICF34) になっている。そして本体部分を切削加工後、フランジなどポート部品がロウ付された。

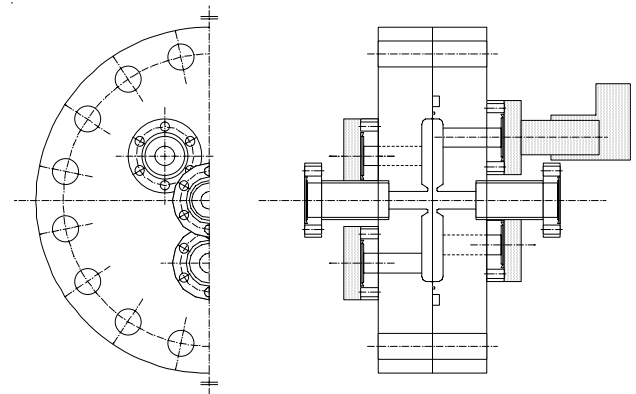


図 4 シングルセル加速空洞の断面図

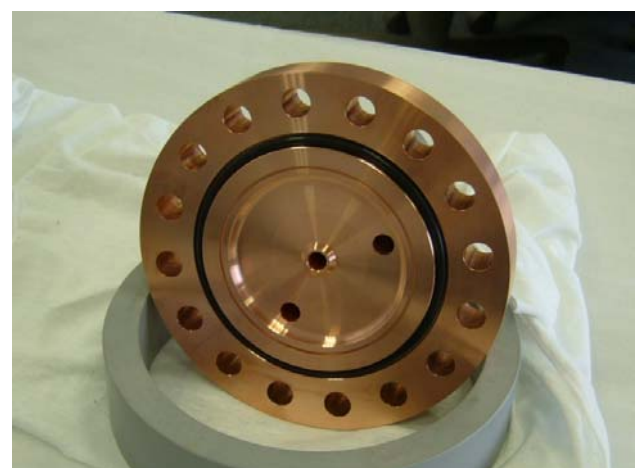


図 5 シングルセル加速空洞

加工直後の共振周波数は、設計周波数よりも若干高めめの 2860.65 MHz (大気), Q 値は 4900 (計算値の 87.5%) が得られた。また、加速空洞内部を真空状態にして共振周波数を測定したところ、大気状態に比べて約 0.8 MHz 高くなった。その後、周波数調

整用の突起部を切削することで共振周波数を微調整し、結果的に2回の調整削りによって2855.39 MHz (大気)の状態が得られ、真空状態において所定の周波数になった。

完成した高周波加速空洞には、大電力予備試験として半導体アンプによってパルス高周波電力(10 Hz, 4 μ s)を最大240 Wまで投入し、問題なく動作することを確認した。現在は、陽電子ビーム実験システムに組み込む前の性能確認試験として、陽電子ビームの代わりに電子ビームを用いたビーム加速試験の段階にある。加速空洞はN型同軸ケーブルによって旧THOMSON社のクライストロンTH2436(最大出力10.5 kW)と接続され、電子銃およびビーム測定システムとともに組み立てられた。そして半導体アンプに引き続き、クライストロンからの高周波電力も問題なく投入され、ビーム調整がおこなわれている。

3.3 半波長同軸型加速空洞

超伝導型電子線形加速器を陽電子システム専用入射器として整備する計画がスタートし、運転周波数も従来システムの2856 MHzから499.8 MHzに変化することになった。したがって、陽電子加速空洞についてもデザイン変更した2号機を並行して開発することにした。

運転周波数が約1/6まで低くなることから、前述のシングルセルタイプでは空洞サイズが大きくなる。検討の結果、499.8 MHzにおいて比較的取り扱いやすいサイズになり、さらに原理的に2回加速構造になるため効率のよい、半波長同軸型加速空洞を採用した。その試作機形状図を図6に示す。空洞内径は $\phi 274$ mm、内導体直径は $\phi 80$ mmである。加速空洞は本体部と端板部から構成され、本体部の側板と内導体は一体成形される。また、図6には記載されていないが、将来のCW運転に対応するため、内導体には冷却水路が設けられる。

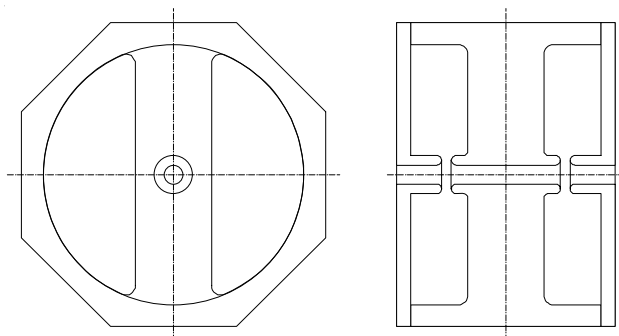


図6 半波長同軸型加速空洞試作機の断面図

我々の研究グループにおいて、半波長同軸型加速空洞の開発は今回が初めてであり、また、一体成形される内導体の加工精度の検討のため、アルミニウム製コールドモデルを試作し、実際の仕上がり状態を確認した。そして現在は高周波測定をおこなって

いる。実機は銅製である。

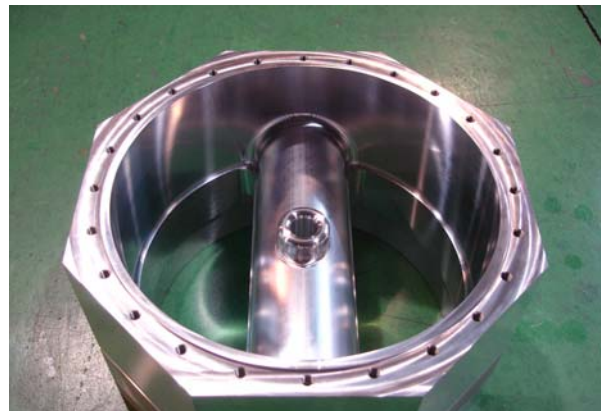


図7 加工途中の半波長同軸型加速空洞試作機

本研究の一部は科学研究費基盤研究(B)21340087の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 陽電子計測の科学, 日本アイソトープ協会, 丸善(1993).
- [2] R. Suzuki, Y. Kobayashi, T. Mikado, H. Ohgaki, M. Chiwaki, T. Yamazaki and T. Tomimasu, Jpn. J. Appl. Phys., Part 2 30, L532 (1991).
- [3] N. Oshima, R. Suzuki, T. Ohdaira, A. Kinomura, T. Narumi, A. Uedono, and M. Fujinami, J. Appl. Phys. 103, 094916, (2008).
- [4] N. Oshima, R. Suzuki, T. Ohdaira, A. Kinomura, T. Narumi, A. Uedono, and M. Fujinami, Mater. Sci. Forum, 607, 238 (2009).
- [5] N. Oshima, R. Suzuki, T. Ohdaira, A. Kinomura, T. Narumi, A. Uedono, and M. Fujinami, Appl. Phys. Lett. 94, 194104, (2009).
- [6] 産総研プレスリリース「陽電子を用いた実用的な3次元極微欠陥分布イメージング法の開発」2008年8月
- [7] N. Oshima, R. Kuroda, C. He, A. Kinomura, T. Ohdaira, H. Toyokawa, R. Suzuki, N. Hayashizaki and T. Hattori, Phys. Stat. Sol.(c)4, 4023 (2007).
- [8] N. Hayashizaki, N. Oshima, R. Kuroda, R. Suzuki, Proc. of Particle Accelerator Society Meeting, (2009).