

Physics of Nanocrystalline Semiconductors and Their Application to New Functional Devices

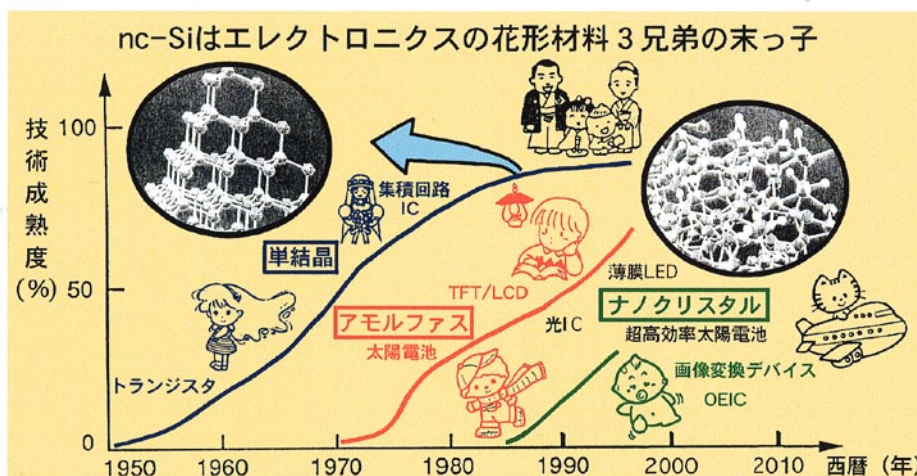
「ナノクリスタル半導体の基礎物性と その新機能デバイス研究開発」

Project Leader : Y. Hamakawa

Ritsumeikan University

プロジェクトリーダー 濱 川 圭 弘

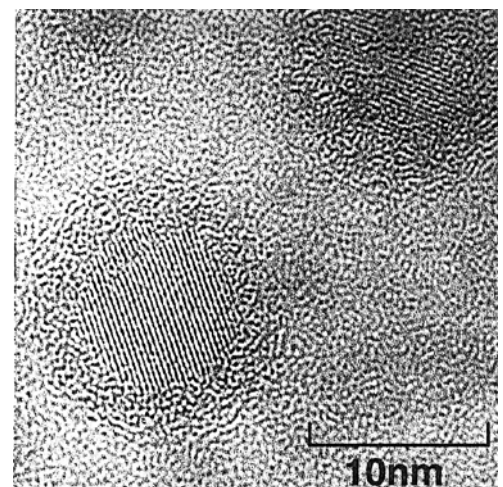
立命館大学 理工学部 教授



1. 研究の目的

エレクトロニクスの花形材料とされてきた結晶半導体に続いて誕生したアモルファス半導体は、第2の半導体として注目され、ここ10年その基礎物性に並びに製造技術の進歩とともに、アモルファス太陽電池および液晶ディスプレイ用薄膜トランジスタ(TFT / LCD)などへの応用を通して、新産業が誕生しました。ところで、本研究で取組もうとしているナノクリスタル半導体は、云わば、第3の半導体とも云える新電子材料であります。

ナノクリスタル半導体は、アモルファス半導体マトリックス中にナノメートルスケールの半導体微結晶粒を分散させた新種の複合系材料です。nc-Si(ナノクリスタルシリコン、 μ c-Siともよぶ)を例にとると、その電子移動度はa-Si(アモルファスシリコン)のそれと桁違いに大きく、且つ、可視光に対する光吸収係数はc-Si(結晶シリコン)より桁違いに大きく、むしろa-Siに近いと云う応用物性上両材料の長所を持ち合わせています。また、その原子組織は、自然の量子ドットを形成することから、量子サイズ・閉じこめ効果を通して、従来のバルク結晶とは顕著に異なる新しい電子物性が見られます。本研究は、ナノクリスタル半導体の構造制御技術を確立するとともに、その基礎物性を解明し、それらの知見に基づいて超高効率スタック型太陽電池とか画像変換デバイスなどの新規な機能デバイスの開発の基盤技術を構築することを目的としています。したがって、本研究は、基礎物性の分野で21世紀への重要課題とされている“複雑系の物理学”解明に打ってつけの研究試料を提供するとともに、新機能デバイスは、エネルギーならびに環境問題、さらに多層化薄膜画像変換デバイスは情報工学などへの大きな貢献をめざしたものです。



ナノクリスタルの正体見たり
(アモルファス薄膜中の分散しているnc)
SiH₄ガスのCVDによって、温度600℃で熱酸化
SiO₂膜上にSi量子ドットを自己組織化形成した。

2. 研究内容

本プロジェクトは、第3の半導体と云われるナノクリスタル半導体の物性制御を含めた製造技術を確立し、その基礎物性を解明するとともに現在未知とされているその理論的背景の解明を目指したものです。さらにこの新素材の物性を利用した機能デバイスの最適化設計を行い、実用化をめざした基盤技術を確立するもので、以下に示すサブプロジェクトのもとに研究を推進しています。

(1) 高品位 nc-Si1-xCx および a-Si1-xCx 製膜技術の確立

1977 年以来さまざまなプラズマ CVD 技術を駆使して行ってきた a-Si (アモルファスシリコン) の製膜技術の経験を生かして nc-Si1-xCx 合金膜の製膜を行ない、膜の原子構造をはじめ電氣的ならびに光学的性質をモニターし、高品位な製膜技術を確立するものです。

