

## 事後評価報告書

評価委員会開催日：平成18年7月14日

評価委員：（敬称略、順不同）

光田好孝 東京大学生産技術研究所 教授（主査）  
 山本直紀 東京工業大学大学院理工学研究科 助教授  
 大串秀世 産業技術総合研究所ダイヤモンド研究センター 招聘研究員  
 原 和彦 静岡大学電子工学研究所 教授

記入年月日：平成18年9月28日

課題名	周波数高度制御プラズマプロセッシングによる光機能ナノクリスタルの合成
研究責任者名及び所属・役職	石垣隆正 物質研究所プラズマプロセスグループ アソシエートディレクター （現在：ナノセラミックスセンター プラズマプロセスグループリーダー）
【実施期間、使用研究費、参加人数】	実施期間：平成16年度～平成17年度 使用研究費（期間合計）：運営費交付金：51.3百万円、外部資金：3百万円 参加人数：（平成17年度）10人（専任：4人、ポスドク：2人、外来：2人、事務補助等：2人）
【研究全体の目的、目標、概要】	<p>研究目的及び具体的な研究目標：</p> <p>材料合成プロセスの進行する化学反応場をプラズマにより精密に制御して新材料の創製を目指す。そのため、プラズマプロセッシングの高度化により、ナノ粒子の表面および界面制御を行って、光機能ナノクリスタルを合成する。</p> <p>本研究では、プラズマ発生周波数を切り口として、プラズマ温度、電子密度、活性化学種濃度を精密に制御し、新しい反応場を探索する。周波数の高い方から、①従来利用されていなかったVHF帯（30-300MHz）利用プロセッシング、当研究機構で独自に開発した、②RF帯（30k-30MHz、特に1-4MHz）、あるいは③MF帯（30kHz以下）利用プラズマを出力変調した2種類のタイムドメイン制御プロセッシングの高度化を目指す。新しいプラズマプロセッシングの特徴付け、反応装置設計へのフィードバックを行い、酸化亜鉛、酸化チタン等の④ナノクリスタルの合成、⑤ナノクリスタルの機能化、⑥高機能ナノクリスタルの利用に不可欠な粒子修飾技術の開発に資する。</p> <p>研究計画概要：</p> <p>(1) RF熱プラズマのタイムドメイン制御による高化学反応性プロセス</p> <p style="margin-left: 20px;">a) パルス変調RF熱プラズマプロセスの高度化                      プラズマ中の励起原子の発光強度、電子密度の時間変化を調べ、数値解析法による特性予測を併用しながら、時間遷移プロセスの最適化を図る。</p> <p style="margin-left: 20px;">b) ナノ粒子への非平衡・均質組成ドーピング法の開発</p> <p>(2) プラズマ組成の時系列制御による薄膜のハイブリッド原子層制御                      MFパルス電力駆動およびリアルタイムフィードバック機構を融合させたスパッタリングマシンで、プラズマの化学組成の時系列制御を実現する。</p> <p>(3) 低圧誘導結合VHFプラズマCVDを用いたナノクリスタルエンジニアリング</p>
【全研究期間の成果等（研究全体）】	<p>研究成果（アウトプット）、成果から生み出された効果・効用（アウトカム）、波及効果（インパクト）：</p> <p>高周波熱プラズマによる非平衡組成酸化チタンナノ粒子の合成では、液体プリカーサーを酸素含有RF熱プラズマ中にミストとして噴霧し、蒸発、酸化反応を経て鉄およびユーロピウムドーパ高結晶性酸化チタンナノ粒子を一段プロセスで合成した。合成ナノ粒子を用いて高度分散構造体を作製することにより、ナノ粒子応用の具体化が期待される。</p> <p>パルス変調高周波熱プラズマの非平衡性の解析を行い、パルス変調RF熱プラ</p>

