平成28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29年 4月 1 日

<table>
<tr><td colspan="2">利用課題名</td><td colspan="6">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</td></tr>
<tr><td rowspan="3">課題責任者</td><td>企業名</td><td colspan="6">株式会社 昭和真空　　印</td></tr>
<tr><td>フリガナ
氏名</td><td>矢部　裕　印</td><td>部署名</td><td>技術開発部　技術開発三課</td><td>職位</td><td>係長</td></tr>
<tr><td>連絡先</td><td colspan="3">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</td><td colspan="2">TEL 042-764-0391
FAX 042-764-0339</td></tr>
<tr><td colspan="2">利用期間</td><td colspan="6">平成28年 4月 1日 ～ 平成29年 3月 31日</td></tr>
<tr><td colspan="2">利用成果公開延期希望の有無</td><td colspan="6">□ 即時公開 ・ ~~□ 公開延期（成果公開予定：　平成　　年　　月）~~</td></tr>
</table>

※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	3	受付日 平成29年 5月 1日	受付印	上田

■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も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することができた．その結果 PC での計算も視野に入りつつあるが，PC と大型計算機では依然として 20 倍以上の計算速度の差がある．そのため，引続き大型計算機の利用申請をおこなった次第である．

■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も計算で求められるようになった．また平成 27 年度は，粒子の割付精度，および割付後の平均化について見直しをおこなうことで，粒子数を 1/10 程度まで減らした計算条件でも定常状態が得られるようになり，計算時間を大幅に短縮することができた．

今年度(平成 28 年度)はより高い電力密度である 1～5W/cm^2 程度の電力密度の条件で計算をおこない，年度末には 3.5W/cm^2 程度の電力密度において定常状態が得られることを確認した．

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

昨年度までの計算はスパッタカソードに投入する電力密度が 1W/cm^2 以下と，比較的低い電力密度の条件で計算をおこなっており，最大のプラズマ密度も 10^{10}～10^{11}cm^{-3} とそれほど高密度ではなかった．今年度の平成 28 年度は 1～5W/cm^2 程度のより高電力密度での計算をおこない，粒子数，メッシュサイズ，いずれの要素が計算の安定性に影響するか調べた．その結果，1 億個程度の粒子数を 2 倍に増やしても計算に大きな影響を与えないが，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 程度にすることで，より高電力密度の計算においても定常状態が得られることを確認できた．

■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

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

昨年度から HA8000 クラスタに移行した際には MPI 関数の仕様が異なっているため，修正が必要なケースがいくつか見られたが，今年度は計算機を変更しなかったため大きな問題は起こらなかった.

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

時期的に仕方ないが 2 月はほとんどジョブが実行されないことが残念だった．その他の時期では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