

氏 名	ボッフェリ マルコ
学位(専攻分野)	博士(工学)
学 位 記 番 号	博甲第 781 号
学位授与の日付	平成 28 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専 攻	工芸科学研究科 生命物質科学専攻
学 位 論 文 題 目	<b>ADVANCED SPECTROSCOPIC METHODS FOR THE QUANTITATIVE ANALYSIS OF SYNTHETIC BIOMATERIALS AND BIOGENIC TISSUE</b> (合成生体材料および生物起源物質の定量分析のための先進的分光理論)
審 査 委 員	(主査)教授 PEZZOTTI Giuseppe 教授 若杉 隆 教授 森脇一郎

### 論文内容の要旨

この博士論文は、生体医療科学分野におけるラマン分光学、特に人工生体材料と天然生体材料の配向性について新たな発展を示す事を目的としている。

この研究において最も焦点を当てているのは、異なる無機材料および有機材料における共焦点ラマン顕微分光法の高多機能性、そしてカソードルミネッセンスと X 線解析という 2 種類の異なる分光分析を結びつけた計算アルゴリズムの開発と証明である。

ジルコニアと例とするような合成生体材料中における酸素空孔を重要なものとして捉えることにより、分光学は相転移検出技術として有用である可能性を示している。これは、直接的に人工股関節の分析に応用されており、人工環境下における試験、または生体環境内での使用による物質変質の観察を可能とした。また、ラマン分光の技術の応用は、歯や肌のような人間起源物質から目的物質を信頼性の高い状態でふるい分ける事が可能である。その際、人間起源物質の混合構造が異なる分子の組み合わせによって構成されている事も示す事が可能である。依って、特に実用的な歯科研究および法医学分析にとって、新しいラマンアルゴリズムは有益であると考えられる。ラマンテンソル要素理論はハイドロキシアパタイト単結晶と人歯中の局所的結晶学的配向の定量分析に応用され、虫歯または空洞形成の無い虫歯障害の化学的および結晶学的な指紋における振動効果の評価を見るために用いられる。

これらの分光法の特徴として、罹患エナメル構造の結晶学的および化学的特徴の厳密かつ定量的な分析を直接的に明確に置き換える事が可能と言える。

最終的にラマン顕微分光法は人の肌のエイジングに関する振動特性と化学変化の生物物理学的な連携の研究に応用が可能である。我々の分光法によるアプローチはタンパク質フォールディングの組成情報と脂質構造の結晶性を明らかにし、幼児から成人までの年齢を明確に導く事が可能である。

## 論文審査の結果の要旨

本論文では、生体医療科学分野におけるラマン分光学、特に人工生体材料と天然生体材料の配向性について新たな発展を示すことを目的とし、異なる無機材料および有機材料における共焦点ラマン顕微分光法の高多機能性、そしてカソードルミネッセンスとX線解析という2種類の異なる分光分析を結びつけた新計算アルゴリズムを開発および証明を行っている。

ラマン顕微分光法用いて人の肌のエイジングに関する振動特性と化学変化の生物物理的な連携の研究に応用しており、この分光法によるアプローチはタンパク質フォールディングの素性情報と脂質構造の結晶性を明確にし、幼児から成人まで幅広い世代の年齢を正確に高い精度で導くことが可能であると証明している。

以上より、本論文は学術的および工業的にも興味深く、極めて有用であると高く評価できる。本論文作成の基礎となった学術論文5編は、全てレフェリー制度の確立している著名な学術雑誌に掲載されたものであり、内2編は申請者が筆頭著者である。

### 学術論文の基礎となったリスト

- Marco Boffelli, Wenliang Zhu, Michele Back, Gabriele Sponchia, Tommaso Francese, Pietro Riello, Alvise Benedetti and Giuseppe Pezzotti  
“Oxygen hole states in zirconia lattices: quantitative aspects of their cathodoluminescence emission”, The Journal of Physical Chemistry A, 118, pp. 9828-9836, 2014
- Marco Boffelli, Elia Marin, Leonardo Pupplin, Alessandra Doimo, Wenliang Zhu, Nobuhiko Sugano, Ian C. Clarke and Giuseppe Pezzotti  
“Chemically driven tetragonal-to-monoclinic polymorphic transformation in retrieved ZTA femoral heads from dual mobility hip implants”, Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 56, pp. 195-204, 2016
- Giuseppe Pezzotti, Wenliang Zhu, Marco Boffelli, Tetsuya Adachi, Hiroaki Ichioka, Toshiro Yamamoto, Yoshinori Marunaka, Narisato Kanamura  
“Vibrational algorithms for quantitative crystallographic analyses of hydroxyapatite-based biomaterials: I, Theoretical foundations”, Analytical and Bioanalytical Chemistry, 407, pp. 3325-3342, 2015
- Tetsuya Adachi, Giuseppe Pezzotti, Toshiro Yamamoto, Hiroaki Ichioka, Marco Boffelli, Wenliang Zhu, Narisato Kanamura  
“Vibrational algorithms for quantitative crystallographic analyses of hydroxyapatite-based biomaterials: II, application to decayed human teeth”, Analytical and Bioanalytical Chemistry, 407, pp. 3343-3356, 2015
- Giuseppe Pezzotti, Marco Boffelli, Daisuke Miyamori, Takeshi Uemura, Yoshinori Marunaka, Wenliang Zhu, Hiroshi Ikegaya  
“Raman spectroscopy of human skin: looking for a quantitative algorithm to

reliably estimate human age”, Journal of Biomedical Optics, 20 (6), pp. 065008, 2015