

การศึกษาการพัฒนาฟิล์มซิลิกอนคาร์ไบด์จากขยะชีวภาพที่เคลือบบนแผ่นโลหะ ด้วยเทคนิคการพ่นเคลือบ

Study on the Development of Silicon Carbide Film from Bio-waste Coated on Metal Plates by Spray Coating Technique.

วัชรกร วงศ์คำจันทร์¹, สุพรรณิการ์ ชนะนิล², ปฐมพงศ์ ชนะนิล^{1*}

Wacharagon Wongkamjan¹, Supannika Chananil², Patompong Chananil^{1*}

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและเทคโนโลยี คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด

¹Department of Science and Technology, Faculty of Liberal Arts and Science, Roi Et Rajabhat University

²สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด

²Mathmatic Program, Faculty of Education, Roi Et Rajabhat University

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการเพิ่มขึ้นของขยะชีวภาพที่เหลือจากอุตสาหกรรมเกษตรเป็นจำนวนมาก จนทำให้เกิดปัญหาในการจัดการกับขยะเหล่านี้ขึ้น จึงมีการศึกษาการใช้ประโยชน์จากขยะชีวภาพมากขึ้น เพื่อลดปริมาณและเพิ่มมูลค่าของขยะชีวภาพเหล่านี้ ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์จากขยะชีวภาพด้วยการนำมาเตรียมฟิล์มซิลิกอนคาร์ไบด์เคลือบบนผิวโลหะเพื่อเพิ่มความแข็งให้กับพื้นผิว ซึ่งสามารถเตรียมได้โดยการบดผงซิลิกาที่เตรียมจากแกลบผสมกับผงคาร์บอนที่เตรียมจากเปลือกทุเรียน ด้วยอัตราส่วนของซิลิกาต่อคาร์บอน 1 : 2 โดยน้ำหนัก แล้วเผาที่อุณหภูมิ 1,300 ถึง 1,500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของแก๊สอาร์กอน เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โครงสร้างของตัวอย่างที่ได้จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ โดยโครงสร้างจะเปลี่ยนจากซิลิกาเป็นซิลิกอนคาร์ไบด์ที่อุณหภูมิ 1,500 องศาเซลเซียส ซึ่งจะได้ผงซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีโครงสร้างแบบบีตา (β -SiC) จากนั้นนำผงซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมกับสารละลาย PVA แล้วนำไปเคลือบบนผิวโลหะด้วยวิธี พ่นเคลือบ ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของฟิล์มคือความเข้มข้นของสารละลาย เมื่อเตรียมฟิล์มด้วยความเข้มข้นของสารละลายที่เหมาะสม พบว่าฟิล์มซิลิกอนคาร์ไบด์จะยึดเกาะบนพื้นผิวโลหะได้ดี และช่วยเพิ่มความแข็งของพื้นผิวโลหะที่เคลือบสูงขึ้นเกือบ 4 เท่า บนพื้นผิวสแตนเลส 304 โดยฟิล์มที่ได้มีความหนาประมาณ 12.54 ไมโครเมตร

คำสำคัญ: ผงซิลิกา ผงซิลิกอนคาร์ไบด์ ฟิล์มซิลิกอนคาร์ไบด์ ขยะชีวภาพ

* Corresponding author: p_chananil@reru.ac.th

Abstract

Nowadays, there is a large increase in bio-waste left over from the agricultural industry, causing problems in dealing with these wastes. Therefore, more studies on the utilization of bio-waste are being studied to reduce the amount and increase the value of these bio-wastes. This research aims to study the utilization of bio-waste by preparing a silicon carbide film coated on the metal surface to increase the surface hardness. This can be prepared by grinding silica powder prepared from rice husks with carbon powder prepared from durian peel at a ratio of silica to carbon 1: 2 by weight and then calcining at 1300 to 1500 °C under argon gas atmosphere for 2 hours. The structure of the resulting sample changes with temperature, with the structure gradually changing from silica to silicon carbide at 1500 °C, producing a silicon carbide powder with beta structure (β -SiC). The silicon carbide powder is then mixed with PVA solution and coated on the metal surface by spray coating technique. The factor affecting film quality is the concentration of the solution. When the film was prepared with the appropriate solution concentration, the silicon carbide film had good adhesion on the metal surface and increased the hardness of the metal surface by almost four times higher on the 304 stainless steel surfaces. The film has a thickness of about 12.54 micrometers.

