

文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム
平成28年度米国 NNCI 施設利用研修プログラム 参加報告書

所属・学年	東北大学 工学研究科 修士1年 ファインメカニクス専攻 燈明研究室
研修テーマ	Fabricating nanocrystal tandem solar cells
研修先	The University of Texas Austin
受入担当者	Dr. Brian Korgel
研修期間	5/31-8/16
研修内容	太陽電池の光吸収層をスパッタによる手法ではなくインクベースの手法で作製し、その性能の向上を試みた。この手法は従来の手法にくらべ比較的簡単な手法である。一番の利点として、大気中・大気圧環境下でインクを用いることが可能なため、高温・高真空の過程が必要ない。これによって基盤選択の幅が広がり、プラスチックや紙の上などに太陽電池を作製することが可能である。また、必要とする時間・費用が従来の手法に比べかからないことなどのメリットがある。さらには、実験のスケールにとどまらず、実用化できるサイズまで容易にスケールアップできる可能性を秘めている。しかし現段階では発電効率が低くそれを改善する必要がある。その効率を上げるべく、新しい構造（タンデム構造）を提案し実際に作製することを試みた。
研修の成果等	従来のデバイスは光吸収層が薄く、光を完全に吸収しきれていない。一方層を厚くした場合に吸収率は向上するが、層内での電子と正孔の再結合率が上がり効率は向上しない。両極に透明電極をもつデバイスを作ることができ、さらに積み重ねることができれば、上部デバイスが吸収しきれなかった光を下部デバイスが吸収できるため効率が向上するのではないかと考えた。しかしタンデム構造をもつデバイスを作製するためにはデバイス間に回路を作製するためのマスクの作製および、よりよい透明電極の探索が必要である。積み重ねる前に、両極に透明電極をもつデバイスを複数種作製し比較した。透明電極の透明度・抵抗率などを考慮し、ITO と FTO を用いたものを比べ、さらにそれぞれの上に金薄膜をスパッタしたものも作製し比較した。結果として ITO に金薄膜をスパッタしたものが最適だと判明した。透明電極の探索後、実際にタンデムデバイスを作製した。しかし時間の制約でマスクを用意できずテープで代用し、透明電極として ITO のみを用いたものを作製した。測定の結果として、予想していた通り従来のデバイスに比べて2倍の電圧を得ることができたが、正孔収集層が作製したデバイスの上部デバイスにはないため電子と正孔の再結合が生じ電流は従来のものとほぼ同じ値となり、効率が向上した結果は得ることができなかった。これから、マスクを用意し上部デバイスの正孔収集層をスパッタするなど改善を施せば効率は向上すると考えられるので、有用な結果を得られたと考えられる。

文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム
平成28年度米国 NNCI 施設利用研修プログラム 参加報告書

所属・学年	九州大学大学院工学府化学システム工学専攻・博士1年
研修テーマ	Vibration Dynamics of Self-assembled Polymer Bead-on-a-String Microstructure
研修先	University of Louisville
受入担当者	Prof. Robert Cohn
研修期間	平成28年5月31日 ～ 平成28年8月4日 (61日間)
研修内容	ポリマー溶液のマイクロ構造化への検討及び、その振動ダイナミクスの評価を行った。高粘度のポリマー (polyethylene oxide : PEO) をマイクロピラー上に架橋させることで、ポリマーの自己集合により Bead-on-a-string (BOS) 構造を形成することができる。これはマイクロサイズのビーズが、ナノサイズのストリングにより固定された構造であり、ピコ (10^{-12} 倍) ニュートン単位と分子結合レベルまで検知できる力学センサーなどへの応用が期待できる。しかし、このような構造の基礎的な知見は未だ不足しており、特にセンシングなどで重要な振動ダイナミクスは明らかになっていない。そこで本研修では実験的に BOS 構造の振動ダイナミクスの解明することを目指した。
研修の成果等	まず PEO による BOS 構造の形成を試みた。これは PEO 溶液を付着させたガラスをマイクロピラー上でスライドさせることによって、PEO が自己集合しビーズ及びそれを支えるストリングの構造が形成される (図1)。その結果、ビーズの直径やその位置が異なる5種類の BOS 構造を作製した。 作製した BOS 構造に対して振動ダイナミクスを評価するためにレーザー光を利用するシステムを考案した。これはレーザーを照射し、ビーズの自然振動がレーザーの光路変化に対応しており、その光量変化の測定により行った (図2)。振動周波数 (Hz) に対して、レーザー光量の変化 (V) をプロットすることでパワースペクトル (図3) が得られた。このスペクトルを見ると 1000 Hz 付近に明確な振動ピークが観察される。その後、このピークに対して新たに設計した式 (式1) によりフィッティングを行った (図4)。その式から BOS 構造の共鳴振動数、振幅、また剛直性といったパラメータを実験的に決定するこ

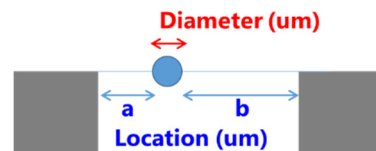
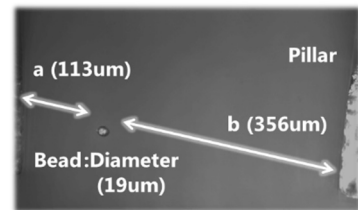


