第2回TIA光・量子計測シンポジウム
2016年11月10日　つくば国際会議場（茨城県つくば市）

筑波大学6MVタンデム加速器 イオンマイクロビームシステムの整備状況

山崎 明義[1)], 笹　公和[1,2)], 石井 聰[2)], 黒澤 正紀[3)], 冨田 成夫[1)], 椎名 陽子[1)], 楢本　洋[2)], 左高 正雄[2)], 工藤　博[2)], 志岐 成友[4)], 藤井　剛[4)], 浮辺 雅宏[4)], 大久保 雅隆[4)], 上殿 明良[1,2)], 喜多 英治[1,5)]

[1)]筑波大学数理物質系, [2)]筑波大学研究基盤総合センター, [3)]筑波大学生命環境系, [4)]産業技術総合研究所, [5)]茨城工業高等専門学校

整備の背景

材料の特性は、含有する微量軽元素や添加元素にしばしば大きく左右される

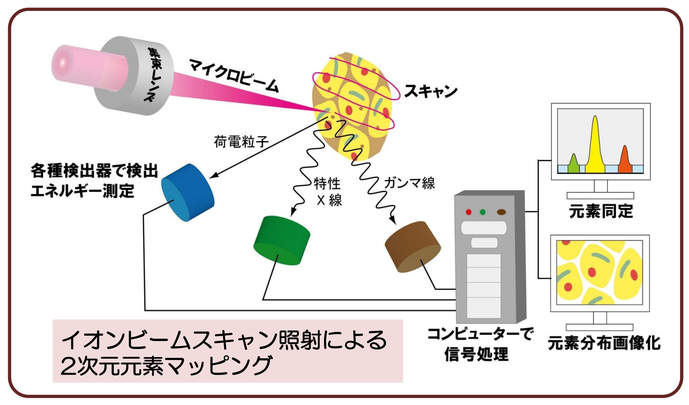
注目すべき元素
水素(H), ホウ素(B), 炭素(C), 窒素(N) など

⇒微量軽元素の分析技術はマテリアルサイエンスにおけるR&Dにとって重要なツールとなる

イオンビームを用いた軽元素分析
- B, C, N, etc. : PIXE（薄窓検出器使用）
