平成29年度
九州大学情報基盤研究開発センター
民間利用成果報告書

提出日：平成　　年　　月　　日

利用課題名		3次元PIC/MC法による矩形スパッタリングカソードのエロージョン形状の解析				
課題責任者	企業名	株式会社 昭和真空　　印				
	フリガナ 氏名	矢部　裕　　印	部署名	技術開発部　技術開発三課	職位	係長
	連絡先	住　所：〒229-0244 神奈川県　相模原市　中央区　田名　3062-10 E-mail：yabe@showashinku.co.jp		TEL 042-764-0391 FAX 042-764-0339		
利用期間		平成29年 4月 1日　～　平成29年 9月 30日				
利用成果公開延期希望の有無		□ 即時公開　・　~~□ 公開延期（成果公開予定：　平成　　年　　月）~~				

※利用成果報告書は原則公開ですが、課題終了後最大2年間公開を延期することが可能です。

- 本様式の変更はできません。
- 補足資料を付加することは可能です。

受付番号	2	受付日 平成29年 11月 16日	受付印	

■利用計画全体の概略（申込書と同じ内容を記述してください）

1） 利用目的

本テーマでは，当社の主要製品の１つであるスパッタ装置 SPH-2500II 向けの高使用効率カソードの開発に取組んでいる．カソード開発をおこなうにあたって，シミュレーション技術が有用になると考えているが，市販ソフトでは2次元にしか対応しておらず，3次元を必要とする矩形カソードの開発には利用できない．そこで，社内の開発テーマの１つとして，3次元プラズマシミュレーションのプログラム開発に取り組み，そのプログラムの開発効率を改善するために貴校の大型計算機の利用を希望している．

2） 利用意義

近頃，スパッタリング装置のような生産設備導入の傾向としては，設備の導入の引合いの話があってから，実際の装置納入の期間が極めて短いため，実際の部品の試作，改良の時間がほとんどないような状況にある．このプログラムをより気軽に利用することができるようになれば，計算機上で予備実験をおこなった上で製品の設計をおこなうことができるので，開発期間の短縮，無駄な実験部品の準備などを減らすことが可能になる．またこのプログラムは 3 次元のシミュレーション結果と実験結果を比較した内容として学術的な意義も大きいと考えられる．

3） 必要性

平成25年度より貴校の大型計算を利用する機会を頂き，サンプル粒子数やメッシュ数を数倍～100倍まで増やした大規模計算が可能となり，平成26年度には，計算機上でプラズマの定常状態を得ることができた．その結果，エロージョン形状，電流-電圧特性，ターゲット蒸発速度など，これまで実験をおこなうまで得ることができなかった内容について計算で求められるようになった．

また平成 27 年度にはより実用的なシミュレーションを目指して，計算方法や計算規模の見直しをおこない大幅に計算時間を短縮した．昨年の平成28年度は高電力密度の計算をおこない，メッシュサイズの細分化を行うことで 3.5W/cm^2 程度の電力密度での計算を可能にした．そして，今年度はさらにメッシュの細分化して高電力密度での計算をおこなうために大型計算機の利用を申請した次第である．

■成果の概要

1） 本課題で得られた具体的な成果

平成25年度より貴校の大型計算機を利用し，サンプル粒子やメッシュ数を数百倍まで増やした大規模計算が可能となり，翌年には計算機上でプラズマの定常状態を得られた．平成 27 年度は，粒子の割付精度，および割付後の平均化方法について見直すことで，1/10 の粒子数で定常状態が得られるようになり，計算時間を大幅に短縮できた．そして，昨年の平成28年度はカソードから垂直方向の z 方向のメッシュサイズを 0.1mm から 0.06mm まで細分化し，実際の生産条件レベルで使われる 3.5W/cm^2 程度の電力密度で定常状態が得られる様になり，今年度は生産条件でも比較的，高い電力密度になる～5W/cm^2 の計算をおこなった．

これまでの計算条件で 5W/cm^2 の電力密度で計算をおこなうと発散したため，メッシュサイズを 0.04mm まで細分化した．その結果，発散までの時間は延びるものの定常は得られなかった．さらにサンプル粒子の数や，粒子(とくに電子)のサンプリング時間の影響を調べたが，計算時間が大幅に大きくなり，現状では 5W/cm^2 の条件で定常状態を得ることはできていない．

2） 社会・経済への波及効果の見通し

近頃，スパッタリング装置のような生産設備導入の傾向としては，設備の導入の引合いの話があってから，実際の装置納入の期間が極めて短いため，実際の部品の試作，改良の時間がほとんどないような状況にある．このプログラムをより気軽に利用できるようになれば，計算機上で予備実験をおこなった上で製品の設計をおこなうことができるので，短期間の開発，無駄な実験部品の準備などを減らすことが可能になり，競合にも優位性を保つことができると考えられる．

3） その他

電力密度が～3.5W/cm^2 の計算ではプラズマ密度が～10^{11}cm^{-3} とそれほど高密度のプラズマではなかったが，～5W/cm^2 の計算ではプラズマ密度が 5x10^{11}cm^{-3} 以上となり，より細かいメッシュが必要となった．その結果セル数は1億を越え，5000万程度の粒子数ではノイズが大きくなることがわかった．またこれまで電子を 1x10^{-11}sec のサンプリングタイムで計算をおこなってきたが，シース振動が異常に大きいため，より短いサンプリングタイムが必要になることが予想された．

■利用アンケートにご協力ください

1) 利用に関して有益であった事項

一昨年度より Intel 製 CPU を搭載した計算機の利用を開始したので，社内所有のサーバー機で最適化したプログラムを大型計算機で利用できるようになり，プログラム開発の手間を減らすことができた.

2) 利用に関して生じた問題点など

社内で利用している PC クラスタではエラーの際に mpi_exit をひとつの node で呼び出すと全ノードで計算が止まっているが，HA8000 ではひとつの node で mpi_exit を呼び出しても計算が停止せず，何度か計算機を無駄に回してしまった.

3) ユーザーサポートとして必要と考えられることについて

計算機の利用方法については，計算機センターのホームページに解説されていたので，悩むことはほとんどなかった．可能であれば Intel コンパイラ付属の Amplifier，Advisor などを利用する簡単なマニュアルが欲しいと思った (とくにネットワーク越しに利用する方法について).

4) 施設利用に係る感想・改善を希望することについて

今回は年度末の混合う時期に計算機を利用していないので，使用の制約を感じることはなかった.

5) 本事業で得られた成果や公表する予定の成果があれば以降に記述をお願いします

矢部 裕，吉田武史，石上達士，高橋 理
3 次元 PIC/MC 法による矩形マグネトロンスパッタカソードのシミュレーション
第 62 回日本真空学会 SP 部会第 146 回定例研究会（2015 年 12 月）

矢部 裕，小寺恭介，吉田武史，久保信一，高橋 理，南部健一
3 次元 PIC/MC 法による矩形マグネトロンスパッタカソードのエロージョン形状の解析
第 62 回応用物理学会春季学術講演会(2015 年 3 月) 14a-A28-5