

体 験 レ ポ ー ト

有機高分子薄膜太陽電池の作製とその評価 …… 1

国際文理コース 3年 須貝 大輝
【機能高分子工学科 夫 研究室】

超電導磁石を用いた磁気熱風の発生 …… 4

国際文理コース 3年 山 村 茂 人
【機械システム工学科 赤松研究室】

小国の水質調査と考察 …… 8

国際文理コース 2年 内 藤 千 捷
【バイオ化学工学科 高畑研究室】



有機高分子薄膜太陽電池の作製とその評価

山形県立小国高等学校 国際文理コース3年 須貝 大輝

1. 目的

昨年、有機 EL 素子の作成や有機太陽電池の作製をさせていただき、さらに詳しく知りたいと思い、今年も研究体験に参加した。今回は主に、有機高分子太陽電池の作製と評価を行った。

2. 有機太陽電池の原理

有機太陽電池素子の基本的な構造は、p 型の有機材料と n 型の有機材料からなる活性層を、陽極と陰極で挟んだものである。

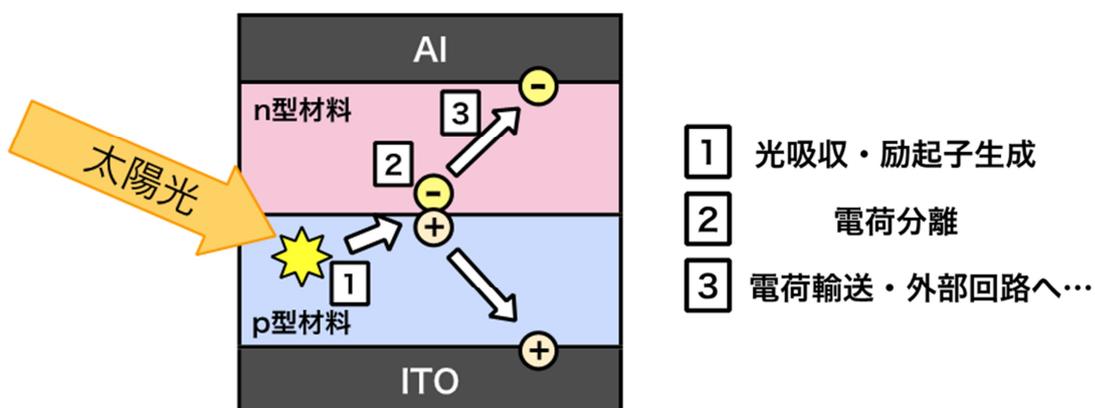
図中① 光はエネルギーを持っているため、活性層に光が当たると活性層内の分子が高いエネルギーを持った状態、つまり励起子になる。

図中② 励起子は p 型材料と n 型材料の界面まで移動したあとに電荷分離し、電子（負）とホール（正）に分かれる。

図中③ 電子は陰極から、ホールは陽極から、外部回路へと電流として取り出される。

p 型材料：正のキャリアをもつ

n 型材料：負のキャリアをもつ



3. 実験内容

3.1. 実験の狙い

活性層に DIO を加えた場合と加えない場合の性能を比較する。加える割合は次の4通りとした。

a : 0% b : 1% c : 3% d : 5% (o-DCB + DIO%(v/v))

3.2. 実験内容

(1) 素子の製作

基盤の洗浄

ゴミなどの影響をなくすために、基盤を次の手順で洗浄する。

アセトンスクラブ → 表面の油脂を溶かす。

↓

アセトン超音波

↓

IPA 超音波

↓

IPA 煮沸

↓

UV-O₃ 処理

PEDOT:PSS 塗布成膜

活性層(P3HT:PC₆₀BM)の成膜

P3HT:PC₆₀BM を 1:1(w/w)の比で 40mg/1mL の濃度になるように調製した溶液を 40 で 12 時間攪拌

↓

基板に 100 μ L 滴下し、スピコート(100nm,2300rpm,40sec)

↓

シャーレの中で 30 分間放置(ソルベントアニール)