(2) nc-Si1-xCx の価電子制御ならびにバンドギャップ制御の研究

原料ガスの SiH4 と CH4 などに BH3 とか P2H6 などのドーパントガスを ppm オーダーで精密に制御して混入させ、nc-Si1-xCx の価電子制御を行ない、出来た膜の p、i、n 染め分けをめぐる一連のデータベースを作製します。次いで原料ガスの組成比 r を変えた場合の合金膜の x の制御性に関する基礎データを求め、バンドギャップ制御技術に関するデータベースを揃え、機能デバイス設計についての基盤技術を確立するものです。

(3) nc-Si1-xCx 膜の基礎物性定数の評価とそのキャリアダイナミクス

上記の手法により試作した nc-Si1-xCx の電氣的ならびに光学的物性パラメータとその温度特性を測定し、これらの材料の電氣的ならびに光学的禁止帯幅を明らかにします。さらにこれら材料のキャリア注入現象とその応答特性からキャリアの動的物性パラメータを求め、ギャップステータならびにテイルステータのエネルギー・プロファイルを同定します。次いで、これらの実験的知見を基にこの材料の電子帯構造を明らかにし、その理論的説明を試みます。

(4) 超高効率スタック型太陽電池の最適化設計とその実験的検証

(3) で得られた物性パラメータを基に a-Si1-xCx/nc-Si スタック型太陽電池の最適化設計理論を確立しそのコンピュータシミュレーションから得られる構造パラメータを参考に超高効率太陽電池の試作を行い、次世代型低コスト高効率太陽電池として期待されているこの種の太陽電池の実用化技術を確立します。

(5) ナノクリスタル半導体の発光機構の解明と実用化デバイスの開発

これまで当研究グループは a-SiC ならびに nc-SiC などを用いた多層化薄膜面状発光ダイオード (LED) ならびに真性 EL 素子の試作に成功してきました。本研究プロジェクトではこれらの経験を生かして、高品位 nc-SiC などの新物質を用いて発光効率の改善を行い、さらにこれらの物質系を巧みに組み合わせた画像変換デバイスなど、新種の OEIC を開発し、画像処理技術に新機軸を展開し、一方、新種のポラス Si でみられる発光現象についてもその機構を解明します。

(6) 新しいアモルファス・ナノ半導体材料の試作とその物性評価

これまでの薄膜半導体をめぐる研究経験を生かして、様々な製膜技術を駆使して GaN、AlN などのワイドギャップ光半導体ならびに C60 などのフラレンナノクリスタル半導体を試作し、その基礎物性を評価するとともに実用素子への可能性を探索する予定です。

3. 研究の体制

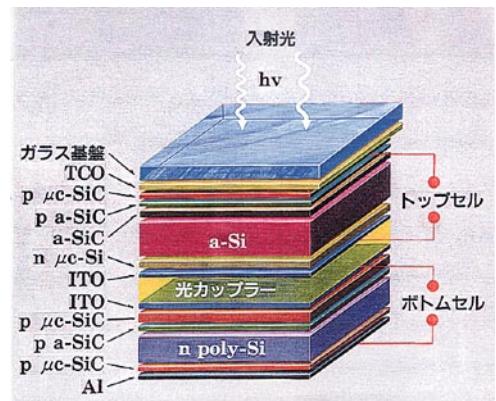
期 間：1996 年 10 月～2001 年 3 月

構 成：プロジェクトリーダー 1 名、コアメンバー 5 名、研究協力者 9 名で構成されています。この他下記の研究室に属する大学院学生ならびに研究生が多数このプロジェクト研究に参加しています。

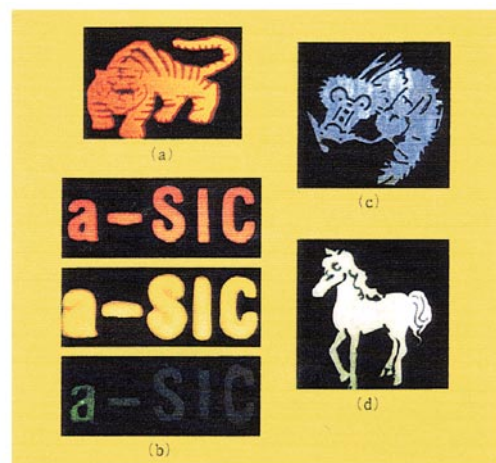
実施場所：立命館大学理工学部濱川圭弘研究室、高倉秀行研究室、三木秀二郎研究室、慶応義塾大学米澤富美子研究室、大阪大学岡本博明研究室、岐阜大学仁田昌二研究室、広島大学広瀬全孝研究室が緊密に連絡をとってプロジェクトを推進して居ります。



横電場法 3 室分離型プラズマ CVD 装置の外観
プラズマボンバードメントがなく高品位製膜が可能



nc-SiC を用いた超高効率スタック型太陽電池
次世代型薄膜太陽電池として本研究グループで開発されたこの太陽電池は結晶シリコンより桁違いに大きな光吸収を持つ a-Si 及び nc-SiC を用いることから、省資源、省エネ型で上記の構成で 21% という世界最高効率記録を樹立した。



フルカラー面状発光素子の開発
a-SiC 及び n-Si 多層化薄膜を用いた面状発光素子は自発光型壁掛けテレビや画像変換デバイスとしてその将来が期待されている。