ผลของดินขาวต่อการเตรียมและขึ้นรูปแผ่นรองวงจรเนื้ออลูมินา ที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายด้วยวิธีด็อกเตอร์เบลด

นางสาว ภัทราวรรณ คหะวงศ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิก ภาควิชาวัสดุศาสตร์
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-639-221-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 18183268

EFFECT OF CLAY ON PREPARATION AND FORMING OF WATER-BASED ALUMINA SUBSTRATE BY DOCTOR BLADE PROCESS

Miss Patarawan Kahawong

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Ceramic Technology
Department of Material Science
Graduate School
Chulalongkorn University

ISBN 974-639-221-2

Academic Year 1997

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของดินขาวต่อการเตรียมและขึ้นรูปแผ่นรองวงจรเนื้ออลูมินา ที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายด้วยวิธีดีอกเตอร์เบลด
โดย	นางสาว ภัทราวรรณ คหะวงศ์
ภาควิชา	วัสดุศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เล็ก อุตตมะศิล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เข็มชัย เหมะจันทร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เล็ก อุตตมะศิล)

.....กรรมการ

(ดร.สมนึก ศิริสุนทร)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพัตรา จินาวัฒน์)

.....กรรมการ

(ดร.สุทิน ดูหาเรืองรอง)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ภัทราวรรณ คหะวงศ์ : ผลของดินขาวต่อการเตรียมและขึ้นรูปแผ่นรองวงจรเนื้ออลูมินาที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายด้วยวิธีดือกเตอร์เบลด (EFFECT OF CLAY ON PREPARATION AND FORMINGOF WATER-BASED ALUMINA SUBSTRATE BY DOCTOR BLADE PROCESS) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.เล็ก อุตตมะศิล, 185 หน้า. ISBN 974-639-221-2

การศึกษาและวิจัยผลของดินขาวต่อการเตรียมและขึ้นรูปแผ่นรองวงจรเนื้ออลูมินาที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายด้วยวิธีดือกเตอร์เบลด มีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราส่วนระหว่างดินขาวและทัลคัมซึ่งเลือกใช้เป็นสารปรับปรุงสมบัติที่จะให้แผ่นรองวงจรคุณภาพดี และสามารถผลิตได้ในระบบน้ำทำให้ไม่เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ดินขาวและทัลคัมทำให้เกิดองค์ประกอบที่เป็นเฟสของเหลวซึ่งจะช่วยให้เกิดการซินเทอริงแบบมีเฟสของเหลว นอกจากนี้ยังศึกษาปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อระบบเช่นชนิดของอลูมินา ตัวเติม อุณหภูมิเผา และ pH ทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่าง ระบบที่ใช้ A-152 SG และไม่เติมสารปรับปรุงสมบัติ ระบบที่ใช้ A-152 SG แมกนีเซีย 0.5 ปอร์เซ็นต์เป็นสารปรับปรุงสมบัติ ระบบที่ใช้ SCA-96 ซึ่งเป็นอลูมินาที่ผสมสารปรับปรุงสมบัติมาแล้ว และระบบที่ใช้ดินขาวนิวซีแลนด์กับทัลคัมเป็นสารปรับปรุงสมบัติ

พบว่าสเลอรีควรมีอัตราส่วนระหว่างผงเซรามิก (อลูมินา ดินขาว และทัลคัม) ต่อ PVA (สารช่วยการยึดเกาะ) ต่อ PEG (สารเพิ่มความยืดหยุ่น) ต่อ SN 5020 (สารช่วยการกระจายตัว) ต่อ น้ำกลั่น (ตัวทำละลาย) เป็น 100.00 ต่อ 9.00 ต่อ 4.50 ต่อ 2.00 ต่อ 75.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผงเซรามิกตามลำดับ ชนิดและอัตราส่วนของสารช่วยการยึดเกาะและสารเพิ่มความยืดหยุ่นมีความสำคัญต่อสมบัติของสเลอรีมาก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแผ่นที่มีสมบัติดีที่สุดคือแผ่นที่มีอัตราส่วนระหว่างอลูมินาต่อสารปรับปรุงสมบัติเป็น 93 ต่อ 7 และมีอัตราส่วนระหว่างดินขาวนิวซีแลนด์ต่อทัลคัมเป็น 1 ต่อ 2 ซึ่งสัดส่วนดังกล่าวทำให้เกิดองค์ประกอบที่เป็นลิควิดเฟส ทำให้สามารถซินเทอริงได้ที่ 1550 องศาเซลเซียส ตรวจพบเฟสสปิเนลด้วยวิธี X-rays Diffraction แผ่นที่ได้มีความหนาแน่น 3.62 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร มีความพรุนปรากฏ 0.92 เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ 0.25 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าไดอิเลกตริก 13.62