↓

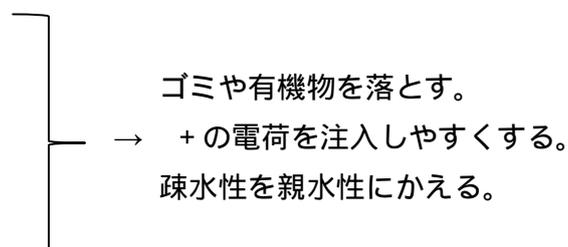
150 で 20 分間バーク

↓

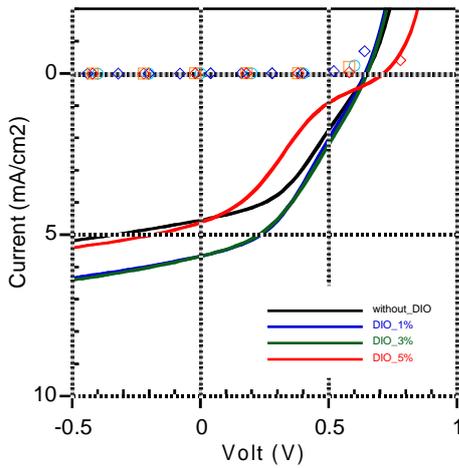
クロロホルムで不要な部分を拭き取る

陽極と陰極となる Ca と Al を真空蒸着で成膜

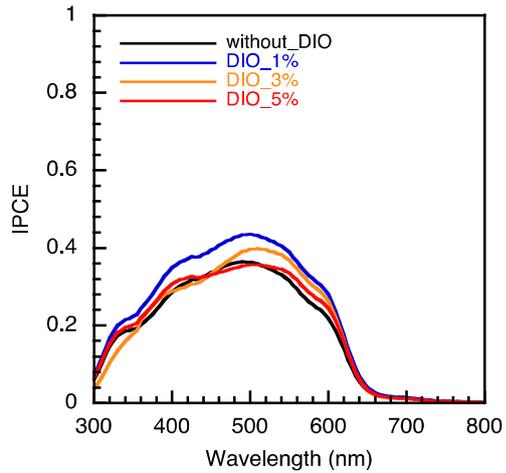
素子を封止



(2) 作製した素子の評価



電流-電圧曲線



IPCE スペクトル

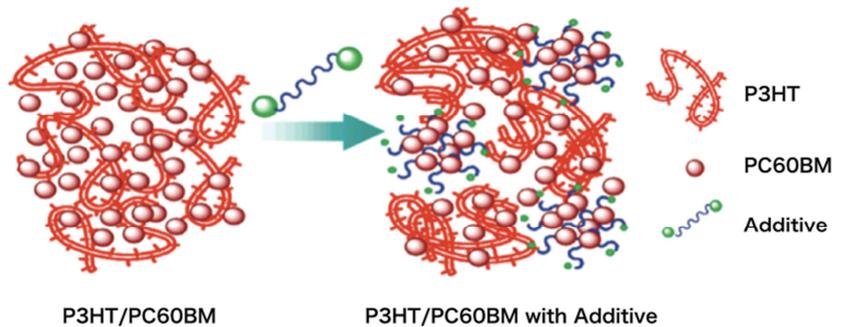
	Jsc [mA/cm ²]	Voc [V]	fill factor	PCE [%]	R _{se} [ohm]	R _{sh} [ohm]
without_DIO	4.55	0.65	0.408	1.198	1510	16250
DIO_1%	5.66	0.64	0.389	1.418	1183	14120
DIO_3%	5.67	0.65	0.386	1.424	1198	12950
DIO_5%	4.50	0.72	0.263	0.854	3769	10130

太陽電池素子の性能

4. 考察

DIO を添加していないものとしているものでは、添加している方の効率が良くなることが分かった。これは、図のように DIO(additive) が PC60BM をまとめることができ、相互貫入型に近くなるからだと考えられる。

また、DIO を添加しすぎると（今回の実験では 5% 程度）漏れ電流が発生してしまい効率が下がってしまった。なお、今回の実験については、再現性があるものなのかは確認できなかった。



5. 感想

今回の研修を通して、昨年よりさらに詳しく学ぶことができ、更に有機 EL や有機薄膜太陽電池に興味を持つことができた。また、研究室の方に様々なところに連れて行って頂きとても貴重な体験ができた。昨年より「自分でやってみる」体験が多く、失敗もあったが楽しく充実した時間だった。

超電導磁石を用いた磁気熱風の発生

山形県立小国高等学校 国際文理コース3年 山村 茂人

1. 目的

重力場および無重力場において発生する磁気熱風の発生メカニズムと熱流動特性について、コンピュータシミュレーションを通して理解する。

2. 実験内容

2.1 空気の質量磁化率について

空気中の気体は主に窒素 8 割、酸素 2 割で構成されている。また、物体の磁気からの影響の受けやすさを、単位質量あたりの磁気分極の起こりやすさを示す値である、質量磁化率を用いて表す。空気中を占める酸素の量は窒素と比べて少ないが、質量磁化率は窒素の約 250 倍である。したがって、空気の磁化率は酸素の磁化率に依存することがわかる。

