รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเรื่อง

การศึกษาและพัฒนาการเคลือบผิวสเตนเลสด้วยไททาเนียมไดออกไซด์ระดับนาโนด้วยเทคนิค รีแอคทีฟ แมกนีตรอนสปัตเตอริง สำหรับประยุกต์ใช้ทางการแพทย์

The study and development of coating titanium dioxide nano films on stainless steel by reactive magnetron sputtering technique for medical applications

ผู้วิจัย

รศ.ดร. วิโรจน์ บุญอำนวยวิทยา

และรายงานนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินงบประมาณ ประจำปี 2553

บทคัดย่อ

ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนผิวสเตนเลส 316L โดยเทคนิค รีแอคทีฟ แมกนีตรอน สปัตเตอริง แก๊สที่ใช้ในการสปัตเตอริงคืออาร์กอนและออกซิเจนซึ่งมีอัตราการไหลที่ 1.0 และ 2.0 sccm ตามลำดับ หลังที่เคลือบแล้วนำฟิล์มบางไทเนียมไดออกไซด์ไปผ่านกระบวนการปรับสภาพด้วยความร้อนหรือด้วยด่าง ในกระบวนการให้ความร้อนตัวอย่างจะถูกให้ความร้อนด้วยอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชม. ส่วนการปรับสภาพด้วยด่างจะใช้ด่างที่ความเข้มข้น 10 M ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชม. หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปแช่ในสารละลาย SBF ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วัน เพื่อทดสอบการเกิดชั้นอปาไทต์บนผิว ผลการทดสอบปรากฏว่าไทเทเนียมไดออดไซด์ที่สังเคราะห์ได้เป็นแบบรูไทล์เท่านั้นซึ่งมีความหนาประมาณ 100 nm นอกจากนั้นยังไม่พบรอยแตกร้าวบนชิ้นงานที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ และชิ้นงานที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อน แต่พบรอยแตกร้าวบนชิ้นงานที่ผ่านการปรับสภาพด้วยด่าง ซึ่งคาดว่าเนื่องจากการเกิด amorphous sodium titanate ชิ้นงานที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพจะเกิดชั้นอปาไทต์แบบสม่ำเสมอ และเมื่อตรวจวัดด้วยเรื่อง EDX พบว่าสัดส่วนเชิงอะตอมของ Ca/P มีค่าใกล้ 1.67 ซึ่งเป็นค่าของอปาไทต์บริสุทธิ์

Abstract

TiO2 thin films deposited on 316L stainless steel substrates have been prepared by an unbalance reactive DC magnetron sputtering. Working gases were Argon and Oxygen whose flow rates were 1.0 and 2.0 sccm, respectively. After deposition, the TiO2 thin films were treated by either a thermal or an alkali treatment. Upon the thermal treatment, coated samples were heated to 600°C for 1h. For the alkali treatment, coated samples were treated with a 10M NaOH at 60°C for 24 h. All treated samples were soaked in 30 ml of a simulated body fluid (SBF) at 37°C for 7 days for demonstration of the bone-like apatite layer on their surfaces. It is found that, TiO2 thin film of only rutile phase with the thickness about of 100 nm could be observing. Non-treated and thermal-treated films showed smooth films without crack while large cracks were observed on the alkali-treated samples where they become an amorphous sodium titanate. The more uniform hydroxyapatite film could only be observed on the non-treated sample. In addition, the EDX analysis showed that the Ca/P atomic ratio nearly that of hydroxyapatite (1.67) was observed for the non-treated sample.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
สารบัญเรื่อง	ข
ตารางสารบัญ	ง
สารบัญภาพ	จ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา	2
1.3 วัตถุประสงค์	4
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ของงานวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 วิวัฒนาการของกระดูกเทียม	6
2.2 สารประกอบไฮดรอกซี่อปาไทท์	11
2.3 การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีสปัตเตอริง	15
บทที่ 3 แนวทางการดำเนินงานวิจัย	
3.1 บทนำ	43
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	43
3.3 สารเคมี	44
3.4 เครื่องสปัตเตอริงที่ใช้ในการทดลอง	44
3.5 การเคลือบ Titanium และ Titanium dioxide บนผิวของ 316L Stainless	47
3.6 การปรับปรุงผิวฟิล์มบาง Titanium Dioxide	53
3.7 การเตรียมสารละลาย Simulated Body Fluid (SBF)	55
3.8 การศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มบาง Titanium Dioxide ทั้งก่อนและหลังการ Treatment และคุณสมบัติของสารประกอบ Hydroxyapatite (HAp) บนผิวฟิล์มแต่ละชนิด	57

บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัยและข้อวิจารณ์

4.1 การศึกษาคุณลักษณะของฟิล์มบาง Titanium Dioxide ที่สังเคราะห์โดย DC Unbalance Magnetron Sputtering 59

4.2 การศึกษาคุณลักษณะของฟิล์มบาง Titanium Dioxide ที่สังเคราะห์โดยDC Unbalance Magnetron Sputtering หลังผ่านการ Treatment 69

4.3 การเกิดสารประกอบ Hydroxyapatite (HAp) บนผิวฟิล์ม 76

4.4 การเปรียบเทียบการเกิดสารประกอบ Hydroxyapatite (HAp) บนผิวฟิล์มแต่ละชนิด 92

บทที่ 5 สรุปการทดลองและข้อเสนอแนะ 96

เอกสารอ้างอิง 97

ผลงานตีพิมพ์ 101

ตารางสารบัญ

หน้า

ตารางที่ 2.1 สารประกอบแคลเซียมฟอสเฟตชนิดต่างๆ 13
ตารางที่ 2.2 ความเข้มข้นไอออนของ human blood plasma, SBF และ m-SBF 14
ตารางที่ 2.3 พลังงานขีดเริ่มของเป้าสารเคลือบชนิด 19
ตารางที่ 2.4 สปัตเตอร์ยีลด์ 22
ตารางที่ 2.5 แสดง normal glow และ abnormal glow discharge ของแก๊สแต่ละชนิด 27
ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้สำหรับเคลือบฟิล์มบาง Titanium Dioxide 52

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 ตัวอย่าง Internal Fixation 7

รูปที่ 2.2 ตัวอย่าง Joint prostheses 8

รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการใช้งานของกระดูกและข้อต่อเทียมส่วนต่างๆ ของร่างกาย 9

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการใช้งานกระดูกเทียมและข้อต่อเทียมบริเวณช่วงแขน 10

รูปที่ 2.5 ภาพก่อนและหลังใส่กระดูกเทียม 10

รูปที่ 2.6 กราฟเอ็กซ์เรย์ของกระดูกและสารประกอบอปาไทท์ชนิดต่างๆ 12

รูปที่ 2.7 แสดงกลไกการเกิดอปาไทท์บนผิวไทเทเนียม 15

รูปที่ 2.8 ภาพ SEM บนผิวของไทเทเนียมหลังจากแช่ใน SBF 7 วัน (A) amorphous, (B) Anatase และ (C) Rutite 15

รูปที่ 2.9 อันตรกิริยาระหว่างไอออนและผิวเป้าสารเคลือบ 17

รูปที่ 2.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไอออนและอัตราการสปัตเตอริง 19

รูปที่ 2.11 ยีลด์ของทองแดงที่ถูกชนด้วยไอออนจากแก๊สอาร์กอนที่พลังงานต่างๆ 21

รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างสปัตเตอร์ยีลด์ และเลขอะตอมของ impingment ของ Ar^+, Ne^+ และ Hg^+ 21

รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างสปัตเตอร์ยีลด์ และเลขอะตอมของ impingment ของ Ar^+, Ne^+ และ Hg^+ 21

รูปที่ 2.14 สปัตเตอร์ยีลด์ และมุมตกกระทบของไอออนพลังงานสูง 23

รูปที่ 2.15 มุมตกกระทบ และอนุภาคของสปัตเตอร์จากเป้าสารเคลือบหลายผลึก 23

รูปที่ 2.16 (A) การกระจายค่าพลังงานของอะตอมทองแดงที่ถูกสปัตเตอร์จากไอออนของแก๊ส Kr ที่พลังงานต่างๆ
(B) เปรียบเทียบการกระจายค่าความเร็วของอะตอมทองแดงที่ได้จากการระเหยสารและจากการสปัตเตอริง 24

รูปที่ 2.17 (A) พลังงานเฉลี่ยของอะตอมสารเคลือบที่มีค่าเลขอะตอมต่างๆ เมื่อถูกชนด้วยไอออนของ Kr พลังงาน 1200 eV ที่พลังงานต่างๆ
(B) ความเร็วเฉลี่ยของอะตอมสารเคลือบที่มีค่าเลขอะตอมต่างๆ เมื่อถูก 25

