

研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム
FS ステージ シーズ顕在化タイプ 事後評価報告書

研究開発課題名	: マイクロ波急速加熱による高品質ナノシリコン結晶形成技術開発
プロジェクトリーダー	: 東京エレクトロン株式会社
所属機関	: 東京エレクトロン株式会社
研究責任者	: 鮫島俊之(東京農工大学)

1. 研究開発の目的

次世代太陽電池として期待されている理論効率 70%超のオールシリコン超格子構造量子ドット太陽電池は素子変換効率としては実証されていない。その理由の一つに 2nm 前後の極薄・積層・アモルファスシリコン層を短時間で結晶化させる熱処理技術が実現できていないからである。東京農工大が保有するカーボン援用マイクロ波急速加熱法を上述の結晶化熱処理技術への適応可能性を調査する。

また、本加熱法はエネルギー効率が良く、大面積対応の可能性も高く、既存の事業であるLSIや結晶シリコン太陽電池の活性化アニール工程での低コスト省エネルギー熱処理技術としての適応可能性も併せて調査する。

2. 研究開発の概要

①成果

上述の適応可能性調査研究として具体的には、以下の4項目を実施した。①精密な温度計測を実施してカーボンを発熱援用体に用いた新規マイクロ波照射短時間加熱技術を確立した。特に、カーボンナノパウダーの空隙率とマイクロ波透過率・反射率のシミュレーションと実測値が一致し、最適空隙率を見出した。②そして 2nm 薄膜アモルファスシリコンの短時間結晶化及び微結晶化を達成した。③更に、上記成果をもとに実用装置設計指針を立案し LSI サイズと G5 サイズの量産装置の構想設計を実施した。また、より安価な大面積対応装置コンセプトの可能性基礎検証も実施した。④上記研究成果を国内特許出願し、海外へも特許出願する予定である。

研究開発目標	達成度
①加熱温度計測制御 1-1) マイクロ波加熱特性最適条件探査 1-2) 加熱温度目標 1200℃ 1-3) 計測温度精度目標±20℃ 1-4) 試料加熱ホルダを設計、試作。 1-5) その他	① 1-1) 導電率 0.55 S/cm、径 2 μm のカーボン粉にてマイクロ波吸収率最大となる充填率を見出した。 1-2) 1000 W マイクロ波を1gのカーボン粉に照射したとき最高加熱温度 1270℃を達成した。 1-3) 計測温度精度目標±20℃を確認した。 1-4) 石英製試料加熱ホルダを設計、試作した。 1-5) 加熱特性究明の為、カーボン粉によるマイクロ波吸収シミュレーションを実施 (達成度: 100%)
②薄膜結晶化条件の確立(結晶化熱処理及び結晶化評価) 2-1) 1000W、5分以内で結晶化達成	②2-1-1) 22~40s の加熱処理によるシリコン薄膜結晶化達成 2-1-2) アモルファスシリコン薄膜 1.8~49 nm 結

<p>2-2) 10^{12} cm^{-2} の高密度結晶粒形成</p> <p>2-3) リンドープナノ結晶内のキャリア濃度測定、活性化率の評価</p> <p>2-4) 欠陥低減処理による少数キャリアライフタイム測定</p> <p>③ 大面積均一短時間マイクロ波ナノ結晶化加熱処理装置作製の設計指針(6インチ~G5サイズ基板で a-Si と絶縁膜の積層多層膜を3分以内に結晶化する短時間加熱装置のためのカーボン材料の量と配置可変型試料ホルダの設計と試作)</p> <p>④ 国内外へ特許出願する。</p>	<p>晶化達成、ナノシリコン体積率 50%達成</p> <p>2-1-3) 水素希釈微結晶薄膜 2.7~7.9 nm 結晶化達成。</p> <p>2-1-4) 加熱水処理エッチングによる 0.5nm 薄膜化達成</p> <p>2-2) ナノ結晶粒密度 $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$</p> <p>2-3) 1%PH₃希釈 CVD による 10 nm 厚リンドープシリコン膜の結晶化達成。キャリア濃度 $3.2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$、活性化率約 60%。</p> <p>2-4) 水蒸気熱処理、加熱水欠陥低減処理と青色レーザ照射によるライフタイム計測を試みたがデータ取得できず。 (達成度:100%)</p> <p>③ 1) 8インチ、G5サイズ対応量産型装置の設計指針を作成。その設計指針に基づき装置電磁界シミュレーション、構想設計を実施し、量産装置イメージを確立した。</p> <p>2) 基板スキャン型コンセプトの検討シミュレーションを実施し、定在波効果低減アイデアを見出した。</p> <p>3) 円筒型と細管型加熱ホルダ考案。</p> <p>4) 直径 3cm 円筒型カーボン1gの加熱ホルダを用いて 4.6 及び 44 nm のシリコン膜を 40 s 加熱による結晶化達成。</p> <p>5) 直径 4 mm 細管型カーボン 0.1gの加熱ホルダを用いて 44 nm のシリコン膜を 40 s 加熱による結晶化達成。 (達成度:100%)</p> <p>④ 国内出願 1 件(海外出願予定) (達成度:100%)</p>
--	--

②今後の展開

①本プロジェクト実施により顕在化できた低充填カーボンとマイクロ波を組み合わせを用いた高効率低コスト高温短時間加熱装置化へ技術開発を展開する。②カーボン発熱体の時間空間配置を制御することにより加熱制御高度化を図ると共に三次元立体的試料加熱を可能とする装置化を展開する。③本技術を不純物活性化に適用して、浅く高濃度の不純物層形成技術への展開を図る。特に SiC 等活性化が困難な半導体材料の高効率活性化技術としての確立を目指す。④さらに本技術を不純物拡散に適用して浅い低コスト高濃度不純物ドーピング技術としてソーラーセル、フォトセンサー、薄膜トランジスタ製造技術用装置への展開を検討する。

3. 総合所見

概ね目標を達成し、次の研究開発フェーズに進むための成果が得られた。イノベーション創出が期待できる。

特徴のある短時間高温加熱の技術の基礎的なデータや装置の基本構造などが確認できる成果があった。

実用化に向けて開発計画、事業計画を精査し、次のステップへの展開を期待する。