

最先端・次世代研究開発支援プログラム
事後評価書

研究課題名	超高性能インクジェットプリンテッドエレクトロニクス
研究機関・部局・職名	早稲田大学・理工学術院・教授
氏名	竹延 大志

【研究目的】

本研究の目的は、グリーン・イノベーションの観点から極めて優れた手法であるインクジェット（IJ）法を用いて、プリンテッドエレクトロニクスとしてはこれまでの常識を打ち破るほどに高いデバイス性能の実現と新たなデバイス機能の創出である。

より具体的には、本申請者がこれまでに単層カーボンナノチューブ（SWCNT）で実現した IJ 法における世界最高のデバイス性能（キャリア移動度 $8\text{cm}^2/\text{Vs}$ ）と、世界に先駆けて成功した有機単結晶発光トランジスタ作製技術を核として、SWCNT と有機単結晶で構成される高性能素子を IJ 法で作製する。最終的には、これまでに前例がない電極・配線・半導体・発光素子・絶縁体など全ての作製工程をインクジェット法のみで実現した『超高性能インクジェットプリンテッドエレクトロニクス』の基礎を構築し、エレクトロニクス製造現場における低炭素化ものづくりの革新に挑戦する。

本研究目的の達成へ最も効果的に導く戦略要素は次の3項目に凝縮される。(1) IJ 法に関する基盤技術確立（高性能 SWCNT 膜および IJ 法での有機単結晶成長）、(2) デバイス自体の高性能化技術確立（SWCNT トランジスタの高性能・高機能化・pn ドーピングによる論理回路作製および気相成長した有機単結晶を用いた発光トランジスタの高性能化・レーザー発振の実現）、(3) 両者を組み合わせた高性能実デバイスの全構成要素の IJ 法作製。それぞれに挑戦的かつ野心的な内容であるが、IJ 法による有機単結晶成長と SWCNT と組み合わせた発光素子の IJ 法のみを用いた作製を必至到達点とする。

【総合評価】

	特に優れた成果が得られている
○	優れた成果が得られている
	一定の成果が得られている
	十分な成果が得られていない

【所見】
① 総合所見
<p>新しいプロセス技術として、印刷形成デバイスと回路の技術的進展への大きな寄与が期待できる技術であり、特に、単層カーボンナノチューブ（SWCNT）を利用したプリントエレクトロニクスのネックになっていたトランジスタ（高いキャリア易動度、大きな On/Off 比）を実現した点は高く評価できる。今後の更なる発展が期待できる。本研究では、半導体 CNT の特性発現にはイオンゲルの併用で成功しているが、今後は、可能ならば全固体化を行っても特性発現が可能な技術の開発も期待したい。</p> <p>多くの論文発表とは対照的に、特許出願が全く無いというのは研究の性格から不適切であり、改善を求めたい。</p>

② 目的の達成状況
<p>・所期の目的が <input checked="" type="checkbox"/> 全て達成された ・ <input type="checkbox"/> 一部達成された ・ <input type="checkbox"/> 達成されなかった</p> <p>基板の疎水・親水パターンニングに基づき SWCNT のパターンプリント、乾燥制御による SWCNT の配向膜形成、電子供与ポリマーによるドーピングなどに成功し、インクジェットによる素子パターンニングの基盤技術開発に成功している。イオンゲルを用いた静電遮蔽の方法で半導体的 SWCNT 薄膜のトランジスタ作成にも成功している。高いキャリア易動度と高い On/Off 比の両方が実現された。また、折り曲げ可能な基板上にこのトランジスタを形成させることにも成功している。発光素子については今のところ大きな進展がないため、モデル的高性能実デバイスの開発までには至っていない。将来の実用に向けた要素技術開発という点で所期の目的が達成された。</p>

③ 研究の成果
<p>・これまでの研究成果により判明した事実や開発した技術等に先進性・優位性が <input checked="" type="checkbox"/> ある ・ <input type="checkbox"/> ない</p> <p>・ブレークスルーと呼べるような特筆すべき研究成果が <input checked="" type="checkbox"/> 創出された ・ <input type="checkbox"/> 創出されなかった</p> <p>・当初の目的の他に得られた成果が <input type="checkbox"/> ある ・ <input checked="" type="checkbox"/> ない</p> <p>インクジェット法によるデバイス作製は、高価値の機能材料を最小限量利用し、高機能と高効率、低環境負荷が実現できると期待される中で、本研究では実際に、基本的にインクジェット法のみで要素素子の作成に成功し、さらに基本動作が確認できるデバイス作製にほぼ成功しており、技術的な優位性が明らかに認められる。</p> <p>半導体特性 CNT の活用において、イオンゲルによる電場伝搬ならびにドーピング技術を獲得したことは、デバイス開発の技術的一般性から鑑み、特筆できる成果と見受けられる。</p>

④ 研究成果の効果

・研究成果は、関連する研究分野への波及効果が
(見込まれる ・ 見込まれない)

・社会的・経済的な課題の解決への波及効果が
(見込まれる ・ 見込まれない)

プリントエレクトロニクス分野では、キャリア易動度が高く、且つ、On/Off 比の高いトランジスタ作成技術の模索が続いていた状況の中で、その作成技術の開発に成功したことは、この分野を進展させる大きなきっかけとなる。

プリントエレクトロニクスは微細化が困難なものの環境負荷の少ない安価な技術という点で社会に貢献するに違いない。トランジスタ作成の成果はプリントエレクトロニクス技術を大きく一歩前進させる。

⑤ 研究実施マネジメントの状況

・適切なマネジメントが (行われた ・ 行われなかった)

モデル的実デバイスの作成までは今のところ到達していないものの、多くの論文発表、目標とした研究項目の大方の達成、研究方向や開発時期を適宜変更したことなど、おおむね適切な研究開発マネジメントが実施されたと判断される。

非常に多くの論文発表、会議発表など、積極的に研究成果を公表している。ただし、将来社会に利用されるデバイスの要素技術開発という研究の性格を考えると、特許出願が今のところ無いというのは適切とは思われない。