ชนด้วยไอออนของ Kr พลังงาน 1200 eV
รูปที่ 2.18 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรดของกระบวนการเกิด ดีซี โกลว์ดีสชาร์จ ในหลอดสุญญากาศบรรจุแก๊สนีออน 26
รูปที่ 2.19 ค่า Cathode fall ของ abnormal glow discharge 27
รูปที่ 2.20 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าทะลายและผลคูณระหว่างความดัน (p) และระยะระหว่างอิเล็กโทรด (d) 28
รูปที่ 2.21 ช่วงดีสชาร์จต่างๆ 29
รูปที่ 2.22 โกลว์ดีสชาร์จ 29
รูปที่ 2.23 โกลด์ดิสชาร์จ ของหลอดแก๊สนีออนยาว 50 cm ที่ความดัน 1.33 mbar 30
รูปที่ 2.24 ระบบสปัตเตอริงแบบ ดีซี สปัตเตอริง 32
รูปที่ 2.25 ผลของความดันในระบบที่มีผลต่ออัตราเคลือบ ค่ายีลด์และกระแสไฟฟ้าในระบบสปัตเตอริงของนิเกิลที่ใช้แรงดันไฟฟ้า 3,000 V ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่วางห่างกัน 4.5 cm 33
รูปที่ 2.26 ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่านสนามแม่เหล็ก 34
รูปที่ 2.27 การเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามต่างๆ โดยที่
a, b, c เป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุในสนามแม่เหล็กอย่างเดียว
d, e เป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุในสามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าร่วมกันในลักษณะต่างๆ 35
รูปที่ 2.28 การเคลื่อนที่ของอนุภาคอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็ก 36
รูปที่ 2.29 การจัดสนามแม่เหล็กและแนวการกัดกร่อนของเป้าสารเคลือบ ในระบบพลานาร์แมกนีตรอน สปัตเตอริง 37
รูปที่ 2.30 ลักษณะเส้นแรงแม่เหล็กของระบบอันบาลานซ์ แมกนีตรอน สปัตเตอริง 39
รูปที่ 2.31 ลักษณะพลาสมาของระบบสปัตเตอริง 40
รูปที่ 2.32 การเกิดปฏิกิริยารวมตัวเป็นสารประกอบแก๊สไวปฏิกิริยากับอะตอมเป้าสารเคลือบในบริเวณต่างๆ 41
รูปที่ 3.1 เครื่องดีซี อันบาลานซ์ แมกนีตรอน สปัตเตอริง 44
รูปที่ 3.2 ภาชนะสุญญากาศสำหรับเคลือบฟิล์ม 45

รูปที่ 3.3 ลักษณะภายในของคาโทดของระบบเคลือบ 46
รูปที่ 3.4 ไดอะแกรมแสดงระบบปั๊มสุญญากาศ ของระบบเคลือบสปัตเตอริง 48
รูปที่ 3.5 ไดอะแกรมแสดงการปั๊มอากาศออกจาก diffusion pump โดยใช้ rotary pump 49
รูปที่ 3.6 ไดอะแกรมการสร้างสภาวะสุญญากาศขั้นต้นในภาชนะสุญญากาศ 50
รูปที่ 3.7 ไดอะแกรมการสร้างสภาวะ high vacuum ในภาชนะสุญญากาศ 51
รูปที่ 3.8 ไดอะแกรมระบบเคลือบแบบ DC reactive Magnetron Sputtering 52
รูปที่ 4.1 XRD Pattern: (a) 316L Stainless Steel ที่ยังไม่ผ่านการเคลือบผิว (b) 316L Stainless Steel ที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย Titanium Dioxide โดยใช้อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน 1:2 (sccm) 61
รูปที่ 4.2 XRD Pattern มาตรฐานของ Titanium Dioxide เฟส Rutile 61
รูปที่ 4.3 XRD Pattern ของฟิล์มบาง Titanium Dioxide เคลือบด้วย DC Unbalance Magnetron Sputtering ที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน: (a) 1:2, (b) 1:3, (c) 1:4 และ(d) 0.5:4 sccm (•: TiO2-Rutile ระนาบ (110)) 62
รูปที่ 4.4 EDX spectrum ของฟิล์มบาง Titanium Dioxide เคลือบด้วย DC Unbalance Magnetron Sputtering ที่อัตราส่วนการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน: (a) 1:2, (b) 1:3, (c) 1:4 และ (d) 0.5:4 sccm 63
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง สัดส่วนอะตอม (Atomic Ratio) ของออกซิเจน ต่อ Titanium จากQuantitative Analysis ด้วย EDX และอัตราส่วนของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจนที่ใช้ในการสังเคราะห์ฟิล์มบาง Titanium Dioxide ด้วย DC Unbalance Magnetron Sputtering 65
รูปที่ 4.6 AFM Nanograph ของฟิล์มบาง Titanium Dioxide ที่เคลือบด้วย DC Unbalance Magnetron Sputtering ที่อัตราส่วนการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน: (a) 1:2 และ (b) 0.5:4 sccm 66
รูปที่ 4.7 AFM Nanograph ของฟิล์มบาง Titanium Dioxide บริเวณที่ใช้วัดความหนา ที่เคลือบด้วยDC Unbalance Magnetron Sputtering ที่อัตราส่วนการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน 1:2 sccm 67
รูปที่ 4.8 การวิเคราะห์ความหนาของฟิล์มบาง Titanium Dioxide ที่เคลือบด้วย DC Unbalance Magnetron Sputtering ที่อัตราส่วนการไหลของแก๊สอาร์กอน 67