	<p>ズマのミリ秒オーダーの投入電力スイッチングに伴う過渡状態の非平衡性を解析するため、二温度時間依存モデルを開発した。プラズマ電力の高速スイッチングに伴い、特にスイッチング直後、1ミリ秒以下の時間範囲で重粒子温度と電子温度の偏倚（熱的非平衡性）、および電子密度、解離およびイオン化率の非平衡性が現れた。さらに、PLD法により堆積したZnO薄膜への水素ドーピング処理を行い、従来、粉末、焼結体で観察されていた波長380nmにピークを持つ近紫外発光効率増大に加え、キャリア電子濃度の増加、レーザー発振の励起光閾値強度の減少をもたらし、紫外発光デバイスへの作製プロセスの応用を示した。</p> <p>MF領域周波数のパルス波形電力で駆動されるデュアルマグネトロンスパッタリング装置に独自の改良を加え、二酸化チタン薄膜が結晶化に要するプロセス温度を著しく下げて、無加熱のPET樹脂フィルム基板上に、密着性に優れ曲げても剥離しない二酸化チタン光触媒薄膜を直接形成することに成功した。セルフクリーニング機能を持つ窓材などへの応用が期待される。</p> <p>論文：4.55件*、プロシーディングス：3.0件*、解説・総説：0.3件*、招待講演数：2.35件*（*：研究の寄与率を考慮した平成16-17年の値）  特許出願：27件、登録：10件、実施許諾：0件</p>
【評価項目】	コメ ン ト お よ び 評 価 点
<b>マネジメント 実施体制</b> （サブテーマ間関係、外部との共同研究の有効性）	<b>コメント：</b> 小グループの研究体制であったが、外部の大学や企業との共同研究がうまく運営されている。また、国内には熱プラズマの研究機関が少ないことから、海外の研究機関ともよく連携している。ただ、3つのサブテーマ間の関連性が不明確で、相互連携が薄いように見える。
* 評価点（10点満点）：7 <b>評価基準</b>	9点：研究の効率向上に明確に寄与している 7点：よく考えられている 5点：平均的な体制 3点：もう少し考慮の余地があった 1点：プロジェクト遂行の支障となった
<b>アウトプット</b> （論文、特許等の直接の成果。費用対効果を考慮）	<b>コメント：</b> 小グループとしては2年間の成果（論文数、特許数）が十分出ていると思われる。論文・特許とも十分な水準に達している。成果を踏まえた実用化にもつながっており、アウトプットは高く評価できる。
* 評価点（10点満点）：8 <b>評価基準</b>	9点：質・量共に平均的プロジェクトの水準を大きく上回っている 7点：平均的水準より優れる 5点：平均的水準 3点：少ない 1点：問題がある
<b>目標の達成度 その他アウトカム、波及効果</b>	<b>コメント：</b> 制御困難度の高い周波数を制御したプラズマ装置の開発を行い、一定の成果を取めた。本装置は多種の合成プロセスに応用が可能である。実際、パルス変調RFプラズマの制御によるZnO中の水素ドーピング等、新しい知見を数多く得ており評価できる。しかし、プラズマプロセッシングの研究分野に大きな影響を与える成果と言うには、少し不足している感がある。また、VHF帯の研究については、特異な電子エネルギー特性を示すとどまっており、今後の展開に期待したい。 以上、熱プラズマの制御性向上を目指すと同時に、ナノクリスタルも合成され、目標は十分に達成されていると言える。

<p>* 評価点（10点満点）：7</p> <p>評価基準      9点：一つの分野を形成した      5点：目標はなんとか達成された</p> <p>                  7点：目標は十分達成され、当該分野に影響を与えた      1点：目標達成にはほど遠い</p> <p>                  3点：目標の部分的な達成</p>	
<p>総合評価</p> <p>研究全体に対する総合的な所見を記入。また上記設定評価項目に含まれないその他の評価ポイントがあれば追加してコメント。</p>	<p>コメント：</p> <p>個々の研究結果のレベルは高いが、プロジェクトとしてはまとまりが悪く感じられる。次のステップに向けた技術的な基盤が構築されたと判断されるが、今後の発展性について、より系統的・具体的に言及された方がよかった。また、成果を目立たせる実用化の例があるが、もう少し基礎的な研究に比重を置く必要もあると思われる。熱プラズマの周波数制御は新規性があり、これを用いた新しい材料開発にも成功していることから、今後の展開が期待される。</p> <p>以上、2年間の研究成果としては興味ある成果が多く見られ、総合的に優れた内容と言える。ただ、もう少し上のレベルの評価点に至るには、もう少しインパクトのある成果が欲しかった。</p>
<p>* 総合評価点（10点満点）：7</p> <p>評価基準      9点：すべての点において模範的に優れている      5点：平均的</p> <p>                  7点：総合的に優れている      1点：税金の無駄遣いである</p> <p>                  3点：期待されたほどではなかった</p>	

なお評価点は、公表時一般にもわかり易いように、以下のようにS, A, B, Cを併記します。

- 9、10 S
- 8 A+
- 6、7 A
- 5 A-
- 3、4 B
- 0~2 C

評価点まとめ

マネジメント実施体制 (内外連携)	アウトプット	目標達成度、アウトカム 波及効果	総合評価
A	A+	A	A