近赤外応力発光体を利用した生体内力学情報のセンシング

Near-infrared Mechanoluminescence Material for Stress Imaging in the Optical Window of Biological Tissue

産業技術総合研究所 [1], 九大 [2], 佐賀大 [3] ○(M2)張璐 [1,2], 川崎悦子 [1], 兵藤行志 [1], 上野直広 [3], 徐超男 [1,2]
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology[1], Kyushu Univ.[2], SagaUniv.[3]
○Lu Zhang[1,2], Etsuko Kawasaki[1], Hyodo Koji[1], Naohiro Ueno[3], Chao-Nan Xu[1,2]
E-mail: cn-xu@aist.go.jp

1. 緒言

近赤外線(800-1400nm)は、レイリー散乱による影響が少なく、分子振動による吸収が少ないため、他波長領域の光に比べると透過性が非常に高いという特徴があり、生体の窓として利用されている。現在生体センシングへの応用領域において、近赤外応力発光体が活用されており、今後の応用は各方面から期待されている。本研究では、近赤外応力発光体 $Sr_3Sn_2O_7:Nd^{3+}$に関して、応力発光特性の評価を行う。また、生体内の力学情報をイメーシングするため、生物組織に対する近赤外応力発光材料の透過性を調べ、ヒトの血しょうと近い無機イオン濃度を有する水溶液を擬似体液（SBF）を使い、擬似体液中での長期的安定性について検討し、生体内の応力分布の可視化の最新進展を報告する。

2. 実験方法

固相反応法によって近赤外応力発光体を合成した。用いた試薬は $SrCO_3$、SnO_2、Nd_2O_3、H_3BO_3 で称量、メノウ乳鉢で混合・粉砕を行った。これを空気中で1500℃、5 時間で焼成することで試料の合成を行った。焼成後の試料を乳鉢で粉砕し、測定に用いた。調製した試料は粉末X線回折装置により結晶相の同定を行い、蛍光分光光度計により蛍光特性を評価した。応力発光膜は、応力発光体を樹脂材料に分散させた塗布液を試験片に塗布し、乾燥させることによって形成した。近赤外応力発光特性(ML)は、材料試験機(MTS)を用いて、応力発光体を塗付した試験片に引張荷重（最大歪み：600 μst）を加えたときの発光を近赤外カメラにより評価した。近赤外応力発光スペクトルはマルチチャネル分光器を用いて測定した。

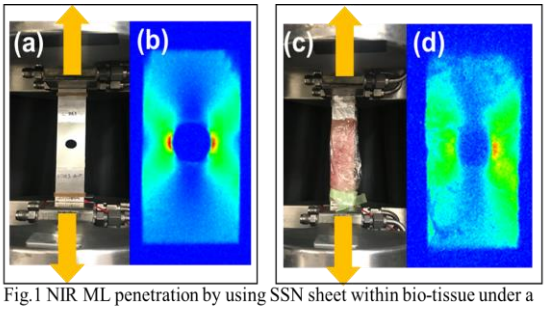
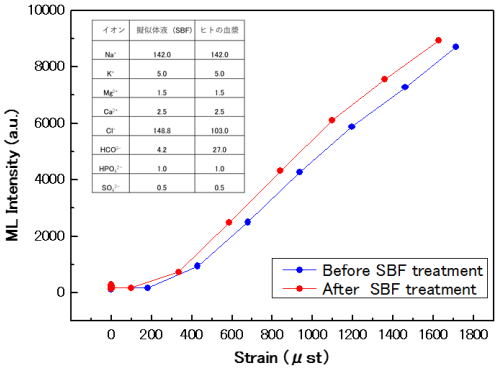


Fig.1 NIR ML penetration by using SSN sheet within bio-tissue under a tensile load.
(a) Visible image from SSN sheet.
(b) The NIR ML from SSN without bio-tissue by InGaAs-CCD camera.
(c) Visible image from SSN sheet with bio-tissue.
(d) The NIR ML from SSN with bio-tissue by InGaAs-CCD camera.

3. 結果および考察

Figure1(a)に近赤外応力発光体を塗布した試験片の様子を示す。引張荷重の増加に対して応力発光分布を示すことがわかった（Fig.1(b)）。Fig.1 (c)に生物組織に対する近赤外応力発光体を塗布した試験片の様子を示し、引張荷重の増加に対して応力発光分布を示すことがわかった（Fig.1(d)）。この結果から、近赤外応力発光は生物組織を透過できることを示している。以上のことから本研究の近赤外応力発光体は生物組織の内部の力学情報を検出できる可能性を有することがわかった。Fig.2 に近赤外応力発光体の耐水性（SBF）の結果を示す。1 日間水に含浸しても、ML 強度にほとんど変化がなかった。$Sr_3Sn_2O_7:Nd^{3+}$は高い耐水性を有していることが示唆される。今後は、更なる発光強度の向上と生体内の応力分布を高感に可視化することを探索する。



イオン	擬似体液（SBF）	ヒトの血漿
Na^+	142.0	142.0
K^+	5.0	5.0
Mg^{2+}	1.5	1.5
Ca^{2+}	2.5	2.5
Cl^-	148.8	103.0
HCO_3^-	4.2	27.0
HPO_4^{2-}	1.0	1.0
SO_4^{2-}	0.5	0.5

Fig.2 Mechanoluminescent intensity by SBF solution immersion of $Sr_3Sn_2O_7:Nd^{3+}$

参考文献
(1)C. N. Xu, T. Watanabe, M. Akiyama, X. G. Zheng, Appl. Phys. Lett., 74, 17, 2414 (1999).
(2)S. Kamimura, C. N. Xu, H. Yamada, G. Marriott, K. Hyodo, T. Ohno, J. Ceram. Soc. Jpn. 125, 591 (2017).
(3)D. Tu, R. Hamabe, C. N. Xu, J. Phys. Chem. 122, 23307 (2018).

© 2019年 応用物理学会