Journal of Metals, Materials and Minerals. Vol. 7, No. 1, pp. 13 - 20, 1997.

Forming of Electronic Substrate from alumina by Doctor blade Process

Surasak WAITAYAWONGSKUL
Metallurgy and Materials Science Research Institute Chulalongkorn University

Abstract

Substrate is a part of integrated circuit (IC) used in electronic industry. It needs to be a high electrical resistance and high stren material. Now, it made from alumina by forming method called "Doctor Blade Process" which can forming a lower than 1 millimeter thickness substrate, accuracy thickness control and smoothly. Slurry preparation control and firing process are two important factor to made a good quality and no cracking or warping substrate.

การผลิตแผ่นรองวงจรไฟฟ้าที่ทำจากอลูมินาด้วยการขึ้นรูปแบบดอกเตอร์เบลด

สุรศักดิ์ ไวทยวงศ์สกุล
สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

แผ่นรองวงจรเป็นส่วนประกอบหนึ่งของวงจรไฟฟ้ารวม (IC) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอิเลกทรอนิก คุณสมบัติหลักๆ ของแผ่นวงจรก็คือ จะต้องเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีและมีความแข็งแรงสูง ปัจจุบันนี้แผ่นรองวงจรจะผลิตจากอลูมินาโดยวิธีการขึ้นรูปที่เรียกว่า Doctor Blade Process ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถขึ้นรูปแผ่นรองวงจรที่มีความหนาไม่ถึง 1 มิลลิเมตร โดยควบคุมความหนาได้อย่างแม่นยำและมีความเรียบดี สิ่งสำคัญในการขึ้นรูปด้วยวิธีนี้ก็คือ การควบคุมคุณภาพของสเลอรีที่ใช้ในการเทแบบ และขั้นตอนการเผาชิ้นงานเพื่อให้แผ่นรองวงจรที่ได้มีคุณภาพดีไม่เกิดการแตกหักหรือโค้งงอตัว

คำนำ

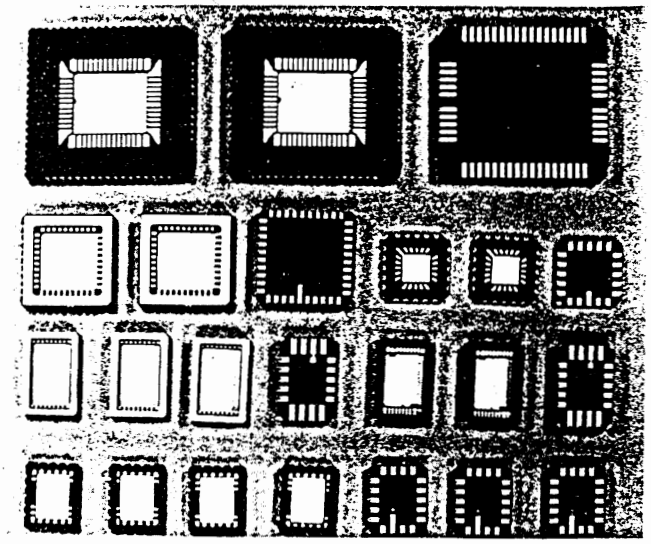
จากการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมอิเลกทรอนิกส์ที่ก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว มีการผลิตวงจรไฟฟ้ารวม (IC) และชิป (Chip) ที่มีขนาดเล็กลงแต่สามารถบรรจุข้อมูลได้มากขึ้นเรื่อยๆ (รูปที่ 1) ส่งผลทำให้ต้องมีการพัฒนาแผ่นรองวงจร (Substrate) ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่เป็นตัวรองรับชิ้นส่วนต่างๆ ตามไปด้วย คุณสมบัติสำคัญๆของแผ่นรองวงจรที่ใช้งานก็คือ จะต้องเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีเพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วไหลออกจากวงจรได้ นอกจากนั้นยังต้องมีการนำความร้อนได้ดีเพียงพอที่จะสามารถระบายความร้อนซึ่งเกิดจากการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าภายในวงจร นอกจากนี้แผ่นรองจะต้องมีความแข็งแรงสูงในระดับความหนาของแผ่น ซึ่งส่วนมากจะไม่เกิน 1 มิลลิเมตร อีกด้วย เท่าที่ได้มีการพัฒนากันมาอลูมินา (Alumina) นับได้ว่าเป็นวัสดุที่มีสมบัติในด้านต่างๆ ที่กล่าวมาครบถ้วน อีกทั้งยังเป็นวัสดุที่สะดวกต่อการขึ้นรูปด้วยวิธีการต่างๆ ได้ โดยสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายไม่มากนักอีกด้วย จึงเป็นวัสดุที่นิยมใช้กันมาจนถึงปัจจุบัน

