

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 31 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22651051

研究課題名（和文） バイオテンプレート法によるマイクロコイル電波応答材料

研究課題名（英文） Electromagnetic Responsive Microcoil
Fabricated by Biotemplating Process

研究代表者 彌田 智一 (Iyoda Tomokazu)

東京工業大学・資源化学研究所・教授

研究者番号：90168534

研究成果の概要（和文）：本研究では、らせん形状の生体組織をテンプレートとした金属マイクロコイルの作製プロセスを提案し、新しい電磁波応答材料を開発することを目指した。研究期間終了までに蓮の茎から得られる維管束（蓮糸）と藻類のスピルリナをテンプレートとしたマイクロコイルの作製に成功し、それらの電磁波応答特性を評価することができた。

研究成果の概要（英文）：This project has aimed to propose the fabrication process of metal microcoil via helical-shaped biological materials. Helical templates originated from vesicular vessels of Lotus root as well as algal Spirulina successfully generated the metal microcoils. The resulting microcoils were examined to show the specific absorptions in the range of THz wave.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,100,000	0	2,100,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	330,000	3,530,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学、マイクロ・ナノデバイス

キーワード：バイオテンプレート・蓮糸・スピルリナ・左巻き螺旋・無電解めっき・電磁誘導・電磁波応答・テラヘルツ波

1. 研究開始当初の背景

自然界は人知を越えた周期構造や幾何学構造の宝庫である。生物、植物、生体組織のユニークなかたちは、蝶の鱗翅目や珪藻、ウイルスや細菌、マイクロチューブルやDNAなど数え上げたらきりが無い。近年では、それらのかたちを模倣することにより、新しい材料を作製するという分野が確立されはじめた。サブミクロンの凹凸構造をもつ蠅の複眼や蓮の葉、先に挙げた蝶の鱗翅目の構造を模倣し、超撥水・超親水性表面をもった新素材や周期構造を活かした光学材料（フォト

ニック結晶）の開発がその代表に挙げられる。これらの手法は、表面に凹凸構造や積層構造をもうけるだけで全く異なる物性を引き出すシンプルなプロセスといえる。しかし、模倣人工物には限界があり、これまでの材料設計の対象は2次元構造に終始している。フォトリソニック結晶研究では、3次元的な空間対称性を排除することにより、初めて完全フォトリソニックバンドギャップが実現する。対称軸をもたないように周期構造を組み立てることは非常に困難である。この例からも、2次元構造だけではなく、3次元構造の作製とその

物性評価が望まれている。

2. 研究の目的

本研究は、自然界に存在するらせん形状をテンプレートとして、ギガヘルツ-テラヘルツ周波数帯域における電磁波応答材料の開発を目的としている(図1)。

携帯電話やコンピュータの発達に応じて、これまでに様々な周波数領域を対象とした無線通信が確立された。現在では、30 GHzの広範囲における特定周波数が、ラジオ放送、業務用移動通信、携帯電話、無線LAN、衛星通信など広範な用途に使われている。また、用途の多様化により、使用できる周波数が減少し、また、混線の問題から、指向性のある電磁波共鳴システムが求められている。微小マイクロコイルは、直径、長さ、ピッチを関数として決定される特定周波数に共鳴し、電磁誘導特性を示すことから、無線通信における重要な電子デバイス部材として古くから

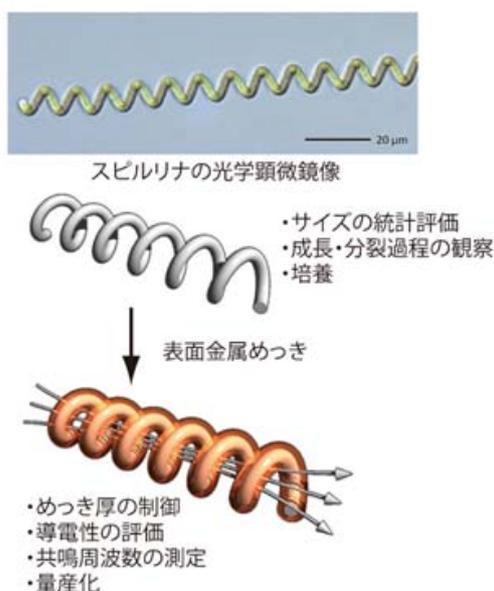


図1 電磁誘導特性をもつ左巻きマイクロコイルの作製プロセス(検討項目をステップ毎に記した)。

研究されている。そこで、本研究では、マイクロメートルオーダーのらせん形状をもつ生物・植物組織をバイオテンプレートとし、無金属めっきを含む微小マイクロコイルの量産と電磁波吸収特性の発現を目指した。バイオテンプレートとして対象とするサイズは、直径5-30 μm、長さ300-500 μmであり、無電解めっきを施すと電気伝導性を示すことから、ギガヘルツ-テラヘルツ周波数帯域に共鳴すると期待した。本研究で提案するバイオテンプレート法は、これまでの「模倣」という手法ではなく、自然界のユニークなかたちを鋳型としてそのまま利用する。これまで困難であった3次元的な周期構造や幾何学構

