

(続紙 1)

京都大学	博士 (エネルギー科学)	氏名	王 飛久
論文題目	Studies of nano-carbon hole transport layer for high performance photovoltaic devices (ナノカーボンホール輸送層を利用した高性能太陽電池デバイスに関する研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>本研究では、ナノカーボン物質の一つであるカーボンナノチューブ (以下ナノチューブと記載) を利用した太陽電池デバイスに関する研究について、論じた結果をまとめたものであり 7 章から構成されている。</p> <p>第 1 章は序論で、本研究のエネルギー科学上また社会的な意義について述べ、これまでに行われた関連する研究について解説し、本論文の目的について述べている。第 2 章では、本研究の基礎となる、ナノカーボン物質であるグラフェン、ナノチューブの基本的な光・電気伝導特性、ならびに太陽電池の原理について述べている。</p> <p>第 3 章では、ナノチューブを利用した太陽電池のプロトタイプとなる、ナノチューブ/シリコンヘテロ構造太陽電池における光電変換特性を詳細に調べた。特に、スプレー法で作製したナノチューブ薄膜に硝酸処理を施したナノチューブ/シリコンヘテロ構造太陽電池では、その性能を表す光電変換効率が向上することを実験的に示した。その光電変換特性の解析から、硝酸処理によりナノチューブのシリーズ抵抗の低下、ナノチューブ/シリコン界面での接合面積増加が光電変換効率向上に寄与していることを明らかにした。</p> <p>第 4 章では、化学気層堆積成長法で作製された高均一・高品質なナノチューブ薄膜を用いた、ナノチューブ/Si ヘテロ構造太陽電池の光電変換特性を調べた。シリーズ抵抗を考慮し、太陽電池デバイス構造の最適化を行い 12% の高い光電変換効率を有するデバイス作製に成功した。</p> <p>第 5 章では、更なる性能向上を目指し酸化モリブデンをナノチューブと正極の間に挿入したヘテロ構造太陽電池を作製し、その光電変換特性を詳細に調べた。その結果、酸化モリブデン層は、i) ナノチューブへのキャリアドーピングによるシリーズ抵抗低下、ii) ナノチューブと電極とのショットキーバリアの低下、などによるキャリア輸送特性の向上、iii) 太陽光反射ロスの低減、などに寄与していることがわかった。酸化モリブデンを用いたナノチューブヘテロ構造太陽電池において、17% の非常に高い光電変換効率を達成した。ここで得られた知見により、高い性能を有するナノチューブ/シリコンヘテロ構造太陽電池の設計指針が得られた。</p> <p>第 6 章では、軽量・フレキシブルな太陽電池応用を見据え、ペロブスカイト太陽電池にナノチューブを利用することを試みた。ナノチューブをホール輸送層とするペロブスカイト/ナノチューブ太陽電池の光電変換特性を詳細に調べた。電子ブロッキング機能を有する酸化グラフェンをホール輸送層に、大気安定性を向上させるためポリマーを保護層に付加することで、13.3% の高い光電変換効率を有するペロブスカイト/ナノチューブ太陽電池の実現に成功した。</p> <p>第 7 章では、本論文の総括と結論を記述している。さらに本論文で得られた知見を基に、これらのナノカーボン物質を利用した太陽光エネルギー利用への研究課題に対して明確な指針を提示している。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文では、ナノカーボン物質の中で代表的なカーボンナノチューブを取り上げ、太陽電池デバイス性能を向上させるために鍵を握るキャリア輸送層への応用を検討した。まずプロトタイプとして、ナノチューブ/シリコンのヘテロ構造太陽電池をモデルデバイスとして、その電流-電圧特性を詳細に解析することによって光電変換機構を解明した。その結果、ナノチューブ/シリコンヘテロ構造太陽電池の光電変換効率を上げるための指針として、1)デバイス中のシリーズ抵抗低下、2)金属とホール輸送層となるナノチューブ間のショットキーバリアの低下、が重要であることを示した。1)に関しては、化学気層堆積成長法により作製された高透過性・低抵抗性を有するナノチューブ薄膜を利用し、デバイスの構造パラメーターを最適化することにより、12.5%の光電変換効率を有するナノチューブ/シリコンのヘテロ構造太陽電池の開発に成功した。これに加え、2)については酸化モリブデン層をナノチューブと電極間に挿入することで、キャリアの再結合ロスの原因となるショットキーバリアの低下に成功し、その結果、ナノカーボン物質を利用した太陽電池としては最高となる17.0%の非常に高い光電変換効率を有するデバイスを実現した。

上記で得られた知見を基に、フレキシブル・軽量・低コストが可能なペロブスカイト太陽電池のホール輸送層にナノカーボン物質を利用することを試みた。ナノチューブからなるホール輸送層に電子ブロッキング機能を有する酸化グラフェンを加えることで、13.3%の光電変換効率を達成することができた。さらに、ナノチューブと酸化グラフェンからなるホール輸送層の表面にポリマー層を加えることで、有機物をホール輸送層とするペロブスカイト太陽電池の大気中での安定性を大幅に向上させることができることがわかった。これにより、ナノチューブをホール輸送層とする高い光電変換効率、大気安定性を両立したペロブスカイト太陽電池の実現に成功した。

これらの研究成果は、ナノカーボン物質を利用した新しい機能・高性能な太陽電池の実現と新たな太陽電池の設計指針を示したという、工学的な意義とともに、ナノ物質中での光電変換特性の解明という、基礎科学への重要な寄与を行っている。よって、本論文は博士(エネルギー科学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成28年2月24日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文の全文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 平成 29 年 3 月 31 日以降