- H : NRA, ERDA

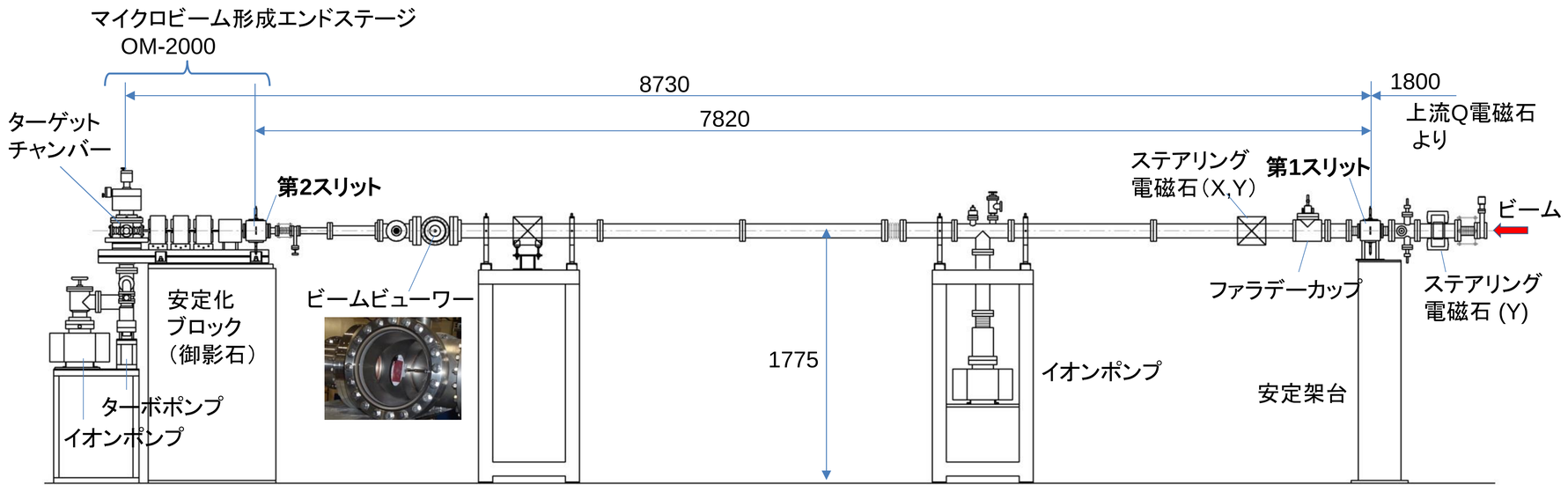
放射線（X線、ガンマ線、荷電粒子）計測による元素同定

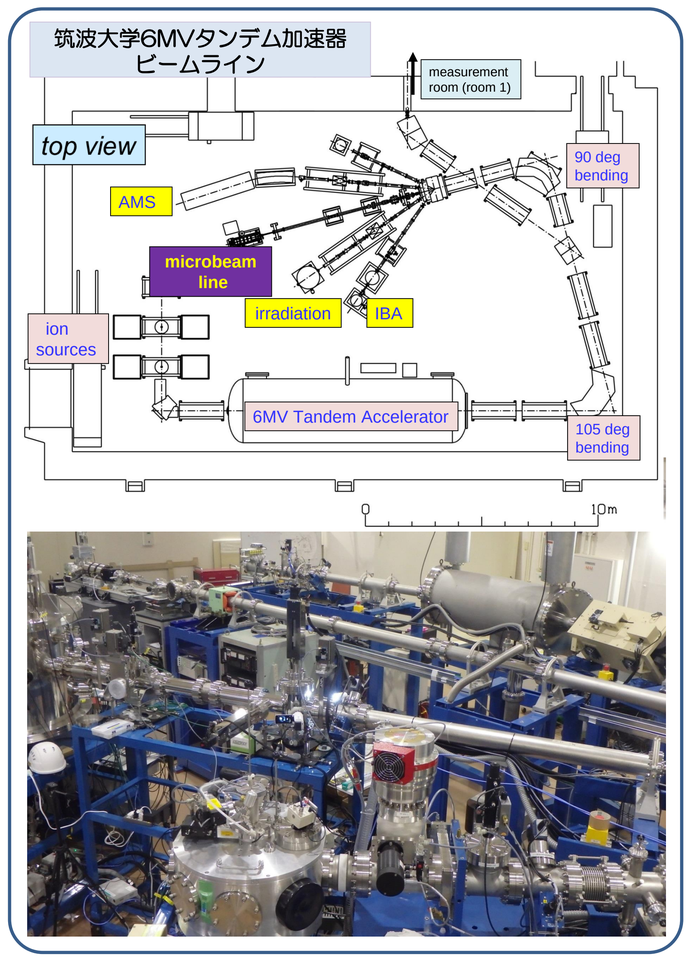
さらに、ビームを集束し（マイクロビーム）2次元スキャン照射することで、2次元元素マッピングを実現



イオンビームスキャン照射による2次元元素マッピング

6MVタンデムイオンマイクロビームシステム概要 （2016年2月完成）



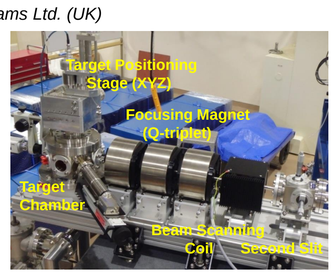


マイクロビーム形成エンドステージ OM-2000

Oxford Microbeams Ltd. (UK)

主な仕様

最小ビームスポットサイズ：
　500 nm
最大スキャンエリア
(3 MeV　proton)：
　2.5 mm × 2.5 mm
最大イオン剛性：
　8 MeV･amu/q^2
作動距離(working distance)：
　180 mm

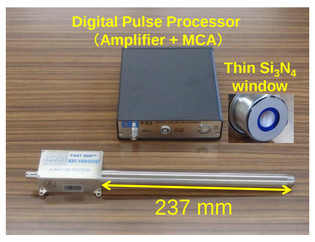


X線検出器：シリコンドリフト検出器(Silicon Drift Detector, SDD)