2.2 キュリーの法則について

キュリーの法則（式）とは物体の質量磁化率と絶対温度が反比例するというものである。

$$\chi \propto \frac{1}{\theta} \quad \dots$$

これにより、温度が低いものほど質量磁化率が高くなることがわかる。

2.3 無次元化された基礎方程式

以下の公式を用いて、無次元化された状態での対流の発生を数値化する。

・連続の式（式）

$$\frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} (RU) + \frac{\partial W}{\partial Z} = 0 \quad \dots$$

・運動方程式〔半径方向（式）、軸方向（式）〕

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} + U \frac{\partial U}{\partial R} + W \frac{\partial U}{\partial Z} = -\frac{\partial P}{\partial R} + \text{Pr} \left[\frac{\partial}{\partial R} \left\{ \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} (RU) \right\} + \frac{\partial^2 U}{\partial Z^2} \right] - MRa \text{Pr} T \frac{\partial B^2}{\partial R} \quad \dots$$

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} + U \frac{\partial W}{\partial R} + W \frac{\partial W}{\partial Z} = -\frac{\partial P}{\partial Z} + \text{Pr} \left[\frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} \left(R \frac{\partial W}{\partial R} \right) + \frac{\partial^2 W}{\partial Z^2} \right] - MRa \text{Pr} T \frac{\partial B^2}{\partial Z} + Ra \text{Pr} T \quad \dots$$

・エネルギー方程式 (式)

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + U \frac{\partial T}{\partial R} + W \frac{\partial T}{\partial Z} = \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} \left(R \frac{\partial T}{\partial R} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} \quad \dots$$

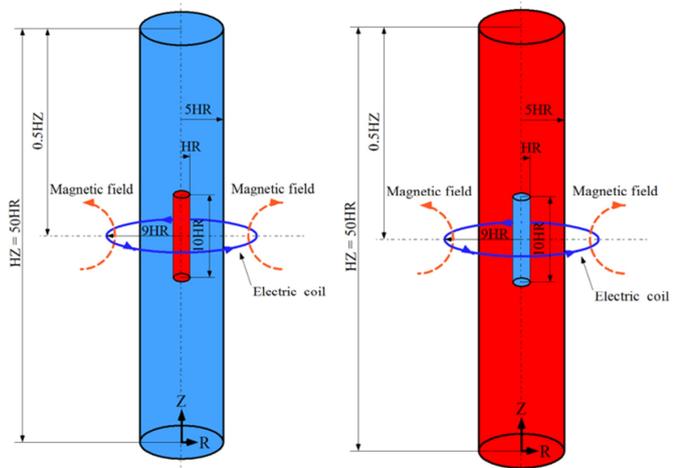
2.4 ビオ・サバルの法則

ビオ・サバルの法則 (式) とは電流の存在によってその周りに生じる磁場を計算する為の電磁気学における法則である。

$$B = -\frac{1}{4\pi} \oint \frac{(A - R) \times dA}{|A - R|^3} \quad \dots$$

2.5 解析モデル

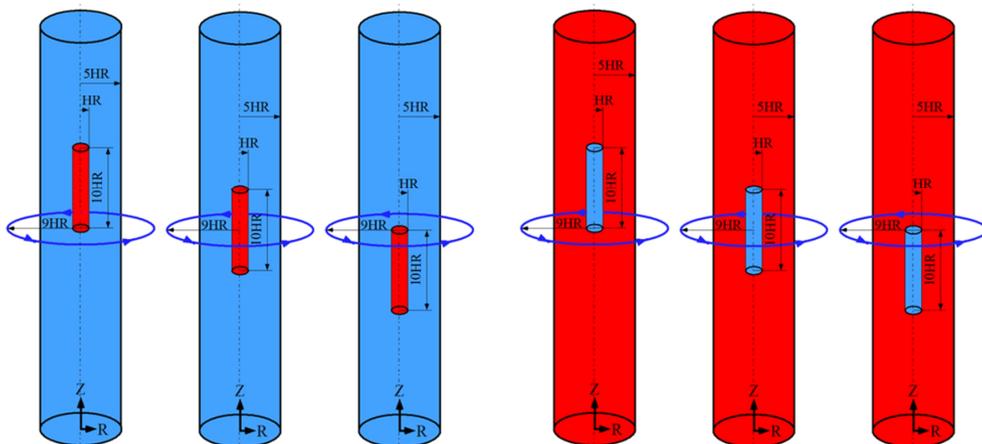
解析モデルを以下に示す。



左から、超電導磁石、超電導磁石の中に相対的に暖かい空気の入った円管を設置したもの、逆に、相対的に冷たい空気の入った円管を設置したものを想定した。また、中央の円は、磁気力をひと巻の円形電磁コイルで表したものである。