ภาควิชา วัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต ภัทราวรรณ คหะวงศ์

สาขาวิชา เทคโนโลยีเซรามิก ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C826303 : MAJOR CERAMIC TECHNOLOGY
KEY WORD: ALUMINA / SUBSTRATE / DOCTOR BLADE / NEW ZEALAND CLAY

PATARAWAN KAHAWONG : EFFECT OF CLAY ON PREPARATION AND FORMING OF WATER-BASED ALUMINA SUBSTRATE BY DOCTOR BLADE PROCESS. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. LEK UTAMASIL, Ph.D.

185 pp. ISBN 974-639-221-2

The effects of dopants on tape casting alumina substrate by using water-based system were carried out. New Zealand clay and talcum were used as the doped materials to find the best ratio between clay and talcum in order to get a good quality alumina substrate. Water-based system is used in order not to be harmful to the environment. The other parameters such as different types of alumina, additives, sintering temperature and pH were also studied by comparing in four different systems: alumina A-152 SG without any dopants, A-152 SG with 0.5% MgO, alumina SCA-96 (already mixed with dopants) and alumina A-152 SG with clay and talcum in different ratios.

The result showed that an appropriate composition of good slurry for casting by doctor blade process was ceramic powder (alumina, clay, talcum) PVA (binder), PEG (plasticizer), SN 5020 (dispersant), distilled water in the ratio of 100.00, 9.00, 4.50, 2.00, 75.00 wt.% of ceramic powder respectively. Investigating on factors affacting substrate properties revealed that the ratio between binder and plasticizer is very important factor for slurry preparation. The best ratio for good quality alumina substrate was 93%alumina A-152 SG and 7% doped materials (clay and talcum) with the ratio of clay and talcum 1:2. This ratio could generate liquid phase sintering. XRD showed that spinel occured. The substrate has higher density (3.62 g/cm^3), lower water absoprtion (0.25%), lower apparent porosity (0.92%) and lower dielectric constant (13.62) than system 1, 2 and 3. at 1550 $^\circ$C.

ภาควิชา วัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต ปัตราวรรณ คหาวงศ์

สาขาวิชา เทคโนโลยีเซรามิก ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับคำแนะนำปรึกษาทางด้านวิชาการ และความเอื้อเฟื้อทางด้านสถานที่ เครื่องมือและวัตถุดิบสำหรับงานวิจัย ตลอดจนได้รับความช่วยเหลือแนะแนวทางในด้านต่างๆดังนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.เล็ก อุตตมะศิล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.สมนึก ศิริสุนทร รองศาสตราจารย์ ดร.สุพัตรา จินาวัฒน์ ดร.สุทิน ภูหาเรืองรอง คณาจารย์ภาควิชาวัสดุศาสตร์ทุกท่าน และคุณสิริพรรณ นิลไพรัช ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาทางด้านวิชาการ ให้แนวความคิด และช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนให้กำลังใจจนงานวิจัยสำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่จัดสรรเงินทุนสนับสนุนจากโครงการเครือข่ายอลูมินา ขอขอบพระคุณภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ และ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ สารเคมี และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณ ธนาพรรณ จิระทรัพย์อนันต์ และบริษัทคอมพาวด์เคลย์จำกัด ที่เอื้อเฟื้อดินขาวนิวซีแลนด์ และ ทัลคัมที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณสวลี เสนาพิทักษ์ และเจ้าหน้าที่ของสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงานวิจัย การประสานงาน และให้ความช่วยเหลือด่างๆมาด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณเกศรินทร์ พิมรักษา คุณสุขเกษม กังวานตระกูล คุณศิริรัตน์ รัตนจันทร์ เพื่อนร่วมเรียนที่ช่วยให้คำแนะนำและแนวความคิดต่างๆ คุณยอดหญิง จิตรีขันธ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ พร้อมทั้งกำลังใจมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้ให้การอบรมเลี้ยงดูให้ความรัก และส่งเสริมการศึกษามาอย่างดีและเต็มความสามารถ พี่และน้องที่ให้กำลังใจและความสนับสนุนในทุกๆด้านจนสำเร็จการศึกษา