図1. 作製した BOS の (上) 顕微鏡図と (下) イラスト。

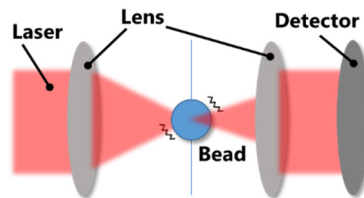


図2. 光学測定イラスト。

とに成功した（表 1）。

表 1. 光学測定により得られた BOS 構造の振動ダイナミクスデータ。

Diameter (um)	Location (a/b) (um)	Resonance frequency (Hz)	Amplitude (nm)	Stiffness (mN/m)
15	228/285	640	12	2.8×10^{-2}
16	204/313	570	29	4.8×10^{-3}
18	20/426	2190	5.5	1.3×10^{-1}
19	113/356	820	2.0	1.0
20	61/427	1420	6.7	9.0×10^{-2}

$$S_x(f) = \frac{x^2 / (\pi Q f_0)}{\left(1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)\right)^2 + \left(\frac{f}{Q f_0}\right)^2} \quad \dots \text{式 (1)}$$

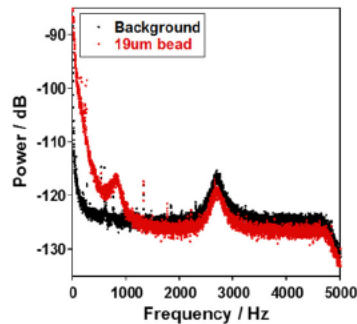


図 3. 測定により得られたパワースペクトル。

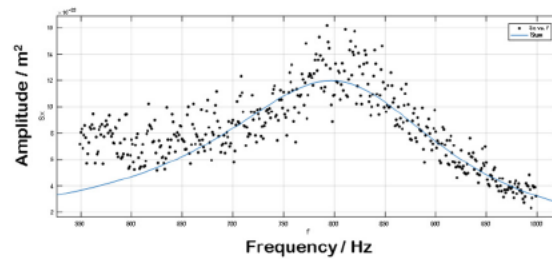


図 4. 測定により得られた数値（点）と式 1 によるフィッティング（実線）。

さらに一般式を用いて振動のパラメータと BOS 構造の関係性を調べたところ、ビーズの位置が振動ダイナミクスに最も大きな影響を与えることを明らかにし、実験結果とも良い相関性が得られた。しかし、BOS 構造のストリング直径算出までは至らず、振動ダイナミクスと構造のパラメータに対する経験式を立てることができなかった。今後は Scanning electron microscopy (SEM) 測定により、BOS 構造のストリングの直径を調べることで、各 BOS 構造と振動ダイナミクスの各パラメータに応じた明確な経験式を立てることが期待される。

文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム
平成28年度米国 NNCI 施設利用研修プログラム 参加報告書

所属・学年	筑波大学 博士後期課程3年
研修テーマ	Gas Microfluidics using MEMS Micro-pumps
研修先	University of Louisville, Louisville, KY, USA
受入担当者	Shamus McNamara
研修期間	2016/6/1~2016/8/3
研修内容	本研修では、熱駆動ポンプであるクヌーセンガスポンプに焦点を当てて研究を行った。このポンプは駆動部品を必要とせず、多孔質材料をガス流路として熱ポンプ機構により駆動するのが特徴である。応用として、駆動部品を必要としない微小ポンプやコンプレッサー、マイクロ流体チャネルと統合された lab-on-a-chip などが挙げられる。実験では新しいナノ材料によるポンプの作製を行い、マイクロ流体デバイスをテストした。具体的には、マイクロガラスおよびナノ粒子分散液を用いることで最も簡易かつ低コストなクヌーセンポンプの作製を試み、ガス流路となる気孔を塞ぐことなく、優れたポンプ性能を有する新たなナノ多孔性デバイスの合成法を検討した。実験を通して、マイクロ/ナノ製造技術やそのレイアウトを学び、マイクロ流体デバイスの評価方法を学習した。
研修の成果等	本研修では、メインとなる研究を始める前に共用設備であるクリーンルームを利用したシリコン太陽電池の作製および評価を行った。これは REU プログラムの参加学生らとともにを行い、フォトリソグラフィーによりシリコン基板からデバイスまでの一通りの作製過程を経験した。 メインテーマでは、ナノ粒子分散液を二枚のマイクロガラス間に塗布することで、ナノサイズの隙間（ナノ多孔体）を有するガラスサンプルを作製した。さまざまな塗布方法および作製条件を試み、ナノサイズの多孔性デバイスの作製に成功した。クヌーセンポンプの組み立てには 3D プリンターを用いた。ポンプ性能の評価ではサンプル両端に約 5℃の温度差をつけることで約 10Pa の圧力が発生し、本研究では新たな簡易型のクヌーセンポンプの作製に成功した。以上の実験では、共用設備である走査型電子顕微鏡やスピコートも用いた。 これらの研究成果に関しては、REU プログラムの参加学生らとの毎週の集まりにおいて進捗状況の発表を行った。互いに研究成果を報告し合うことで様々な意見が得られ、プログラムの最終日にあるワークショップに向けてデータの研鑽を行った。また期間中はそれぞれの進捗状況は共有の Blog において逐一更新を行うことで、常に互いの状況が確認できるシステムをとっていた。この Blog に関しても、プログラムの一環として各個人が自ら作成したものである。得られた成果は論文化して、プログラムの一環で作成している Journal で発表した。