2.6 ボア内における円管の設置位置

一般に、超電導磁石の中の空間をボアという。これは、ボア内に設置する円管の設置位置を変えて実験するための想定図である。



3. 解析結果

まず、無重力場において、磁気力の力がどのように影響するのかを知るため、無重力場における磁気熱風を確認した。

3.1 無重力場において円管内に暖かい空気を入れた場合の解析結果

- ・ 円形電磁コイルよりも上に円管を設置した場合
暖かい空気は円形電磁コイルに反発するため、コイルから離れていくように上へ抜け出ていく。
- ・ 円形電磁コイルの中心に円管を設置した場合
暖かい空気は反発し、上下両方から抜け出ていく。
- ・ 円形電磁コイルよりも下に円管を設置した場合
コイルの上に設置したとき同様、反発し、コイルから離れるように下へ抜け出ていく。

3.2 無重力場において円管内に冷たい空気を入れた場合の解析結果

- ・ 円形電磁コイルよりも上に円管を設置した場合
冷たい空気は円形電磁コイルに引き寄せられるため、コイルに引き寄せられるように下へ抜け出ていく。
- ・ 円形電磁コイルの中心に円管を設置した場合
冷たい空気は引き寄せられ、円管内に滞留する。このとき、熱伝導のみによって熱エネルギーの受け渡しが行われる。
- ・ 円形電磁コイルよりも下に円管を設置した場合
コイルの上に設置したとき同様、コイルに引き寄せられるようにして上へ抜け出ていく。

次に、重力場において、物質にはそれぞれ重力と浮力が働いている。このような力が働いている中で磁気力を与えた場合、どのように影響するのかを確認した。

3.3 重力場において円管内に暖かい空気を入れた場合の解析結果

- ・ 磁気力を加えない場合（自然対流）
円管内の空気は自然対流し上へ抜け出ていく。
- ・ 磁気力を加え、円管をコイルより上に設置した場合
自由対流の時と比べ、磁気力の力が働くため、より早く上へ抜け出ていく。
- ・ 磁気力を加え、円管をコイルの中心に設置した場合
コイルより上に設置した場合と同様に、自然対流より早く上へ抜け出る。
- ・ 磁気力を加え、円管をコイルより下に設置した場合
自由対流とは逆に、磁気力が浮力を上回るため、コイルに反発し、暖かい空気は下へ抜け出ていく。

3.4 重力場において円管内に冷たい空気を入れた場合の解析結果

- ・ 磁気力を加えない場合（自然対流）

円管内の空気は自然対流し下へ抜け出ていく。

- ・ 磁気力を加え、円管をコイルより上に設置した場合

自然対流の時とは逆に、磁気力が浮力を上回るため、冷たい空気はコイルに引き寄せられ、上へ抜け出ていく。

- ・ 磁気力を加え、円管をコイルの中心に設置した場合

冷たい空気は引き寄せられ、円管内に滞留する。このとき、熱伝導のみによって熱エネルギーの受け渡しが行われる。

- ・ 磁気力を加え、円管をコイルより下に設置した場合

自然対流に比べ、冷たい空気はコイルに引き寄せられるため、自然対流より早く下へ抜け出ている。

4. 結言

無重力場では、空気に温度差を与えても自由対流は発生せず、熱伝導のみで熱エネルギーは移動する。しかしながら、外力として磁気力を付加することにより、磁気熱風を誘起できることが分かった。

重力場では、磁気力によって空気の自由対流を制御し、磁気熱風を誘起できることが分かった。この磁気熱風の熱流動特性は円管の設置位置と空気の温度差に強く依存することが分かった。

5. 感想

初めに論文を読ませていただいたが、何が書いているのか全く分からないまま1日目が終わった。2日目からは目標である「磁気熱風」について様々なことを教えていただき、それを参考にもう一度論文を読んでもみると、何が書いているのか少しずつ分かってきた。これをもとにして、いよいよ3日目からは、計算したものをシミュレーションするための作業に移ることができた。