造を作製できる画期的な方法であると考えられる。

3. 研究の方法

(1)らせん形状バイオテンプレート

維管束植物の道管には、セルロースからなる左巻きのらせん形状をもつ支持壁がある。サイズは、直径50 μm程度、ピッチ50-100 μmである。これは、維管束らせん紋と呼ばれ、古くから小中学の理科クラブの顕微鏡用試料として使われてきた。そこで、他の植物組織からの単離方法を確立し、バイオテンプレートへの応用を検討した。また、量産を目指し、左巻きのらせん形状をもつ藻類スピリリナも対象として検討した。研究開始以前に国立環境研究所に保存されているナイジェリアチャド湖から採取した培養株を購入した。

(2)バイオテンプレートのサイズ評価

維管束らせん紋およびスピリリナの形状観察を光学顕微鏡、電子顕微鏡により観察した。直径、ピッチ、長さのサイズ分散を評価し、得られるサンプルの応答電磁波帯域を予測した。コイルの共鳴周波数 f は、 $f = 1/[2\pi(LC)^{0.5}]$ で表される (L :自己インダクタンス、 C :コンダクタンス)。自己インダクタンス L は、 $L = \mu_0 \pi a^2 N^2 K/l$ (μ_0 :透磁率、 a :コイル半径、 N :巻き数、 l :コイル長、 K :長岡係数) と表され、理論的には形状因子だけで決定される。従って、サンプルの形状因子に対する共鳴周波数を予測することができると考えた。

(3)無電解めっきを用いたバイオテンプレートプロセスの開発

得られたバイオテンプレート表面に直接金属被覆を行う方法として無電解めっきを検討した。維管束らせん紋はセルロース、藻類スピリリナには、多糖および脂質など細胞膜や外膜が存在する。これらとめっき触媒核の吸着を促進する処理工程を検討した。めっき触媒核が適切に表面に吸着すれば、目的とする金属が被覆したらせん構造を得られる。

(4)電磁誘導および電磁波応答特性の評価

両端に配線された金属マイクロコイルをSQUIDチャンバー内の超伝導ソレノイドに挿入し、電流印加に対するコイルからの誘導磁化率を直接観察することにより、インダクタンスを求めた。この方法により、小さいインダクタンスでも評価できると考えた。さらに、左右円偏波をつかった時間分解テラヘルツ分光により、金属マイクロコイル分散シートの共鳴吸収特性の評価を行った。

4. 研究成果

(1)らせん形状バイオテンプレートとサイズ評価

①維管束らせん紋 植栽によく使われるレッドロビンの葉、スイートピーの花弁、バナナの皮などから採取を行った。他の植物組織から分離するために、KOH次いで希硫酸中超

音波処理を行うことにより、直径 $5\ \mu\text{m}$ 程度のらせん紋を抽出した(図2)。しかし、処理過程に凝集が起き、単一のらせん紋を得ることが困難であった。そこで、蓮の地下茎や茎の破断面にみられる繊維に着目した。図3のように他組織から分離処理することなく簡便にらせん紋が得られることがわかった。顕微鏡観察から、直径は $50\ \mu\text{m}$ 、ピッチは $75\ \mu\text{m}$ であることがわかった。