ภัทราวรรณ คหะวงศ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)..... ง

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญรูป..... ฐ

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 วัตถุประสงค์และขอบเขตงานวิจัย..... 5

1.2 ความสำคัญหรือประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 5

2 วารสารปริทัศน์..... 6

2.1 แผ่นรองวงจรเนื้ออลูมินา..... 7

2.2 โครงสร้างแผ่นรองวงจร..... 12

2.3 แผ่นรองวงจรเนื้ออื่นๆ..... 15

2.4 อลูมินาและสมบัติทั่วไป..... 16

2.4.1 กระบวนการผลิตอลูมินา..... 21

2.4.2 โครงสร้างของแอลฟาอลูมินา..... 23

2.4.3 สมบัติของแอลฟาอลูมินา..... 24

2.5 สารปรับปรุงสมบัติและสมบัติทั่วไป..... 25

2.5.1 กลไกการซินเทอริงแบบมีเฟสของแก้ว..... 25

2.5.2 การเติมสารปรับปรุงสมบัติเพื่อควบคุมการโตของเกรน..... 25

2.5.3 การเติมสารปรับปรุงสมบัติในการผลิตแผ่นรองวงจร แบบแผ่นหนา..... 26

2.5.4 ดินขาวนิวซีแลนด์และทัลคัม..... 27

2.6 การขึ้นรูปด้วยกระบวนการด็อกเตอร์เบลด..... 28

2.6.1 ประวัติการวิจัยและพัฒนากระบวนการด็อกเตอร์เบลด..... 28

2.6.2 ลักษณะของกระบวนการด็อกเตอร์เบลด..... 29

2.6.3 ขั้นตอนของกระบวนการด็อกเตอร์เบลด..... 30

2.6.3.1 การเตรียมสเลอรี (slurry preparation).....30
2.6.3.2 การทำแผ่น (tape preparation).....32
2.6.4 สารเติมแต่งและสมบัติทั่วไป.....33
2.6.4.1 สารช่วยการกระจายตัว (dispersant).....33
2.6.4.2 สารช่วยการยึดเกาะ (binder).....35
2.6.4.3 สารเพิ่มความยืดหยุ่น (plasticizer).....40
2.6.4.4 สารช่วยลดฟอง (defoamer).....42
2.6.4.5 ตัวทำละลาย (solvent).....43
2.7 สมบัติของแผ่นรองวงจรจากแหล่งต่างๆ.....44

3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย.....45
3.1 อุปกรณ์การทดลอง.....45
3.2 วัตถุดิบและสารเคมี.....46
3.2.1 อลูมินา.....47
3.2.2 ดินขาวนิวซีแลนด์.....49
3.2.3 ทัลคัม.....49
3.2.4 แมกนีเซีย.....49
3.2.5 สารเติมแต่ง (additives).....50
3.2.5.1 สารช่วยการกระจายตัว.....50
3.2.5.2 สารช่วยการยึดเกาะ.....50
3.2.5.3 สารเพิ่มความยืดหยุ่น.....50
3.2.5.4 สารลดฟอง.....51
3.2.6 ตัวทำละลาย.....51
3.3 หม้อบดและลูกบด.....51
3.4 วิธีดำเนินการทดลอง.....52
3.4.1 การออกแบบการทดลอง.....53
3.4.1.1 การหาปริมาณสารช่วยการกระจายตัวที่เหมาะสม.....53
3.4.1.2 การหาปริมาณสารช่วยการยึดเกาะ
และสารเพิ่มความยืดหยุ่นที่เหมาะสม.....53
3.4.1.3 ปริมาณสารลดฟองที่เหมาะสม.....56
3.4.1.4 ปริมาณน้ำกลั่นที่เหมาะสม.....57
3.4.1.5 อัตราส่วนของดินขาวและทัลคัม.....58