การขึ้นรูป

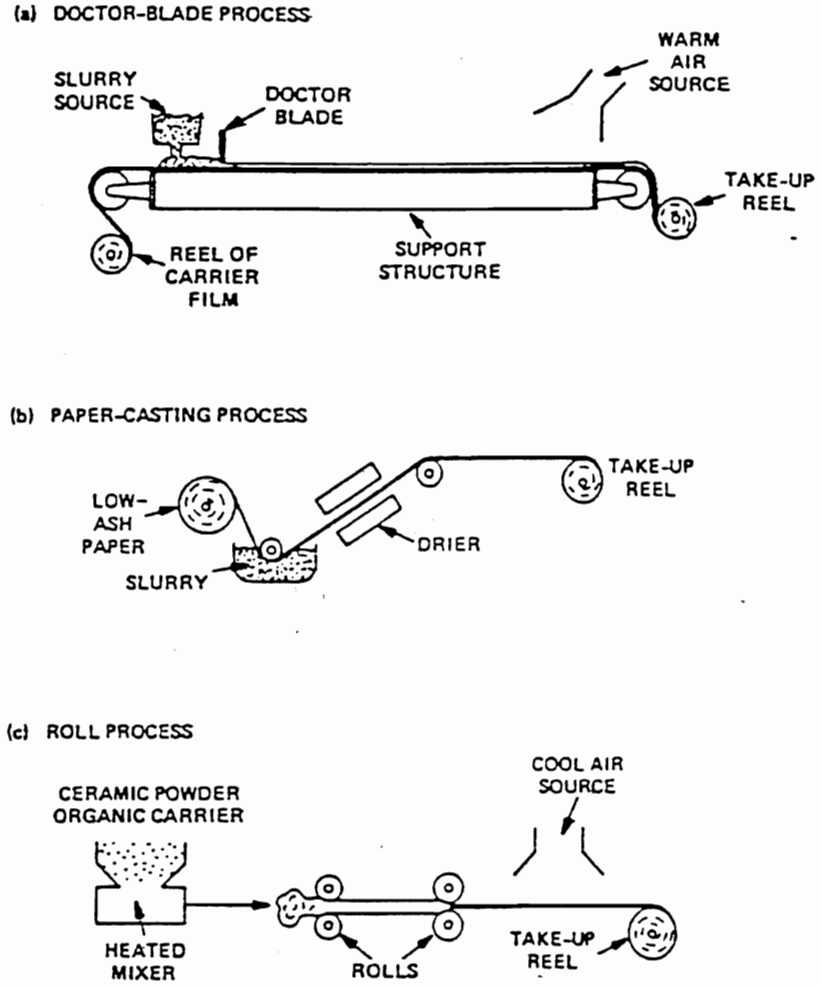
ปัญหาที่สำคัญที่สุดในการผลิต แผ่นรองรับวงจร ก็คือขนาดของแผ่น ซึ่งส่วนมากจะมีความหนาไม่เกิน 1 มิลลิเมตร ไม่สามารถที่จะใช้การขึ้นรูปด้วยวิธีการเดียวกับที่ใช้ในงานด้านเซรามิกส์ทั่วๆ ไป เช่น การอัด (Pressing), การเทแบบ (Slip casting) หรือการรีด (Extruder) ได้ จึงได้มีการพัฒนาวิธีการขึ้นรูปต่างๆ จากการเทแบบธรรมดามาเป็นวิธีการ Tape casting ซึ่งมีหลายวิธีด้วยกัน ได้แก่ Doctor blade casting, Paper roll casting และ Roll process เป็นต้น(รูปที่ 2) ในวิธีที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ วิธี Doctor blade casting นับเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เพราะเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวก สามารถควบคุมขนาด ความหนาและความเรียบของผิวแผ่นรองที่ได้อย่างแม่นยำกว่าอีก 2 วิธี