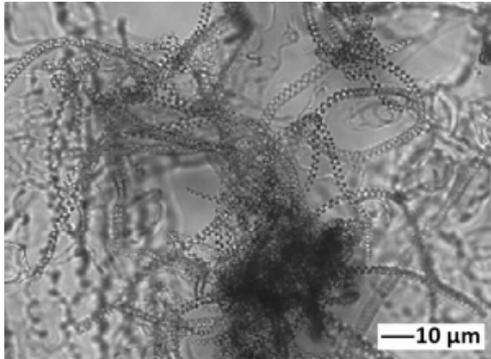


図2 レッドロビンから抽出したらせん紋

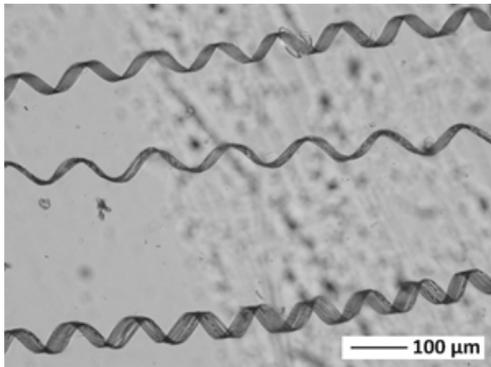


図3 蓮(レンコン)の破断面の繊維

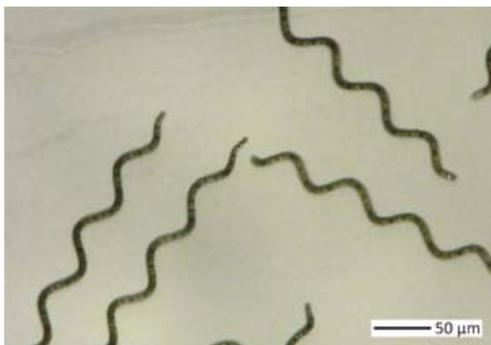


図4 SOT 培地中の藻類スピルリナ

②藻類スピルリナ 藍藻綱ユレモ目の直径約 $30\ \mu\text{m}$ 、ピッチ約 $50\ \mu\text{m}$ 、長さ $300\text{-}500\ \mu\text{m}$ のらせん形状をした濃緑色の微細藻類である。国立環境研究所保有株から株分けされたチャド湖原産のスピルリナを専用培養液(SOT 培地, Spirulina-Ogawa-Terui の略)により培養し、バイオテンプレートとして量産できることを確認した。サイズ分散は、顕微鏡により 200 点カウントし、正規分布曲線を求めた。直径 $34\ \mu\text{m}$ 、ピッチ $74\ \mu\text{m}$ 、線径 $9\ \mu\text{m}$ で

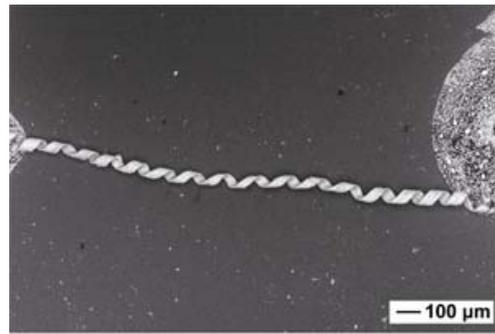


図5 蓮由来銅マイクロコイル

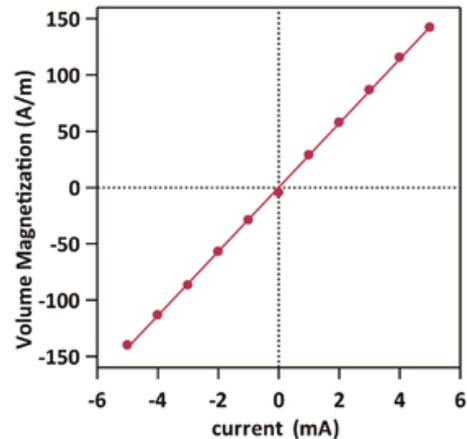


図6 蓮由来マイクロコイルの電磁誘導特性(マイクロコイル1本に電流を印可し、電流変化に伴う、誘導磁化率を測定した。)

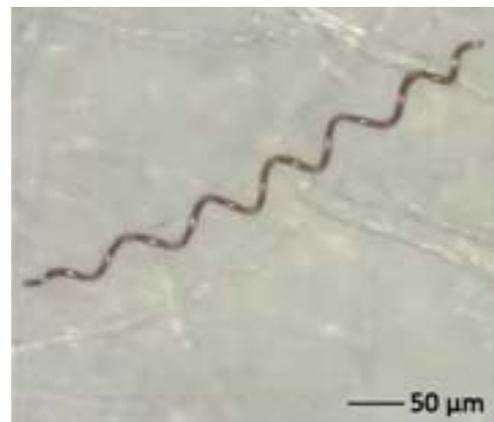


図7 藻類スピルリナ由来銅マイクロコイル

あり、すべて誤差 10%以内で培養されることがわかった。成長方向である長さおよび巻き数は、誤差が大きく 30%程度であり、それぞれ $260\ \mu\text{m}$ 、3.4 だった(図4)。