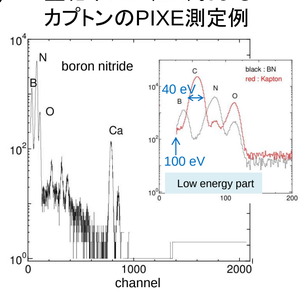
XR-100FastSDD, AMPTEK Inc. (US)

主な仕様

検出素子面積：25 mm^2
検出素子厚さ：500 μm
エネルギー分解能(^{55}Fe 5.9 keV)：126 eV
保護膜材質および厚さ：Si_3N_4　40 nm
　(加えてアルミニウムコーティング30 nm)
素子前面開口部直径：5 mm
グリッド開口率：78%
軽元素特性X線透過率
　B：19.7%, C：43.9%, N：59.2%, O：62%



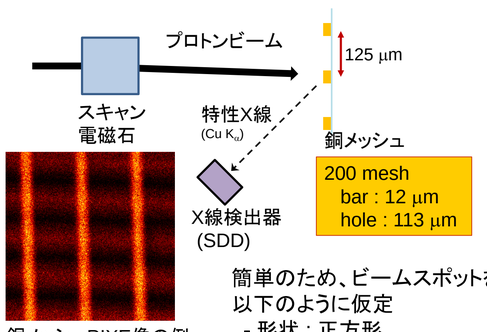
窒化ボロン（BN）およびカプトンのPIXE測定例



測定結果例

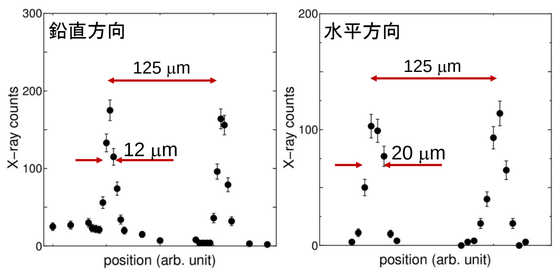
集束ビーム径の評価

銅メッシュにプロトンビームをスキャン照射



銅メッシュPIXE像の例

簡単のため、ビームスポットを以下のように仮定
- 形状：正方形
- ビーム密度：一様

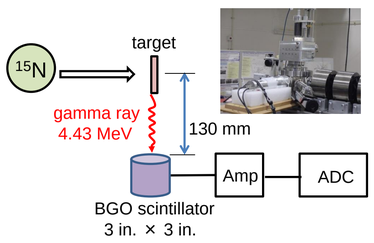


➡ ビーム径推定値
12 ~ 20 μm

目標ビーム径：1μm （2017年春）

^{15}N共鳴核反応（resonant NRA）による水素検出

実験セットアップ



試料：アルミニウム板
　厚さ：1 mm
　表面処理：電解研磨
　（茨城大学工学部　伊藤吾朗教授よりご提供）

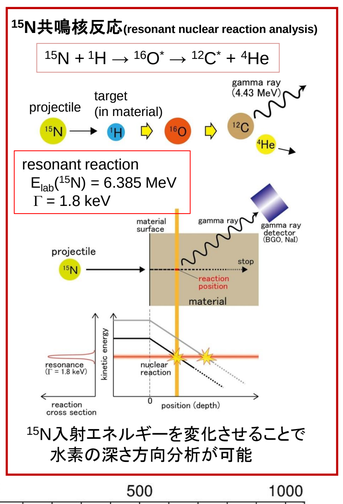
ビームエネルギー：17.8 MeV
　共鳴核反応の侵入長7.5 μmに相当
ビーム径（ターゲット上）：4.5 mm × 4.5 mm

測定時間：4時間
ビーム電流(typical)：12 nA

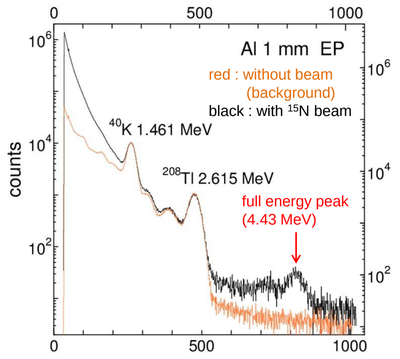
4.43 MeVガンマ線の全エネルギー吸収ピークを観測

試料中の水素の検出が可能であることを実証

今後の課題
- 検出器の設置位置の改善
　（検出器設置専用スペース）
- マイクロビームコースの
　ビーム輸送効率の改善
　（ビーム電流増強による測定の短時間化）



^{15}N入射エネルギーを変化させることで水素の深さ方向分析が可能



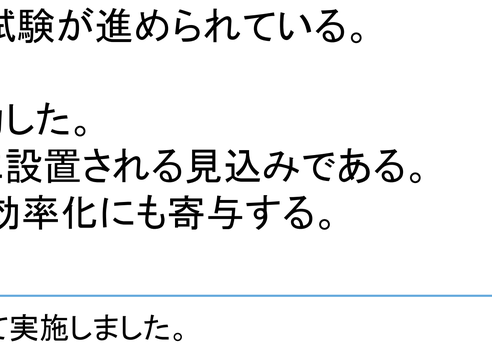
Gamma ray spectrum

今後の予定、スケジュール

今後の予定

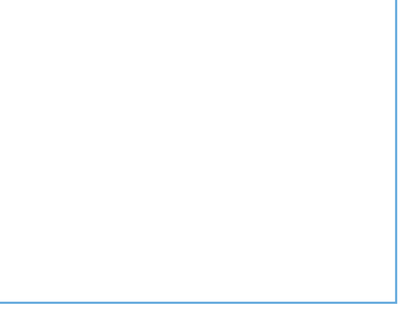
新ターゲットチャンバーの導入 (11月に予定)

超伝導トンネル接合検出器（産総研開発）の導入を目的として新たにチャンバーを製作

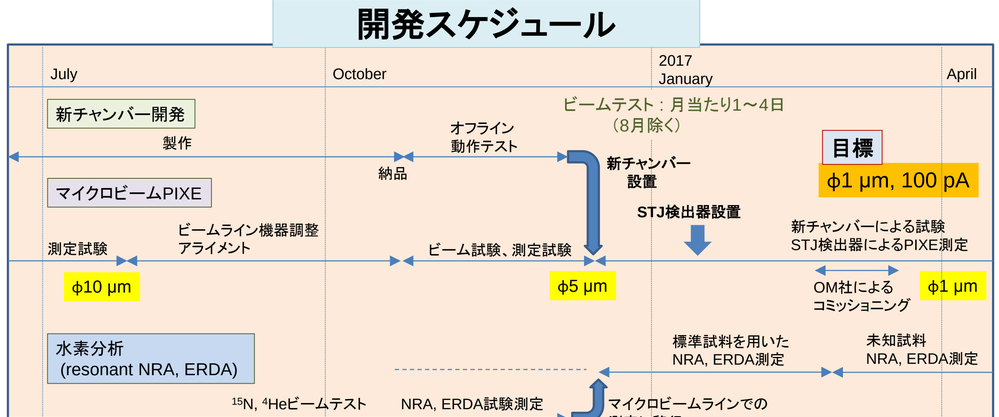


超伝導トンネル接合検出器
Superconducting Tunnel Junction array (STJ) detector

エネルギー分解能に優れ軽元素分析に威力を発揮
2017年初頭設置予定



開発スケジュール



まとめ

- イオンマイクロビームシステムの建設は2016年2月に完工し、現在ビーム輸送および集束試験が進められている。
- 集束試験において、現状でのビーム径はおよそ12～20 μmまで到達している。
- PIXE法が適用できない水素の検出には^{15}N 共鳴核反応法が用いられ、水素の検出に成功した。
- 超伝導トンネル接合(STJ)検出器を設置できる新しいターゲットチャンバーが2016年11月に設置される見込みである。
- 新ターゲットチャンバーはガンマ線や荷電粒子検出器設置機構を備えており、水素検出の効率化にも寄与する。
- STJ検出器は2017年初頭に設置予定である。

謝辞

本研究は、内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム 革新的構造材料 ユニットD66 (SIP-IMASM) の一環として実施しました。
This work was supported by Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program - Unit D66 - Innovative measurement and analysis for structural materials (SIP-IMASM) operated by the cabinet office.