今回の体験を通して、熱の対流の仕方や磁気への影響を学ぶことができた。また、大学の雰囲気にとくさん触れることができ、大学のイメージを持つこともできた。自分の将来のためになる貴重な良い経験ができた。

小国の水質調査と考察

山形県立小国高等学校 国際文理コース2年 内藤 千捷

1. はじめに

私はこの度、山形大学工学部で研究体験をさせていただき、バイオ化学工学科の高畑助教をはじめ研究室の皆さんのご指導のもと、水質分析による環境分析について、学習・実験をさせていただきました。事前に小国町内の水のサンプルを採取し、それを用いての水質調査及び考察を行った。

2. 水質分析による環境分析

(1) 水のサンプリング地点

- 小国高校敷地内のため池
- 小国小学校旧校舍裏の横川
- 小国駅前付近の用水路



(2) 測定項目と測定方法

測定項目		測定方法
(ア)	大腸菌群数 * 糞便汚染の程度を示す	デオキシコレート寒天培地を調製し、シャーレに寒天溶液 15mL、サンプル 1mL を入れ、固まった上からさらに溶液 5mL を入れ、37 で 18~20 時間、インキュベーターに保存し培養。その後、暗赤色のコロニーを数える。
(イ)	COD (化学的酸素要求量) * 主に有機物量を示す	それぞれ簡易的なパックテストを行った。
(ウ)	Cl (塩化物) * 塩化物イオンを示す	

* (ア)および(ウ)にはそれぞれ生活排水の影響があると考えられている。

(3) 実験結果

(7) 大腸菌群数 (MPN/mL : 最確数)

サンプルNo.	結果
	61 MPN/mL
	12 MPN/mL
	2 MPN/mL



(1) COD(ppm=mg/L)

サンプルNo.	1 回目	2 回目	3 回目	平均
	6ppm	7ppm	8ppm	7ppm
	3ppm	3ppm	3ppm	3ppm
	3ppm	3ppm	3ppm	3ppm

(ウ) Cl

サンプルNo.	1 回目	2 回目	3 回目	平均
	(測定不能)	1ppm	0ppm	0.5ppm
	3.5ppm	2ppm	2ppm	2.5ppm
	(>50ppm)	4ppm	4ppm	4ppm

(4) 考察

のため池について、採取時に落ち葉等の浮遊物があり、微生物及び大腸菌がたくさん確認できた。そのため、COD が 7ppm と高かったのだと思われる。

の横川について、周囲に住宅地が少なく、生活排水があまり流れ込んでいないようで、比較的よい水質であることがわかった。これは、河川の自浄作用によるものであると予想できる。河川は希釈・拡散・沈殿・吸着や、微生物や生物による分解・吸収によって、自ら水質を浄化している。

の用水路について、大腸菌群数、COD とともに低い値だが、Cl はそれなりの数値である。これは、周囲の家庭からの生活排水が主な原因であることが予想される。

(5) まとめ

は大腸菌群数、COD とともに高く、あまり良い水ではないことが分かった。しかし、塩化物量は 1 回目こそ測定不能であったが、2 回目以降は極端に低かった。

は大腸菌群数が 12MPN/mL、COD、Cl は両方とも 3ppm であり、比較的綺麗な水が流れていることが分かった。また、生活環境の保全に関する環境基準によると、水道 2 級と水道 3 級の間、水産 1 級と水産 2 級の間位置していることが分かった。

は住宅地を通る用水路ではあるが、大腸菌群数、COD ともに低く、Cl も基準値である 5.8ppm よりも低く、比較的きれいな水であると思われる。しかし、1 回目の塩化物量のパックテスト時、最大の 50 を超える値を出しており、やはり生活排水が流れ込んでいていると考えられる。

これらを今後の環境分析や保全に応用したい。

3. 感想

一週間という短い期間だったが、実際に大学に行き研究体験や学習をするといった、とても貴重な体験をさせていただくことができた。

初日は主に大学や研究室の説明で、本格的な実験は 2 日目からだった。大腸菌群数の測定時、デオキシコレート寒天培地の調製に失敗してしまい、コロニーが確認できず悔しい思いをしたが、2 回目は無事成功し結果を出すことができた。このようなハプニングも良い経験であった。

今回の研究体験では、初めは緊張していたものの次第に楽しくなってきた、自分が研究・分析に向いていることが認識できた。これまで漠然としていた将来の夢が具体的な目標へと定まるきっかけとなった。