ขั้นตอนการขึ้นรูปด้วยวิธี Doctor blade casting จะแสดงดังรูปที่ 3 เริ่มต้นจากการเตรียมวัตถุดิบให้อยู่ในสภาพของสเลอรี (Slurry) ที่มีความหนืดพอสมควรเติมสเลอรีที่ได้เข้าไปในเครื่องขึ้นรูป (Casting machine) ซึ่งจะมีใบมีด (blade) 2 ใบวางขนานกันอยู่ โดยตั้งให้มีระยะห่างจากพื้นต่างกันเล็กน้อยใบแรกซึ่งอยู่ด้านใกล้ถังเก็บสเลอรีจะตั้งให้สูงกว่าเพื่อทำหน้าที่ควบคุมการไหลของสเลอรี (ซึ่งจะขึ้นกับระดับความสูงของของเหลวนั้น)ให้สม่ำเสมอก่อนที่จะผ่านไปยังใบมีดที่สอง ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมความหนาของเทปที่ต้องการการขึ้นรูปอาจจะแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบย่อยๆ คือ

1) แบบให้เครื่องขึ้นรูปเคลื่อนที่ไปบนวัสดุรองรับที่หยุดนิ่ง (รูปที่ 4 A) ซึ่งมักจะเป็นแผ่นแก้วขนาดใหญ่พอสมควร วิธีนี้มีข้อจำกัดก็คือเมื่อทำการเทแบบจนกระทั่งเต็มแผ่นวัสดุรองรับแล้วจะต้องหยุดการทำงานเพื่อแยกแผ่นเทปที่ขึ้นรูปแล้วออกไปก่อนจะเทแบบอีกครั้ง จึงเหมาะกับการผลิตในระดับห้องปฏิบัติการณ์เท่านั้น