ต่อออกซิเจน 1:2 sccm ด้วย AFM
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน และความหนาของฟิล์ม Titanium Dioxide (nm) ที่สังเคราะห์ได้ 68
รูปที่ 4.10 SEM Micrograph ของฟิล์มบาง Titanium Dioxide ที่เคลือบด้วย DC Unbalance Magnetron Sputtering ที่อัตราส่วนการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน: (a)1:2, (b)1:3, (c)1:4 และ (d)0.5:4 sccm 69
รูปที่ 4.11 SEM Micrograph ของฟิล์มบาง Titanium Dioxide ที่เคลือบด้วย DC Unbalance Magnetron Sputtering ที่อัตราส่วนการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน: (a)1:2, (b)1:3, (c)1:4 และ (d)0.5:4 sccm หลังผ่านการ Thermal Treatment 70
รูปที่ 4.12 XRD Pattern ของฟิล์มบาง Titanium Dioxide ที่เคลือบด้วย DC Unbalance Magnetron Sputtering ที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน 0.5:4 sccm: (a) ก่อน และ (b) หลัง Thermal Treatment ที่ขยายสเกลแล้ว (•: TiO2-Rutile ระนาบ (110)) 71
รูปที่ 4.13 XRD Pattern ของฟิล์มบาง Titanium Dioxide เคลือบด้วย DC Unbalance Magnetron Sputtering ที่อัตราส่วนการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน: (a)1:2, (b)1:3, (c)1:4 และ(d)0.5:4 sccm หลังผ่านการ Thermal Treatment (•: TiO2-Rutile ระนาบ (110)) 72
รูปที่ 4.14 SEM Micrograph ของฟิล์มบาง Titanium Dioxide ที่เคลือบด้วย DC Unbalance Magnetron Sputtering ที่อัตราส่วนการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน: (a)1:2, (b)1:3, (c)1:4 และ (d)0.5:4 sccm หลังผ่านการ Alkali Treatment 73
รูปที่ 4.15 XRD Pattern ของฟิล์มบาง Titanium Dioxide ที่เคลือบด้วย DC Unbalance Magnetron Sputtering ที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน 0.5:4 sccm: (a) ก่อน และ (b) หลัง Alkali Treatment ที่ขยายสเกลแล้ว (•: TiO2-Rutile ระนาบ (110)) 74
รูปที่ 4.16 EDX spectrum ของฟิล์มบาง Titanium Dioxide ที่เคลือบด้วย DC Unbalance MagnetronSputtering ที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน 0.5:4 sccm: (a) ก่อน และ (b) หลัง Alkali Treatment 75

รูปที่ 4.17 XRD Pattern ของฟิล์มบาง Titanium Dioxide ที่เคลือบด้วย DC Unbalance Magnetron Sputtering ที่อัตราส่วนการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน: (a)1:2, (b)1:3, (c)1:4 และ (d)0.5:4 sccm หลังผ่านการ Alkali Treatment (•: TiO2-Rutile ระนาบ (110)) 76

รูปที่ 4.18 XRD Pattern ของฟิล์ม Titanium Dioxide ที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน:(a) 1:2, (b) 1:3, (c) 1:4 และ (d) 0.5:4 sccm หลังจากจุ่มในสารละลาย SBF (: HAp, • :TiO2-Rutile ระนาบ (110)) 77

