

## 論文内容の要旨

博士論文題目

太陽電池の高効率化を実現する金ナノ粒子のプラズモン現象導入法に関する研究

氏名 西城 理志

(論文内容の要旨)

近年、太陽電池の高効率化に向けた様々な取り組みがされている。その中で、金属ナノ粒子を用いたプラズモン効果による太陽電池の光感度向上技術が提案されている。本研究では、プラズモン現象を発生する金ナノ粒子に注目し、それらの作製や導入法を探索し、実際に単結晶シリコン太陽電池、及び色素増感太陽電池に対してプラズモンナノ粒子を導入した場合の光学特性への影響を検討した。

プラズモン現象によって発生する光吸収は、ナノ粒子の形状や大きさに依存して大きく変化する。そこで、金ナノ粒子の作製プロセスを検討し、その光学特性を評価した。プラズモン効果を効率的にデバイスに応用する上での問題の一つは、サイズをコントロールしたナノ粒子を任意の場所に導入することである。そこで、金ナノ粒子の導入プロセスを検討し、その光学特性を評価した。一般的な金属薄膜に熱をかける熱凝集法では、ナノ粒子の形状及び吸着密度のコントロールが難しい。化学溶液法で合成した金属ナノ粒子の自己組織化膜を基板に配置するラングミュア-シェーファー法では、ナノ粒子のサイズのコントロールは出来るが、ナノ粒子吸着場所のコントロールは難しい。これらの問題点を改善する方法として、特異的吸着能力を有するバイオタンパクを利用するバイオナノプロセスを利用した金ナノ粒子選択配置法を検討し、任意の領域にのみ金ナノ粒子を設置することに成功した。

バイオナノプロセスを利用して、金ナノ粒子をシリコン及びガラス基板上に均一に分散配置を行い、その光学特性を測定した。この結果、金ナノ粒子は分散して配置されたが、タンパクを除去する過程において、オゾン雰囲気中でUV照射を行う必要があり、この工程で金ナノ粒子が凝集してしまう問題が発生した。またシリコン基板上においては、プラズモン吸収が観測されなかった。これらの問題を解決する手段として、金ナノ粒子をSiO<sub>2</sub>で被膜したナノ粒子を検討した。これにより波長530 nm付近でプラズモン吸収が観測され、UVオゾン処理を行ってもその強度は減少しないことが判明した。走査型電子顕微鏡で基板表面のナノ粒子を観測したところ、ナノ粒子の凝集はみられず、分散配置することが確認された。更にシリコン基板状でも同様にプラズモン吸収は観測された。これら結果より、シリコン基板上でプラズモン吸収が観測されたため、同様の方法で、c-Si太陽電池の基板表面上に対してプラズモンナノ粒子を導入した。結果として、低分散の場合、太陽電池効率は変化せず、高分散の場合は、プラズモン吸収波長において太陽電池の感度が減少した。この結果から、c-Si太陽電池表面にナノ粒子を配置するには、さらなる検討が必要であると判断した。

次に、キャリア発生源の近傍で、効率的にプラズモン現象を導入できる色素増感太陽電池に対して金ナノ粒子を導入した。10 nm以下の膜厚の薄膜のSiO<sub>2</sub>被膜と膜厚40nm以上のSiO<sub>2</sub>被膜を行った金ナノ粒子を導入した結果、外部量子効率の上昇に違いが見られ、薄膜のナノ粒子では波長540nmのプラズモン吸収領域と一致する波長で、外部量子効率が大きく向上することが確認された。光電変換効率も0.9%上昇し、この結果は、プラズモンの局在場が外部量子効率に寄与したことを示唆していると考えた。

(論文審査結果の要旨)

本論文は、太陽電池を高効率化を目指した研究に関するものである。本研究では、プラズモン現象を発生する金ナノ粒子に注目し、それらの作製や導入法を探索し、実際に単結晶シリコン太陽電池、及び色素増感太陽電池に対してプラズモンナノ粒子を導入した場合の光学特性への影響を検討した。本論文は5つの章から構成される。

プラズモン現象によって発生する光吸収は、ナノ粒子の形状や大きさに依存して大きく変化する。そこで、第2章では、金ナノ粒子の作製プロセスを検討し、その光学特性を評価した。プラズモン効果を効率的にデバイスに応用する上での問題の一つは、サイズをコントロールしたナノ粒子を任意の場所に導入することである。そこで、金ナノ粒子の導入プロセスを検討し、その光学特性を評価した。一般的な金属薄膜に熱をかける熱凝集法では、ナノ粒子の形状及び吸着密度のコントロールが難しい。これらの問題点を改善する方法として、特異的吸着能力を有するタンパクを利用するバイオナノプロセスを利用した金ナノ粒子選択配置法を検討し、任意の領域にのみ金ナノ粒子を設置することに成功した。

第3章ではバイオナノプロセスを利用して、金ナノ粒子をシリコン及びガラス基板上に均一に分散配置を行い、その光学特性を測定した。この結果、金ナノ粒子は分散して配置されたが、タンパクを除去する過程において、オゾン雰囲気中でUV照射を行う必要があり、この工程で金ナノ粒子が凝集してしまう問題が発生した。またシリコン基板上においては、プラズモン吸収が観測されなかった。これらの問題を解決する手段として、金ナノ粒子をSiO<sub>2</sub>で被膜したナノ粒子を検討した。これにより波長530 nm付近でプラズモン吸収が観測され、UVオゾン処理を行ってもその強度は減少しないことが判明した。走査型電子顕微鏡で基板表面のナノ粒子を観測したところ、ナノ粒子の凝集はみられず、分散配置することが確認された。更にシリコン基板状でも同様にプラズモン吸収は観測された。これら結果より、シリコン基板上でプラズモン吸収が観測されたため、同様の方法で、c-Si太陽電池の基板表面上に対してプラズモンナノ粒子を導入した。結果として、低分散の場合、太陽電池効率は変化せず、高分散の場合は、プラズモン吸収波長において太陽電池の感度が減少した。この結果から、c-Si太陽電池表面にナノ粒子を配置するには、さらなる検討が必要であると判断した。

第4章では、キャリア発生源の近傍で、効率的にプラズモン現象を導入できる色素増感太陽電池に対して金ナノ粒子を導入した。10 nm以下の膜厚の薄膜のSiO<sub>2</sub>被膜と膜厚40nm以上のSiO<sub>2</sub>被膜を行った金ナノ粒子を導入した結果、外部量子効率の上昇に違いが見られ、薄膜のナノ粒子では波長540nmのプラズモン吸収領域と一致する波長で、外部量子効率が大きく向上することが確認された。光電変換効率も0.9%上昇し、この結果は、プラズモンの局在場が外部量子効率に寄与したことを示唆していると考えた。

以上のように本論文は、酸化物半導体を用いた太陽電池の高効率化に向けて、新しい手法を考案し、それが有効であることを実証しており、学術的に意義深い。よって審査員一同は本論文が博士(工学)の学位論文として価値あるものと認めた。