3.4.1.6 การออกแบบการทดลองเพื่อดูผลของดินขาว
และ ทัลคัม..... 58
3.4.2 การขึ้นรูปแผ่นด้วยกระบวนการดือกเตอร์เบลด.....61
3.4.3 ภาวะในการทดลอง.....62
3.4.3.1 การเตรียมสเลอรี (slurry preparation).....62
3.4.3.2 การบด (ball milling).....62
3.4.3.3 การอบแห้ง (drying).....63
3.4.3.4 การเผาชิ้นงาน (firing)..... 63
3.4.3.5 การเผาปรับสภาพแผ่น (annealing).....63
3.4.4 การตรวจสอบสมบัติของสารตั้งต้น สเลอรี ผลิตภัณฑ์
ก่อนเผาและหลังเผา..... 64
3.4.4.1 การตรวจสอบสมบัติสารตั้งต้น..... 64
3.4.4.2 การตรวจสอบสมบัติสเลอรี.....67
3.4.4.3 การตรวจสอบสมบัติผลิตภัณฑ์ก่อนเผา..... 69
3.4.4.4 การตรวจสอบสมบัติผลิตภัณฑ์หลังเผา.....70

4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 75
4.1 การศึกษาลักษณะเฉพาะของสารตั้งต้น..... 75
4.2 การทดลองหาปริมาณและอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัตถุดิบต่างๆ.....75
4.2.1 การทดลองการตกตะกอน.....75
4.2.2 การทดลองเพื่อหาอัตราส่วนของสารช่วยการยึดเกาะ
และสารเพิ่มความยืดหยุ่น.....76
4.3 การทดลองเพื่อดูผลของดินขาวนิวซีแลนด์และทัลคัม.....93
4.3.1 ผลของการวัดค่าความหนืดและ pH.....94
4.3.2 ผลการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืด
และ pH..... 95
4.3.3 ผลการตรวจสอบแผ่นก่อนเผา..... 98
4.3.4 สมบัติของแผ่นจากการทดลองทั้ง 7 การทดลอง.....101
4.3.4.1 สมบัติของแผ่นจากการทดลองทั้ง 7 การทดลอง.....101
4.3.4.2 ปริมาณออกไซด์ในแต่ละสูตร.....103
4.3.5 ผลการตรวจสอบแผ่นหลังเผา
4.3.5.1 ความหนาแน่นรวม (bulk density).....104
4.3.5.2 การหดตัว (shrinkage).....108

4.3.5.3 ความพรุนปรากฏ (apparent porosity)..... 112
4.3.5.4 การดูดซึมน้ำ (water absorption)..... 114
4.3.5.5 ค่าคงตัวไดอิเลกตริก (dielectric constant)..... 116
4.3.5.6 ผลวิเคราะห์ด้วยวิธี XRD..... 117
4.3.5.7 จุลโครงสร้าง (microstructure)..... 117
4.3.6 เปรียบเทียบสมบัติของแผ่นที่ดีที่สุดกับแผ่นชนิดอื่นๆ..... 118

5 สรุปผลการทดลอง..... 120
5.1 สรุปผลการทดลอง..... 120
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 122
รายการอ้างอิง..... 123
ภาคผนวก..... 126
ประวัติผู้วิจัย..... 185

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

1.1 วัสดุอิเลกทรอนิกส์ของตลาดสหรัฐอเมริกา....1

1.2 ส่วนแบ่งตลาดของวัสดุอิเลกทรอนิกส์ของตลาดสหรัฐอเมริกา....1

2.1 อัตราส่วนขององค์ประกอบต่างๆในการขึ้นรูปแผ่น ของระบบที่ตัวทำละลายไม่ใช้น้ำ....8