รูปที่ 4.19 XRD Pattern มาตราฐานของสารประกอบ Hydroxyapatite (HAp) 77

รูปที่ 4.20 SEM Micrographs ของ HAp ที่เกิดบนฟิล์มบาง Titanium Dioxide ที่เตรียมด้วยอัตราส่วนการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน 1:2 (sccm): (a) ขยาย 700 เท่า และ (b) ขยาย10000 เท่า

รูปที่ 4.21 SEM Micrographs ของ HAp ที่เกิดบนฟิล์มบาง Titanium Dioxide ที่เตรียมด้วยอัตราส่วนการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน 1:3 (sccm): (a) ขยาย 700 เท่า และ (b) ขยาย10000 เท่า 80

รูปที่ 4.22 SEM Micrographs ของ HAp ที่เกิดบนฟิล์มบาง Titanium Dioxide ที่เตรียมด้วยอัตราส่วนการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน 1:4 (sccm): (a) ขยาย 700 เท่า และ (b) ขยาย10000 เท่า 81

รูปที่ 4.23 SEM Micrographs ของ HAp ที่เกิดบนฟิล์มบาง Titanium Dioxide ที่เตรียมด้วยอัตราส่วนการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน 0.5:4 (sccm): (a) ขยาย 700 เท่า และ (b) ขยาย10000 เท่า 82

รูปที่ 4.24 EDX Quantitative Analysis ของกลุ่มก้อน HAp ที่เกิดบนฟิล์มบาง Titanium Dioxide ที่เตรียมด้วยอัตราส่วนการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน 0.5:4 (sccm) 83

รูปที่ 4.25 EDX Quantitative Analysis ของฟิล์ม HAp ที่อยู่ด้านล่างกลุ่มก้อน HAp ที่เกิดบนฟิล์มบางTitanium Dioxide ที่เตรียมด้วยอัตราส่วนการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน 0.5:4 (sccm) 84

รูปที่ 4.26 EDX Quantitative Analysis ของฟิล์ม HAp ชั้นล่างสุดที่เกิดบนฟิล์มบาง Titanium Dioxide ที่เตรียมด้วยอัตราส่วนการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน 0.5:4 (sccm) 85

รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ของ Ca/P (Atomic ratio) และบริเวณที่ทำการ Quantitative Analysis ของHAp ที่เกิดบนฟิล์มบาง Titanium Dioxide ที่เตรียมด้วยอัตราส่วนการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจนเท่ากับ 0.5:4 (sccm) 85

รูปที่ 4.28 XRD Patterns ของฟิล์มบาง Titanium Dioxide ที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน: (a)1:2, (b)1:3, (c)1:4 และ (d)0.5:4 ที่ผ่าน Thermal Treatment และจุ่มในสารละลาย SBF (: HAp, • : TiO2-Rutile) 87

รูปที่ 4.29 SEM Micrographs ของฟิล์มบาง Titanium Dioxide ที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน: (a) 1:2, (b) 1:3, (c) 1:4 และ (d) 0.5:4 ที่ผ่าน Thermal Treatment และจุ่มในสารละลาย SBF 88

รูปที่ 4.30 XRD Pattern ของฟิล์มบาง Titanium Dioxide ที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน: (a)1:2, (b)1:3, (c)1:4 และ (d)0.5:4 ที่ผ่าน Alkali Treatment และจุ่มในสารละลาย SBF (: HAp) 90

รูปที่ 4.31 SEM Micrographs ของฟิล์มบาง Titanium Dioxide ที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน: (a)1:2, (b)1:3, (c)1:4 และ (d)0.5:4 ที่ผ่าน Alkali Treatment และจุ่มในสารละลาย SBF 92

รูปที่ 4.32 SEM Micrographs ของ Hydroxyapatite ที่เกิดบนผิวของฟิล์ม Titanium Dioxide ที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน 0.5:4 (sccm) 3 ชนิด: (a) non-treated film, (b)Alkali-treated film และ (c) Thermal-treated film 94

รูปที่ 4.33 Quantitative EDX Analysis ของ Hydroxyapatite ที่เกิดบนผิวของฟิล์ม Titanium Dioxide ที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน 0.5:4 (sccm) 3 ชนิด: (a) non-treated film, (b) Alkali-treated film และ (c) Thermal-treated film 95