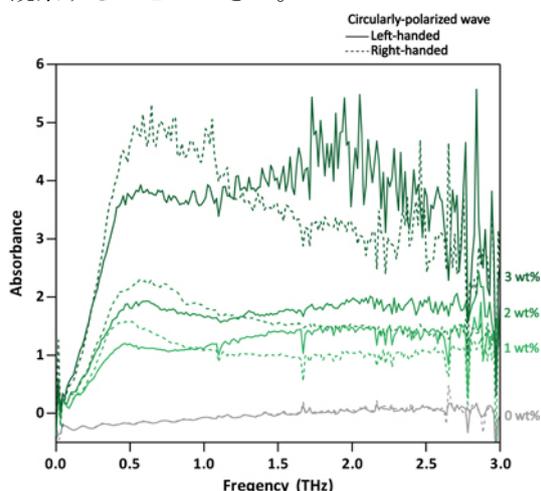
(3)金属マイクロコイルの電磁誘導特性

蓮由来らせん紋に銀鏡反応を応用した無電解めっきを行ったところ、図5に示すように形状を維持したまま銀被覆されたマイクロコイルが得られた。両端を銀ペーストで固定し、電流を印可しながら、SQUID チャンバー内に挿入し、磁化率を測定したところ(図

6)、印可電流に比例した誘導磁化率が観察できた。 $L = (M/I) \mu_0 S$ (M:磁化率、I:電流、S:断面積)の関係に従い、得られた直線の傾きから自己インダクタンスは、20-70 picoHenry と求められた。携帯電話などのモバイル端末に現在使われているインダクタは、数 μ Henry である。本研究で作製したマイクロコイルが既存サイズよりも十分小さいため、従来に対し、5桁小さいインダクタ特性を示すことがわかった。先述のように、小さい自己インダクタンスはより高周波帯域での共鳴吸収特性が期待できる。

(4)テラヘルツ波応答特性の評価

スピリナ表面へのめっき触媒核吸着のために、グルタルアルデヒドによる固定化を行った。固定化を施さない場合は、めっき層の剥離が起こるが、施した場合、本来の形状を維持したまま約 400 nm 厚の金属被覆を作製できることがわかった(図 7)。作製した金属銅マイクロコイルを 0~3 重量%で Paraffin 中に等方的に分散させ、テラヘルツ帯域における吸収特性の評価を検討した。金属コイル含有量が増加するにつれて、0.1~2.0 THz 吸光度が著しく増加し、わずか 3 wt%の含有量で 99%以上の透過減衰を示した。この金属マイクロコイルはすべて左巻きのため左右円偏波に対する吸収特性の違いが予想される。実際にも、図 8 に示すような大きな光学活性を観察することができた。



本方法は、数百 GHz~数 THz の電磁波を効率良く吸収する金属マイクロコイルの量産化プロセスとして期待できる。また作製した金属マイクロコイルは、特定円偏波吸収材料への可能性や配向依存性など従来の磁性微粒子を凌駕する高機能な電磁波応答材料としての展開が期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

K. Kamata, S. Suzuki, M. Ohtsuka, M. Nakagawa, T. Iyoda, A. Yamada, "Fabrication of Left-Handed Metal Microcoil from Spiral Vessel of Vascular Plant", *Advanced Materials* **2011**, *23*, 5509-5513. 査読有り

DOI: 10.1002/adma.201103605

[学会発表] (計 5 件)

1. 鈴木壮一郎、藤森貴大、長井圭治、鎌田香織、彌田智一、高野 恵介、萩行 正憲 「らせん藻類を鋳型とする金属マイクロコイルの作製とテラヘルツ電磁波応答特性」電子情報通信学会 2012 年総合大会、2012.3.12、岡山大学津島キャンパス (岡山県)
2. 鈴木壮一郎、藤森貴大、長井圭治、鎌田香織、彌田智一、高野 恵介、萩行 正憲 「バイオテンプレート法による藻類由来金属マイクロコイルの作製とテラヘルツ領域光学活性」応用物理学会第 59 回大会、012.3.17、早稲田大学 (東京都)
3. 鈴木壮一郎、鎌田香織、彌田智一 「バイオテンプレート法による金属マイクロコイルの作製とテラヘルツ帯電磁波応答特性」第 60 回高分子討論会、2011.9.29、岡山大学津島キャンパス (岡山県)
4. 藤森貴大、鈴木壮一郎、長井圭治、彌田智一 「テラヘルツ電磁波吸収体に向けたマイクロコイル分散」第 60 回高分子討論会、2011.9.29、岡山大学津島キャンパス(岡山県)
5. T. Fujimori, S. Suzuki, K. Nagai, T. Iyoda, "Microcoil-dispersed Material as Terahertz Electromagnetic Wave Absorber", International Symposium on Integrated Molecular/Materials Engineering (ISIME 2011), Jun. 6, 2011, Beijing, China.

[その他]

ホームページ等

1. <http://biotemplate.org/img/newspaper20120125.jpg>
2. <http://techon.nikkeibp.co.jp/article/HONSHI/20111122/201807/>
3. <http://biotemplate.org/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

彌田 智一 (Iyoda Tomokazu)
東京工業大学・資源化学研究所・教授
研究者番号：90168534

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者 ()

研究者番号：