2.2 อัตราส่วนขององค์ประกอบต่างๆในการขึ้นรูปแผ่น ของระบบที่ตัวทำละลายเป็นน้ำ....11

2.3 เปรียบเทียบสมบัติของแผ่นรองวงจรเนื้อต่างๆ....15

2.4 ผลิตภัณฑ์อลูมินาประเภทต่างๆ....18

2.5 สารประกอบของอลูมิเนียม ไฮโดรเจน และออกซิเจน....23

2.6 สมบัติของแอลฟาอลูมินา....24

2.7 ชนิดของสารช่วยการยึดเกาะประเภทโพลีไวนิล....37

2.8 สารช่วยการยึดเกาะ สารช่วยการกระจายตัว สารเพิ่มความยืดหยุ่น และตัวทำละลายของระบบที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย (aqoeous system)....38

2.9 สารช่วยการยึดเกาะ สารช่วยการกระจายตัว สารเพิ่มความยืดหยุ่น และตัวทำละลายของระบบที่ใช้ตัวทำละลายเป็นสารอินทรีย์อื่นๆ (non-aqoeous system)....39

2.10 สมบัติของแผ่นรองวงจรจากแหล่งต่างๆ....44

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง....45

3.2 วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง....46

3.3 แสดงสมบัติทั่วไปของอะลูมินา A-152 SG SCA-96 ดินขาวนิวซีแลนด์ และทัลคัม....47

3.4 การออกแบบการทดลองทดสอบการเข้ากันได้ระหว่างสารช่วยยึดเกาะ และสารเพิ่มความยืดหยุ่น....55

3.5 วิธีการและหลักเกณฑ์ที่ใช้เลือกชนิดและปริมาณขององค์ประกอบในสเลอรี....57

3.6 อัตราส่วนของดินขาวและทัลคัม....58

3.7 แสดงองค์ประกอบและอัตราส่วนของสารต่างๆในการเตรียมสเลอรี....59

3.8 แสดงองค์ประกอบและอัตราส่วนของสารต่างๆในการเตรียมสเลอรีเมื่อ อัตราส่วนระหว่างผงเซรามิกกับสารปรับปรุงสมบัติเป็น 90 ต่อ 10....60

หน้า

ตารางที่

3.9 แสดงองค์ประกอบและอัตราส่วนของสารต่างๆในการเตรียมสเลอรีเมื่ออัตราส่วนระหว่างผงเซรามิกกับสารปรับปรุงสมบัติเป็น 93 ต่อ 7 60
4.1 ผลการวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคเฉลี่ย พื้นที่ผิวจำเพาะ และองค์ประกอบทางเคมีของสารตั้งต้น 74
4.2 แสดงผลการหาปริมาณสารช่วยการกระจายตัวที่เหมาะสม 75
4.3 แสดงผลการตรวจสอบความเข้ากันได้ระหว่างสารช่วยการยึดเกาะ (binder, B) และสารเพิ่มความยืดหยุ่น (plasticizer, P) 77
4.4 องค์ประกอบและอัตราส่วนในการเตรียมสเลอรี 79
4.5 พารามิเตอร์ของเครื่องมือดือกเตอร์เบลด 84
4.6 แสดงสมบัติของสเลอรีและแผ่นก่อนเผาเมื่อใช้สารช่วยการยึดเกาะ B1 84
4.7 แสดงสมบัติของสเลอรีและแผ่นก่อนเผาเมื่อใช้สารช่วยการยึดเกาะ B2 86
4.8 แสดงสมบัติของสเลอรีและแผ่นก่อนเผาเมื่อใช้สารช่วยการยึดเกาะ B3 87
4.9 แสดงสมบัติของสเลอรีและแผ่นก่อนเผาเมื่อใช้สารช่วยการยึดเกาะ B4 89
4.10 แสดงสมบัติของสเลอรีและแผ่นก่อนเผาเมื่อใช้สารช่วยการยึดเกาะ B5 91
4.11 สรุปการทดลองเพื่อศึกษาผลของการเติมดินขาวนิวซีแลนด์และทัลคัม 94
4.12 ผลการวัดค่าความหนืด และ pH 94
4.13 สมบัติแผ่นก่อนเผา 99
4.14 สมบัติของแผ่นผ่านการซินเทอริงที่อุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียส 101
4.15 สมบัติของแผ่นผ่านการซินเทอริงที่อุณหภูมิ 1550 องศาเซลเซียส 102
4.16 สมบัติของแผ่นผ่านการซินเทอริงที่อุณหภูมิ 1620 องศาเซลเซียส 102
4.17 ปริมาณออกไซด์ในแต่ละสูตร 103
4.18 การเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นที่ดีที่สุดจากการทดลองเติมสารปรับปรุงสมบัติกับแผ่นจากแหล่งอื่นๆ 118

