

論文の概要

1 申請者

防衛大学校 原田 人萌

2 論文題目

アモルファス窒化炭素薄膜の光誘起変形機構を利用した光駆動デバイスへの応用に向けた基礎的研究

3 論文の概要

光エネルギーから機械的な変位や力を生み出す光-機械エネルギー変換材料の開発は、光駆動マイクロアクチュエータの実用化において重要である。これは、現在の主流である電気を駆動源とするマイクロアクチュエータとは異なり、エネルギー供給のための配線が不要であるため、遠隔操作が可能であり、電磁ノイズの影響を受けないというメリットがある。そのため、低温、強磁場等の特殊環境下での利用も可能となり、アクチュエータの用途拡大への寄与が期待されている。

アモルファス窒化炭素 ($a\text{-CN}_x$) 薄膜は、可視光照射による可逆的な変形 (光誘起変形) を起こす。このことから、 $a\text{-CN}_x$ 薄膜は光-機械エネルギー変換材料として、光駆動アクチュエータに応用できる可能性がある。本論文では、 $a\text{-CN}_x$ 薄膜の光誘起変形のメカニズムの解明を試みるとともに、光誘起変形を利用した光駆動デバイスへの応用の可能性を検討した。

まず、変形に寄与する窒素原子や炭素原子が形成する化学結合状態を特定するため、光誘起変形と窒素含有率および結合状態の関係を調べた。その結果、光誘起変形量と窒素含有率との間には明確な正の相関は認められなかったが、光誘起変形を起こしやすい構造は、グラフアイトクラスターサイズが小さく、 $\text{C}\equiv\text{N}$ 結合が形成する終端構造が多く、柔軟性のある鎖状結合を含むと考えられた。また、光誘起変形の起源を解明するために、入射光エネルギー依存性を測定した。その結果、複数の結合の寄与が考えられるが、特に、 $\text{N-}sp^2\text{C}$ 結合が作る $\pi\text{-}\pi^*$ バンドに相当する光エネルギーの励起によるものであることが明らかとなった。この現象は、本研究で使用した成膜装置以外で作製した $a\text{-CN}_x$ 薄膜においても確認されたことから、光誘起変形は $a\text{-CN}_x$ 薄膜が示す固有の現象であることが分かった。

次に、 $a\text{-CN}_x$ 薄膜を、短冊形極薄基板上に堆積させたバイモルフカンチレバーや、ポリマーフィルム上に堆積させたダイヤフラムとマイクロ流路を組み合わせたマイクロポンプを試作し、その性能を評価した。その結果、 $a\text{-CN}_x$ 薄膜を用いたデバイスは、既存のデバイスの性能と比べ、変位量が極端に劣ることがなく、応用の可能性が十分にあることを示した。

また、 $a\text{-CN}_x$ 薄膜は生体適合性を有することから、医療分野やバイオテクノロジー分野における、細胞を採集する光駆動ピンセットや、低侵襲医療で注目されているカプセル内視鏡への光駆動薬剤投与機構の付与のような新たな応用の展開が期待できる。

4 キーワード

「アモルファス窒化炭素薄膜」, 「光-機械エネルギー変換材料」, 「光誘起変形」, 「光駆動アクチュエータ」