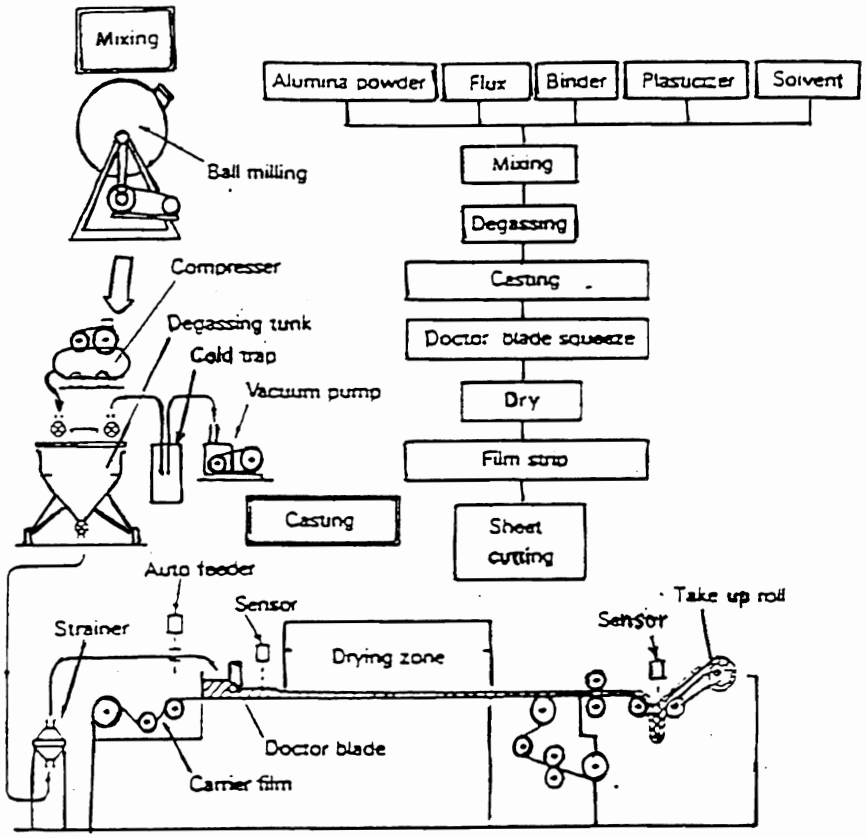


รูปที่ 1 แผ่นรองชิปสำหรับอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ



รูปที่ 2 การขึ้นรูปด้วยวิธี Tape casting แต่ละชนิด

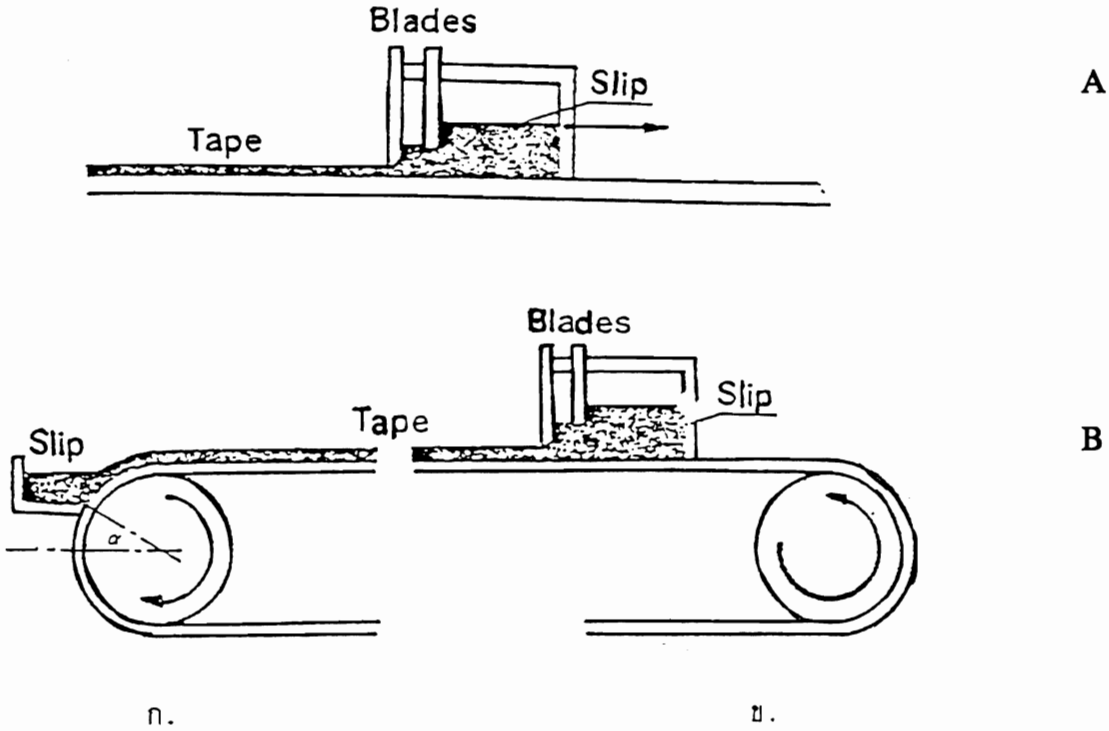
2) แบบให้วัสดุรองรับวิ่งไปตามสายพานผ่านเครื่องขึ้นรูปที่ตั้งอยู่กับที่ (รูปที่ 4 B) โดยวัสดุรองรับอาจจะเป็นสายพานเหล็กที่มีความลื่น หรือฟิล์มพลาสติกที่ เคลือบผิวด้วยสารหล่อลื่น การใช้สายพานเหล็กจะให้เทป ที่มีผิวเรียบดีที่สุด แต่ว่าการซ่อมแซมจะเสียค่าใช้จ่าย สูงกว่า และจะต้องทำการอบแห้งทันทีเพื่อแยกแผ่นเทปออกมาโดยเร็ว ในขณะที่การใช้ฟิล์มมีข้อได้เปรียบที่สามารถตัดแผ่นวัสดุรองรับและนำเข้าอบพร้อมกับแผ่นเทปที่ได้จึงสะดวกและเหมาะสมกับการผลิตในระดับการวิจัยมากกว่า แต่ก็สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อฟิล์มรองรับเช่นกัน โดยการขึ้นรูปแบบที่ 2 นี้สามารถออกแบบให้เป็นระบบต่อเนื่องได้



รูปที่ 3 ขั้นตอนการขึ้นรูปด้วยวิธี Doctor blade casting

การเตรียมสเลอรีจะเริ่มจากการบดผสมให้ส่วนผสมต่างๆ อันประกอบไปด้วยผงอลูมินา, ตัวทำละลายและสารช่วยในการขึ้นรูปชนิดต่างๆ เช่น สารเพิ่มความเหนียว (binder), สารทำให้ยืดหยุ่น (Plasticizer) และสารช่วยในการกระจายตัว(dispersant)เป็นต้น เข้าเป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้หม้อบด (Ball mill) ตัวทำละลายที่ใช้มักจะเป็นสารอินทรีย์จำพวกอะโรมาติกคาร์บอน เช่น โทลูอีน (Toluene), ไซลีน (Xylene) หรือพวกคลอเรท (Chlorated) เช่น ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichlorethylene) เป็นต้น ส่วนการใช้น้ำเป็นตัวทำละลายแม้ว่าจะเตรียมได้ง่ายกว่า แต่ก็จะมีปัญหาในการอบแห้งโดยเฉพาะในกรณีที่เทปมีความหนามากจะทำให้เทปโค้งงอหรือแตกได้ง่าย รวมทั้งสมบัติของเทปที่ได้จะไม่สม่ำเสมอ

พฤติกรรมการไหลตัว (Rheology) ของสเลอรีเป็นสิ่งที่จำเป็นมากต่อการขึ้นรูปด้วยวิธี Doctor blade casting การควบคุมความหนืดของสเลอรีมีความสำคัญมาก เนื่องจากว่าถ้าสเลอรีมีความหนืดต่ำเกินไปจะทำให้ไม่สามารถยึดเกาะคงตัวอยู่บนฟิล์มได้ ในทางตรงกันข้าม สเลอรีที่มีความหนืดสูงเกินไปจะทำให้ผิวหน้าของแผ่นรองรับที่ได้ไม่ราบเรียบเท่าที่ควรโดยทั่วไปแล้วการปรับปรุงค่าความหนืดของสเลอรี



รูปที่ 4 การขึ้นรูปด้วยวิธี Doctor blade casting แบบต่างๆ
(A) แบบให้เครื่องขึ้นรูปเคลื่อนที่ไปบนวัสดุรองที่หยุดนิ่ง
(B) แบบให้วัสดุรองวิ่งไปตามสายพานที่มีเครื่องขึ้นรูปตั้งอยู่กับที่

สามารถทำได้ 2 วิธีคือ การเปลี่ยนความหนาแน่นโดยการเพิ่มหรือลดปริมาณของตัวทำละลายที่ใช้ และการเติมสารที่ใช้ช่วยในการกระจายตัวเพื่อลดการจับตัวของอนุภาคในสเลอรี

ขณะที่ส่วนผสมอยู่ในสภาพสเลอรีนั้น สามารถทำให้เกิดการกระจายลอยตัว (Deflocculation) ได้หลายวิธี วิธีที่นิยมใช้กันก็คือการเพิ่มประจุไฟฟ้าสถิตย์ที่เหมือนกันบนผิวอนุภาคเพื่อให้เกิดแรงผลักกันระหว่างอนุภาค (รูปที่ 5) สารที่ใช้ทำให้เกิดประจุดังกล่าวมักจะเป็นเกลือโซเดียม หรือแอมโมเนียมของกรดที่มีมวลโมเลกุลสูงๆซึ่งมักเป็นกรดอินทรีย์เช่นโซเดียมโพลิอะคริเลต(Sodium polyacrylate) เป็นต้น นอกจากนี้แล้ว การปรับค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของสเลอรีก็จะมีผลต่อการกระจายลอยตัวของวัสดุได้เช่นกัน (รูปที่ 6)

สารช่วยการยึดเกาะ (Binder) เป็นสิ่งจำเป็นต่อการขึ้นรูปวัสดุที่ไม่มีความเหนียว (Non-plastic meterial) เช่น อลูมินาเพื่อให้การขึ้นรูปทำได้ง่ายและผลิตภัณฑ์ดิบ (Greenware) มีความแข็งแรงพอที่จะตกแต่งเคลื่อนย้ายได้ส่วนมากสารที่ใช้จะเป็นพวกสารโพลิเมอร์ชนิดต่างๆ โดยทั่วไปแล้วสารช่วยการยึดเกาะที่ดีควรจะต้องมีสมบัติดังนี้

1.สามารถเพิ่มการยึดเกาะของส่วนผสมได้ดีโดยใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อย

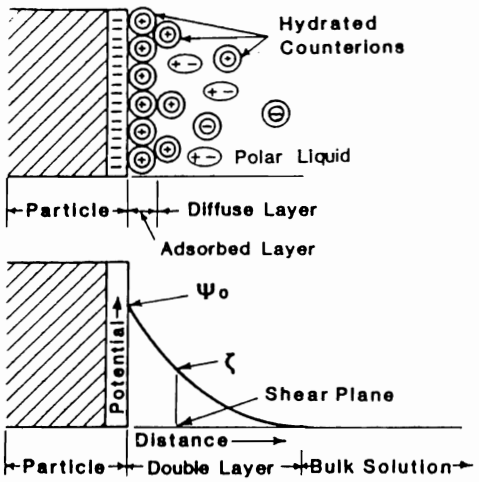
2.ก๊าซที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวไม่เป็นอันตรายต่อคนและชิ้นงาน

3.เมื่อเผาแล้วจะสลายตัวหมดไม่มีสิ่งเจือปนเหลืออยู่ในชิ้นงาน

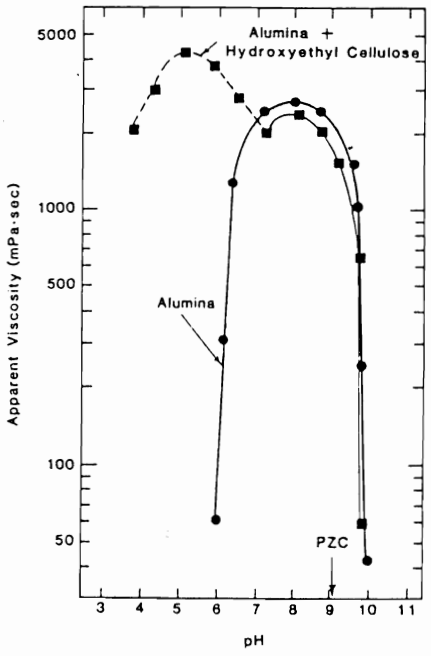
4.ราคาถูก

5.ทนต่อสภาพบรรยากาศเช่น อุณหภูมิและความชื้นได้โดยไม่เสื่อมคุณภาพเมื่ออยู่ในชิ้นงาน

6.สามารถใช้ร่วมกับสารที่ช่วยในการขึ้นรูปชนิดอื่นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

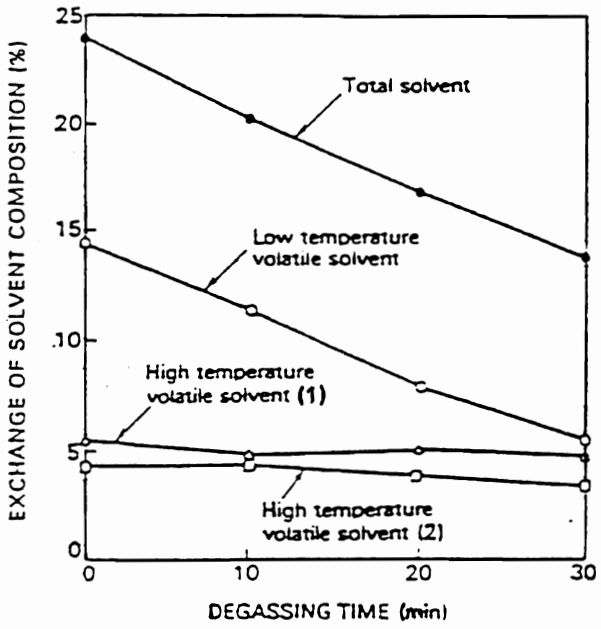


รูปที่ 5 การเกิดประจุไฟฟ้าสถิตย์บนผิวอนุภาค



รูปที่ 6 ผลของค่า pH ที่มีต่ออลูมินาสเลอรี

การบดผสมสเลอรีในบางครั้งจะเกิดฟองอากาศเล็กๆ จำนวนมากเกิดขึ้นภายในสเลอรี ซึ่งจะมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นรองรับที่ได้ อาทิเช่น การเกิดรูพรุนเล็กๆ ที่ผิวของแผ่นรองรับที่ได้เป็นต้น การกำจัดฟองอากาศเหล่านี้สามารถจะกระทำได้โดยการเติมสารไล่ฟอง (Degassing agent) ซึ่งจะทำให้แรงตึงผิวของตัวทำละลายเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ฟองอากาศแตกออกเร็วยิ่งขึ้น สำหรับตัวทำละลายที่เป็นน้ำนั้นสารไล่ฟองที่ใช้ได้แก่ ฟลูออโรคาร์บอน, ซิลิโคน หรือว่าแอลกอฮอลชนิดโมเลกุลสูงๆ เป็นต้น อย่างไรก็ ตาม การไล่ฟองอากาศจะต้องกระทำอย่างระมัดระวังไม่ให้เกิดขึ้นเร็วเกินไปจนเกิดความร้อนขึ้นภายในสเลอรี ซึ่งจะทำให้ความหนาแน่นของสเลอรีผิดไปจากที่ต้องการ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขณะทำการไล่ฟอง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7 ในกรณีที่มีฟองอากาศเกิดขึ้นมากเกินกว่าที่จะกำจัดด้วยสารไล่ฟองได้ อาจจะใช้เครื่องปั๊มดูดอากาศ (Vacuum pump) ช่วยในการกำจัดฟองอากาศออกให้หมดก่อนจะนำสเลอรีไปใช้งาน



รูปที่ 7 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อทำการไล่ฟอง

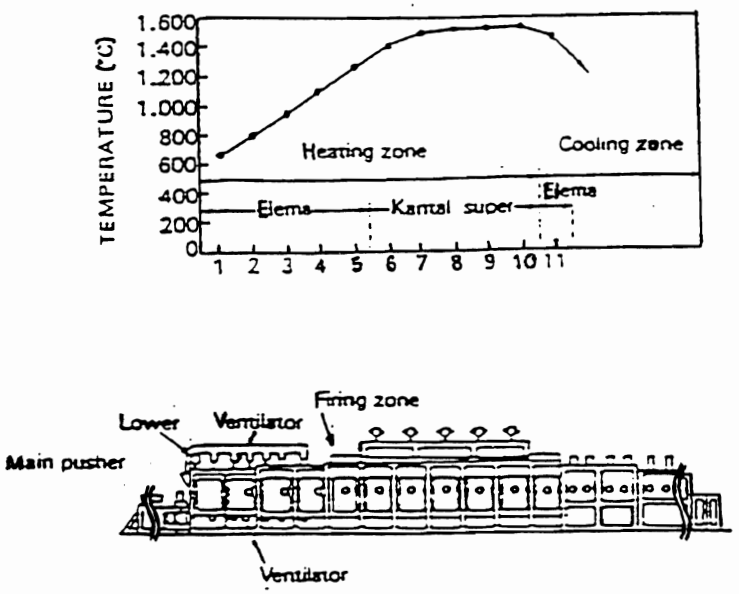
เทปที่ผ่านการขึ้นรูปแล้วจะนำไปเข้าเตาอบเพื่อให้ตัวทำละลายระเหยออกไป จะได้แผ่นเทปที่มีความเหนียวและสามารถที่จะถอดออกจากวัสดุรองรับเพื่อม้วนเก็บเอาไว้เพื่อรอการตัดและพิมพ์ลวดลายตามที่ต้องการ เครื่องขนาดใหญ่จะออกแบบให้มีเตาอบภายในตัวให้เทปที่ผ่านการขึ้นรูปแล้วเคลื่อนที่เข้าสู่ เตาอบได้เลยเพื่อให้สะดวกต่อการทำงาน

โดยทั่วไปแล้ว หลังจากการอบแห้งแล้วความหนาของเทปจะลดลงประมาณครึ่งหนึ่งของความหนาที่ขึ้นรูป การควบคุมการหดตัวให้แม่นยำจึงมีผลต่อความสม่ำเสมอของแผ่นที่ได้ ปัญหาสำคัญที่มักจะพบเสมอในการอบแห้งก็คือการโค้งงอหรือการแตกเนื่องจากการหดตัวของผลิตภัณฑ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นเอง, ส่วนผสมของสเลอรีที่ใช้และอัตราการระเหยของตัวทำละลายออกจากแผ่นเทปที่ขึ้นรูปแล้ว

การเผาผนึก

การเผาผนึก (Sintering) เป็นขบวนการที่จะทำให้อนุภาคในผลิตภัณฑ์ติดกันแน่นและมีความแข็งแรงสูง รวมทั้งเป็นการกำจัดสารอินทรีย์ที่ใช้ในการขึ้นรูปออกไป สารเหล่านี้เมื่อได้รับอุณหภูมิสูงจนถึงระดับหนึ่งก็จะเกิดการรวมตัวกับออกซิเจนในอากาศเกิดเป็นออกไซด์ ตัวอย่างเช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และกลุ่มคาร์บอนิล รวมทั้งการแตกตัวของโมเลกุลขนาดใหญ่กลายเป็นโมเลกุลเล็กๆ ในสภาวะที่เป็นออกซิเดชั่น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจนเข้าใกล้จุดเดือดจะเกิดการระเหยของออกไซด์และสิ่งเจือปนทำให้น้ำหนักของชิ้นงานลดลง แต่หากเผาในบรรยากาศที่ไม่มีออกซิเจน เช่น ในสูญญากาศหรือในก๊าซเฉื่อยแล้ว จะเกิดเฉพาะการแตกตัวของโมเลกุลขนาดใหญ่กลายเป็นโมเลกุลขนาดเล็กๆ และจะระเหยออกไปในที่สุด

การเพิ่มอุณหภูมิในการเผาในช่วงแรกจนถึงอุณหภูมิประมาณ 1,250 °C จะต้องเป็นไปอย่างช้าๆ เพื่อป้องกันการหดตัวอันเนื่องมาจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ที่ใช้ในการขึ้นรูปอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการแตกร้าว (Crack) หรือบิดงอ (Warping) ทำให้ความแข็งแรงลดลง นอกจากนั้นหากการเผาเร็วจนเกินไปอาจจะทำให้สารอินทรีย์ที่มีอยู่สลายตัวไม่ทัน จนทำให้คาร์บอนค้างอยู่ในชิ้นงาน ซึ่งอาจจะทำให้สมบัติของชิ้นงานเปลี่ยนไป ตารางการเผาแผ่นรองรับสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ตารางการเผาแผ่นรองรับอลูมินา

โดยปกติแล้วการเผาอลูมินาบริสุทธิ์ที่มีขนาดอนุภาค 1-3 ไมครอน จะต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 1,700-1,750 องศาเซลเซียสจึงจะถึงจุดสุกตัว ซึ่งสูงกว่าที่ความสามารถของเตาทั่วๆ ไปที่จะทนได้ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องเติมสารช่วยลดจุดสุกตัว (Flux) ลงไปในอลูมินาด้วยเพื่อให้อลูมินาถึงจุดสุกตัวเร็วขึ้น โดยจะทำหน้าที่เร่งให้เกิดเฟสของเหลว (Liquid phase) ในการเผาให้เร็วยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม ชนิดและสมบัติทางเคมีของสารช่วยลดจุดสุกตัวก็จะมีผลต่อสมบัติของอลูมินาด้วย จึงควรต้องเลือกใช้ด้วยความระมัดระวัง สารช่วยลดจุดสุกตัวที่ใช้กับอลูมินาทั่วๆ ไปได้แก่ แมกนีเซีย (MgO), แคลเซียมออกไซด์ (CaO) หรือทัลค์ (Talc, $3MgO.4SiO_2.H_2O$) เป็นต้น โดยที่ได้รับความนิยมที่สุดคือแมกนีเซียซึ่งนอกจากจะช่วยลดอุณหภูมิในการเผาแล้วยังช่วยในการขัดขวางการโตของเกรน (Grain growth) ของอลูมินาได้อีกด้วยโดยจะผสมในปริมาณร้อยละ 0.259 - 4.00 โดยน้ำหนักของอลูมินา

แผ่นรองวงจรที่เผาแล้วจะนำมาตรวจสอบคุณภาพในด้านต่างๆ อาทิเช่น ขนาด, รอยแตก และการบิดงอ รวมทั้งตำหนิอื่นๆ เช่นรูพรุน, จุดด่างดำและสี เป็นต้น แผ่นรองรับที่มีการบิดงอเพียงเล็กน้อยอาจจะดัดให้ตรงได้ด้วยการเผาอบ(Annealing) ที่อุณหภูมิต่ำกว่าการเผาปกติ คือที่ประมาณ 1,450°C โดยใช้ก้อนอลูมินาที่มีน้ำหนักมาพอสมควรมาวางทับส่วนที่ปิดงอเพื่อให้แผ่นรองรับคืนรูปเป็นแผ่นที่ราบเรียบได้ นอกจากนี้แล้วยังจะต้องตรวจสมบัติในด้านการใช้งาน เช่น ความแข็งแรง, การดูดซึมน้ำ, การขยายตัวเมื่อได้รับความและความต้านทานไฟฟ้า เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

Hyatt, T. P. 1995. Electronics :Tape casting roll compaction. American Ceramic Society Bulletin. 74(10) : 56 - 59.

Reed, J. S. 1988. Introduction to the principle of ceramic processing. Wiley & sons. Co. Ltd.

Ueyama,T. and Wada, H. 1988. Alumina ceramic substrates, Advanced Ceramics. In: Saito, S. (eds) Oxford Science Publications. : 184 - 200.

สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2536."การผลิตแผ่นรองรับอะลูมินาสำหรับใช้งานไมโครอิเลกทรอนิกส์".วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

(Revised version accepted October 1, 1997.)