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

1.1 สัดส่วนของสินค้าอิเลกทรอนิกส์ของสหรัฐอเมริกาของปี 1994.....2

2.1 แผ่นรองวงจรเนื้ออลูมินา.....13

2.2 แสดงวงจรเบ็ดเสร็จที่ใช้แผ่นรองวงจรเนื้ออลูมินา..... 14

2.3 ผลผลิตจากการสกัดแร่บอกไซท์.....19

2.4 การใช้อลูมินาจากกระบวนการบายเออร์ในกระบวนการต่างๆ.....21

2.5 ผลิตภัณฑ์ของอลูมินาเซรามิก.....22

2.6 โครงสร้างของแอลฟ่าอลูมินา..... 23

2.7 แสดงเครื่องมือของกระบวนการดือกเตอร์เบลด.....29

2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของแผ่นหลังเผากับเวลาในการบด.....31

2.9 ขั้นตอนการทำแผ่นด้วยกระบวนการด็อกเตอร์เบลด..... 33

2.10 แสดงกลไก electrostatic stabilization และ steric stabilization..... 34

2.11 แสดงกลไก electrosteric stabilization..... 35

2.12 โครงสร้างของเซลลูโลส..... 36

2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์ด้วยวิธี TMA กับค่า Tg.....40

2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเพิ่มความยืดหยุ่นกับค่า Tg
เมื่อมีสารช่วยการยึดเกาะเป็น PVA.....41

2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของแผ่นกับปริมาณสารเพิ่มความยืดหยุ่น.... 42

3.1 แสดงการกระจายขนาดของอนุภาคอะลูมินา A-152 SG..... 48

3.2 แผนภูมิแสดงขั้นตอนและวิธีการทดลอง..... 52

3.3 เครื่องมือของกระบวนการด็อกเตอร์เบลดส่วนควบคุมความหนา.....61

3.4 เครื่องมือของกระบวนการดือกเตอร์เบลดส่วนขึ้นรูปแผ่น.....62

3.5 เครื่องวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว Flowsorp 2300..... 65

3.6 เครื่องวิเคราะห์หาขนาดและการกระจายของอนุภาค Sedigraph 5100.....66

3.7 pH meter..... 67

3.8 เครื่องวัดความหนืด..... 68

3.9 เครื่อง SEM..... 73

หน้า

รูปที่

4.1 แผ่นที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันสูตรที่สารช่วยยึดเกาะและสารเพิ่มความยืดหยุ่นไม่เข้ากัน....80
4.2 แผ่นที่ยืดหยุ่นมากเกินไป....81
4.3 แผ่นที่มีการหดตัว....82
4.4 แผ่นที่ลอกออกจากแผ่นรองรับพลาสติกได้ไม่สมบูรณ์....82
4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด และ pH ของการทดลองที่ 1....96
4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด และ pH ของการทดลองที่ 3....96
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด และ pHของการทดลองที่ 6....96
4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนืด และ pH ของการทดลองที่ 7....96
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับ pH ของ SN 5020....98
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นรวมกับอุณหภูมิเผา....104
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวด้านกว้างกับอุณหภูมิเผา....108
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวด้านยาวกับอุณหภูมิเผา....109
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวด้านหนากับอุณหภูมิเผา....110
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนปรากฏกับอุณหภูมิเผา....112
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมน้ำกับอุณหภูมิเผา....114
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงตัวไดอิเลกตริกกับอุณหภูมิเผา....116

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย