

「物質現象の解明と応用に資する新しい計測・分析基盤技術」
平成 17 年度採択研究代表者

福谷 克之

(東京大学生産技術研究所 助教授)

「水素のナノスケール顕微鏡」

1. 研究実施の概要

水素は質量が軽く原子サイズも小さいため容易に固体中に侵入し、固体の電氣的・力学的性質を大きく変えることがある。また、質量が軽いことを反映して、水素は固体の表面や固体中で量子的に広がって存在すると考えられている。しかし、多くの実験プローブは水素に対して小さな散乱能しか持たないため、様々な問題が未解明のまま残されている。そこで、本研究では、固体中の水素の挙動を明らかにするために、新たにマイクロビーム共鳴核反応法を開発することを目的としている。高速イオンビームと水素との共鳴核反応を利用することで深さ分解測定を行うと同時に、キャピラリーを活用してイオンビームをマイクロ化することで、固体中水素の3次元分布測定を実現する。さらに、キャピラリーの差動排気機能を利用して、実環境下での固体中水素計測を行う。また、水素の量子的性質を明らかにするために、核反応のドップラー効果と角相関を利用して表面吸着水素の波動関数観察と核スピン計測を目指す。

本年度は、研究計画初年度として、主に開発する装置全体の仕様を検討するとともに、共鳴核反応計測のための新たなビームラインの整備を進めた。東京大学タンデム加速研究施設 2B コースに、本研究専用ビームラインとして排気系およびビーム光学系の構築を行い、ビーム搬送テストを行った。キャピラリー駆動機構を新たに製作してビーム収束用キャピラリーを設置し、ビームの透過テストを行った。また、ビーム出口近傍に γ 線計測用シンチレータを設置して計測系のテストを行い、水素起源の γ 線計測に成功した。

2. 研究実施内容

本年度は、開発する装置の全体像に関する検討を進めながら、水素の3次元分布計測用のビームライン整備、核反応放出 γ 線計測系の構築、ドップラー分光計測用の低温試料ホルダーの設計を行った。2006年2月のマシンタイムに合わせて整備を行い、ビームのテストを行った。

I. 装置開発

(1) 3次元分布計測用のビームライン整備

①ビーム光学系の整備

施設既存の収束電磁石とスリットシステムをビームラインに設置した。ビームライン末端には、ビーム形状と電流を測定するためのビームプロファイルモニターとファラデーカップを新たに購入・製作して設置した。

②真空系の整備

イオンポンプ2台を設置してビームラインの排気を行うとともに、ターボポンプによる差動排気系を製作した。ベーキング終了後ビームライン上流で圧力が 10^{-7} Pa 台になることを確認した。

③ビームラインの調整

トランシットとレベラーを用いて、収束電磁石、スリット、ビームプロファイルモニター、差動排気真空槽の位置調整を行った。

④キャピラリーの作製

入口径 0.8mm、出口径 $1\mu\text{m}$ でイオンのチャネリング臨界角以下のテーパー角を持つガラスキャピラリーを作製した。

⑤キャピラリー駆動機構の設計と製作

ビームに対してキャピラリーの位置および角度を調整するための4軸精密駆動装置を備えたキャピラリー保持真空槽を設計・製作した。

(2) 核反応計測系の整備

①検出系の開発

BaF2 シンチレータ4本を新たに準備し、キャピラリー出口に設置した。CAMAC システムを利用して増幅器、遅延回路、演算回路、AD 変換器による信号処理系を構築し（個々のエレクトロニクス部品は借用）、検出系のテストを行った。Unix 上で信号処理用プログラムを開発し、核反応によって放出される γ 線スペクトルの測定に成功した。

②測定ソフトウェア開発

加速器の制御、ビームエネルギー掃引、試料ステージ駆動、信号計測を一元化したソフトウェアの開発を行った。

(3) 3次元分布測定用試料駆動機構の作製

①試料走査システムの開発

キャピラリー先端から $10\mu\text{m}$ の位置まで試料を接近させ、さらに2次的に面内走査が可能な試料駆動機構の設計と製作を行った。

②面内分解能テスト用試料の作製

水素吸蔵性のある Y と吸蔵性のない Au をストライプ状に蒸着した試料を作製した。

(4) 超高真空対応冷却試料ホルダーの設計

核反応ドップラー分光用冷却試料ホルダーの設計を行った。第一段階として、試料の1軸回転可能で、超高真空中での試料清浄化のための1200Kまでの加熱と4.2Kまでの冷却が可能な試料ホルダーの設計を行った。

(5) レーザー誘起蛍光法の開発

ガス導入時の試料槽の圧力分布、気体の流れを分析し、また水素ビーム解析を行うためのレーザー誘起蛍光法の開発を行った。E, F状態へ共鳴励起させ、その後B状態へ緩和する際の蛍光を測定することで分子の内部状態弁別に成功した。

II. ビームラインのテスト

(1) ビーム光学系テスト

TiNとCを混合した固体カソードを用いて $C^{15}N^-$ イオンを発生させ、タンデム加速を用いて6.4MeVの $^{15}N^-$ ビームを発生させた。新たに整備したビームラインにビームを導き、100nAの電流を得ることに成功した。このときのビーム径をビームプロファイルモニターを用いて測定したところ、 $5 \times 3 \text{mm}^2$ であった。キャピラリー入り口径よりも大きいため、もう一段の収束電磁石を導入すると同時に、入り口径の大きなキャピラリーを作製する予定である。

また、キャピラリー出口が1気圧の時、出口径が $1 \mu\text{m}$ では、上流圧力は 10^{-5}Pa に保たれることがわかった。

(2) キャピラリー駆動テスト

キャピラリー槽を真空排気したところ、真空差圧のため駆動機構が精密かつ滑らかに機能する範囲が狭いことが判明した。今後駆動機構の改良を行う。

(3) キャピラリービーム透過テスト

$^{15}N^-$ ビームをキャピラリーに入射し、キャピラリー出口の電流を測定したところ負の電流値が観測された。現時点でその原因は明らかではないが、ビームの透過率を見積もるためには、より詳細な実験が今後必要である。

3. 研究実施体制

福谷研究グループ

① 研究分担グループ長：福谷 克之（生産技術研究所、助教授）

② 研究項目：

(1) 3次元分布測定装置開発

深さ分布測定のための共鳴核反応計測システムと、面内分解測定のための試料/キャピラリー駆動機構の設置と動作チェックを行う。

- (2) 波動関数観測装置開発
超高真空対応冷却試料ステージ・マニピュレータの設計を行う。
- (3) 圧力診断・ビーム診断用のレーザー誘起蛍光法の開発
実環境下試料について試料槽の圧力分布を計測するため、および水素ビーム源のビーム診断をするためのレーザー誘起蛍光法の設計を行う。
- (4) 測定用ソフトウェアの検討
加速器制御と計測系を一元化した測定ソフトウェア開発の検討を行う。

成沢研究グループ

- ① 研究分担グループ長：成沢 忠（電子・光システム工学科、教授）
- ② 研究項目：
 - (1) マイクロビーム用キャピラリーの作製
入り口径，出口径およびテーパ角を変えたキャピラリーの作製を行う。Heビームを利用してビーム透過率の評価を行い，キャピラリー形状、材質、内面処理法の最適化を行う。
 - (2) キャピラリー精密駆動機構の開発
面内位置および2方向回転角を微調可能なキャピラリー駆動機構の設計と作製を行う。

岩村研究グループ

- ① 研究分担グループ長：岩村 康弘（技術本部先進技術研究センター、主席研究員）
- ② 研究項目：
 - (1) 試料槽・駆動機構の設計
試料槽および試料駆動機構について仕様検討および設計を行う。
 - (2) 重水素計測のためのイオン源・加速器の仕様検討
重水素計測のために必要な 1.26MeV の⁷Li ビーム発生のためのイオン源・加速器の仕様を検討する。反応断面積のデータ調査を行う。
 - (3) 水素透過試料の検討
深さおよび面内分解能評価用に，Pd 膜および Pd 細線を積層した構造作製の検討を行う。水素透過特性などの基礎的なデータの収集・検討を行う。

松崎研究グループ

- ① 研究分担グループ長：松崎 浩之（大学院工学系研究科原子力国際専攻、助教授）
- ② 研究項目：
 - (1) マイクロビームコースの真空系の整備
新規開発ビームラインの真空排気システム，ベーキングシステムを整備する。

- (2) マイクロビームオプティクス設計
スリット，収束電磁石，ビームシフターの配置に関する設計を行う。
- (3) マイクロビーム診断法の検討
ビームプロファイルモニターを用いたビームサイズ・広がり角計測用システムの検討を行う。

笠木研究グループ

- ① 研究分担グループ長：笠木 治郎太（理学研究科原子核理学研究施設、教授）
- ② 研究項目：
 - (1) シンチレーターの作製
核反応放出 γ 線計測用の大型 BaF₂ シンチレーション検出器系を構築する。
 - (2) 計測システムの整備
放射線計測用のエレクトロニクスおよびデータ収集システムの構築を行う。