Keywords: Silica powder, Silicon carbide powder, Silicon carbide films, Bio-Waste

1. บทนำ

ซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) หรือที่รู้จักกันในชื่อของ คาร์บอร์ันด์ม (Carborundum) หรือโมซานท์ (Moissanite) เป็นสารประกอบในสถานะของแข็งที่ประกอบไปด้วยคาร์บอน 50% และซิลิกอน 50% สารประกอบชนิดนี้พบได้น้อยมากในธรรมชาติ สถานที่ที่พบบ่อยมักจะเป็นสถานที่จำเพาะทางธรณีวิทยา เช่น แหล่งหินที่มีสารประกอบของเพชร หินคิมเบอร์ไลต์ หรือแม้กระทั่งในหินอุกกาบาตบางชนิด ดังนั้น SiC ที่จำหน่ายอยู่ตามท้องตลาดโดยแท้จริงแล้วได้มาจากการสังเคราะห์เกือบทั้งหมด วัสดุชนิดนี้เป็นทั้งเซรามิกและสารกึ่งตัวนำซึ่งมีคุณสมบัติที่ดีเยี่ยม เช่น ความแข็งซึ่งเกือบเทียบเท่าความแข็งของเพชร มีสภาพเฉื่อยทางเคมี มีความทนทานต่ออุณหภูมิสูง การออกซิไดซ์ต่ำและทนต่อสภาพแวดล้อมที่รุนแรง นอกจากนี้ ยังมีค่าสภาพนำความร้อนที่สูง (Wang, F. et al., 2017)

จากสมบัติของซิลิกอนคาร์ไบด์ที่ได้กล่าวมาข้างต้น หากสามารถปลูกฟิล์มซิลิกอนคาร์ไบด์เคลือบบนชิ้นส่วนโลหะที่ต้องอยู่ในสภาพแวดล้อมที่รุนแรง มีการเสียดสีในการใช้งาน ต้องรับความร้อนสูง ๆ เช่น ชิ้นส่วนเครื่องยนต์ ชิ้นส่วนเครื่องจักรทางการเกษตร เป็นต้น จะสามารถช่วยยืดอายุการใช้งานของชิ้นส่วนเหล่านี้ได้

จากการสึกหรอที่น้อยลง โดยเทคนิคการเคลือบฟิล์มชั้นส่วนโลหะมีหลายเทคนิค ซึ่งแต่ละเทคนิคก็จะมีข้อดีข้อด้อยแตกต่างกัน เช่น เทคนิคการสปีดเทอริงเป็นเทคนิคที่ได้ฟิล์มมีความสม่ำเสมอ มีความเรียบสูง แต่เครื่องมีราคาสูงมาก และต้องทำในระบบสุญญากาศ (Liu et al., 2021; Lai et al., 2014; Qamar et al., 2011; Ziebert et al., 2010) แต่ยังมีเทคนิคที่น่าสนใจ คือเทคนิคการเคลือบหมุน (Spin Coating) (Kaci et al., 2017) และเทคนิคการพ่นเคลือบ (Spray Coating) (Kim et al., 2016) ซึ่งเป็นวิธีที่มีราคาถูก และสามารถปลูกฟิล์มได้ในบรรยากาศทั่วไป

ในการสังเคราะห์ซิลิกอนคาร์ไบด์นั้น สามารถสังเคราะห์จากซิลิกอนไดออกไซด์หรือซิลิกาพร้อมกับคาร์บอนได้ ซึ่งซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลักในแกลบข้าว ซึ่งในเขตจังหวัดร้อยเอ็ด สามารถผลิตข้าวได้เฉลี่ยปีละประมาณ 9 แสนตัน ซึ่งมีส่วนประกอบที่เป็นแกลบมากถึง 4 แสนตัน (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. 2564) จะเห็นได้ว่า ในจังหวัดร้อยเอ็ดและจังหวัดใกล้เคียง มีแกลบซึ่งเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์ซิลิกาเป็นจำนวนมากต่อปี แต่การนำแกลบมาใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่ยังอยู่ในรูปของการนำเข้าโรงไฟฟ้า เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตไฟฟ้า ถ้าสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับแกลบที่มีปริมาณมากเหล่านี้ได้ ก็จะสามารถสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรในท้องถิ่น เพื่อให้สามารถพึ่งพาตนเองได้อย่างยั่งยืนต่อไปได้

งานวิจัยครั้งนี้จึงมีแนวคิดที่จะสร้างนวัตกรรมการเคลือบฟิล์มซิลิกอนคาร์ไบด์บนผิวโลหะเพื่อเพิ่มอายุการใช้งาน ด้วยซิลิกาที่สังเคราะห์ได้จากแกลบข้าวในจังหวัดร้อยเอ็ดและจังหวัดใกล้เคียง นำมาสังเคราะห์ซิลิกอนคาร์ไบด์ร่วมกับถ่านจากเปลือกผลไม้ โดยศึกษากระบวนการสังเคราะห์ผงนาโนซิลิกอนคาร์ไบด์ และศึกษาการทำสารละลายนาโนซิลิกอนคาร์ไบด์เพื่อนำไปเคลือบผิวโลหะด้วยวิธีการเคลือบแบบพ่น และยังศึกษาความแข็งของแผ่นรองรับ

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อสังเคราะห์และวิเคราะห์ฟิล์มซิลิกอนคาร์ไบด์ ด้วยซิลิกาจากแกลบและคาร์บอนจากถ่านเปลือกทุเรียน

2.2 เพื่อเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์ซิลิกอนคาร์ไบด์ในรูปแบบผง ด้วยซิลิกาจากแกลบข้าวในตำบลเกาะแก้ว จังหวัดร้อยเอ็ด และคาร์บอนจากเปลือกทุเรียน จากนั้นได้ศึกษาการนำผงซิลิกอนคาร์ไบด์มาเตรียมเป็นฟิล์มบางเคลือบโลหะ โดยมีการดำเนินวิจัยดังนี้

การสังเคราะห์ซิลิกา

ล้างแก้วด้วยน้ำสะอาดเพื่อกำจัดฝุ่นและสิ่งปนเปื้อนจนสะอาด จากนั้นนำไปอบในตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำแก้วแห้งน้ำหนัก 30 กรัม ต้มในกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ในปริมาณ 600 มิลลิลิตร ด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อกำจัดออกไซด์ของสารประกอบต่าง ๆ ที่เกาะบนผิวของแก้ว หลังจากนั้นล้างแก้วด้วยน้ำกลั่นจนมีค่า pH เป็นกลาง (pH balance) โดยการทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส แล้วนำไปอบในตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

นำแก้วที่ผ่านกระบวนการต้มด้วยกรด น้ำหนัก 10 กรัม ใส่ในถ้วยอะลูมินา แล้วเผาในเตาเผาแบบท่อ ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส/นาทีกายใต้บรรยากาศของก๊าซ ออกซิเจน เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อเตามีอุณหภูมิลดลงจนเท่ากับอุณหภูมิห้อง จึงเอาตัวอย่างออกจากเตา ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นผงซิลิกาสีขาว (Chananil et al., 2018) แล้วเก็บไว้ในตู้ควบคุมความชื้นเพื่อใช้ในขั้นตอนถัดไป

การเตรียมคาร์บอนจากเปลือกทุเรียน

ล้างเปลือกทุเรียนให้สะอาดด้วยน้ำสะอาด ตัดเป็นชิ้นขนาดประมาณ 1x1 นิ้ว แล้วตากแดดให้แห้งโดยใช้เวลาประมาณ 7 วัน จากนั้นนำเปลือกทุเรียนแห้งน้ำหนัก 32 กรัม ใส่ในถ้วยอะลูมินา แล้วเผาในเตาเผาแบบท่อ ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส/นาทีกายใต้บรรยากาศของก๊าซอาร์กอน เมื่ออุณหภูมิลดลงจนเท่ากับอุณหภูมิห้อง จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นผงถ่านสีดำที่มีองค์ประกอบหลักเป็นคาร์บอน จากนั้นบดให้ละเอียดแล้วร่อนโดยใช้ตะแกรงขนาด 20 เมช (Mesh) ลงในภาชนะ แล้วเก็บไว้ในตู้ควบคุมความชื้นเพื่อใช้ในขั้นตอนถัดไป

การสังเคราะห์ซิลิกอนคาร์ไบด์

บดผงซิลิกาผสมกับผงคาร์บอนในอัตราส่วนคาร์บอนต่อซิลิกา 2:1 (Chananil et al., 2018) โดยวิธีบอลมิลล์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปร่อนโดยใช้ตะแกรงขนาด 50 เมช โดยใส่ตัวอย่างที่ได้จากการบดผสมในถ้วยอะลูมินา เพื่อนำไปเผาในเตาเผาแบบท่ออุณหภูมิสูง โดยเผาที่อุณหภูมิ 1,300, 1,400 และ 1,500 องศาเซลเซียส อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส/นาทีกายใต้บรรยากาศของก๊าซอาร์กอน

การเตรียมฟิล์มซิลิกอนคาร์ไบด์

เตรียมสารละลายซิลิกอนคาร์ไบด์ โดยการใช้ผงซิลิกอนคาร์ไบด์ที่เตรียมได้เป็นสารตั้งต้น (Precursor) นั้นสามารถทำได้โดยการละลายสารโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl Alcohol, PVA) ในน้ำปราศจากไอออนด้วยความเข้มข้นร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร (%W/V) เป็น 0.8, 1.0 และ 1.2 ในเครื่องกวนสาร (magnetic stirrer)

เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมสารละลาย PVA จากนั้นผสมซิลิกอนคาร์ไบด์ลงในสารละลาย PVA ด้วยเครื่องอัลตราโซนิกบาร์ท เป็นเวลา 30 นาที ด้วยปริมาณผงซิลิกอนคาร์ไบด์ร้อยละ 10, 15 และ 50 ของน้ำหนัก PVA ในสารละลาย PVA เพื่อหาอัตราส่วนของ PVA:SiC

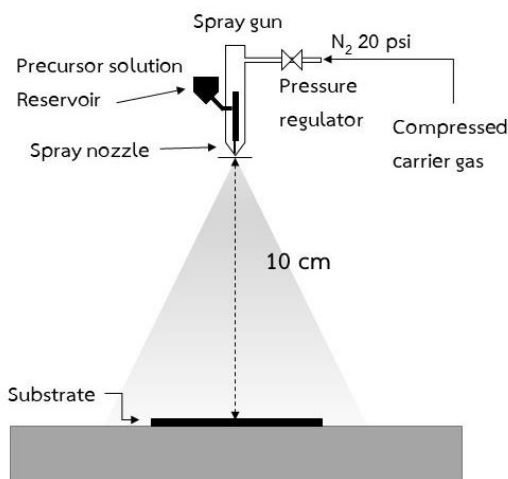
จากนั้น ปลุกฟิล์มด้วยเทคนิคพ่นเคลือบ Spray coating โดยใช้ก๊าซไนโตรเจน N_2 แรงดัน 20 psi บนแผ่นรองรับกระจกใส แผ่นสแตนเลส 304 และแผ่นอลูมิเนียม ขนาด 1x1 นิ้ว โดยจัดอุปกรณ์ดังภาพที่ 1 ให้หัวฉีดห่างจากแผ่นรองรับ 10 เซนติเมตร เพื่อให้การพ่นเคลือบได้ทั่วทั้งแผ่นรองรับ ซึ่งในการเคลือบฟิล์มแต่ละครั้งจะพ่นเคลือบครั้งละ 3 วินาที แล้วอบตัวอย่างให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การศึกษาสัณฐานวิทยา

ศึกษาด้วยเทคนิคถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) ยี่ห้อ JOEL ประเทศญี่ปุ่น

การทดสอบความแข็ง

ทดสอบด้วยวิธีการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers Hardness Test) โดยใช้แรงกด 2.942 นิวตัน เป็นระยะเวลา 15 วินาที



ภาพที่ 1 แสดงภาพจำลองการปลุกฟิล์มด้วยวิธีพ่นสเปรย์ (Spray coating)

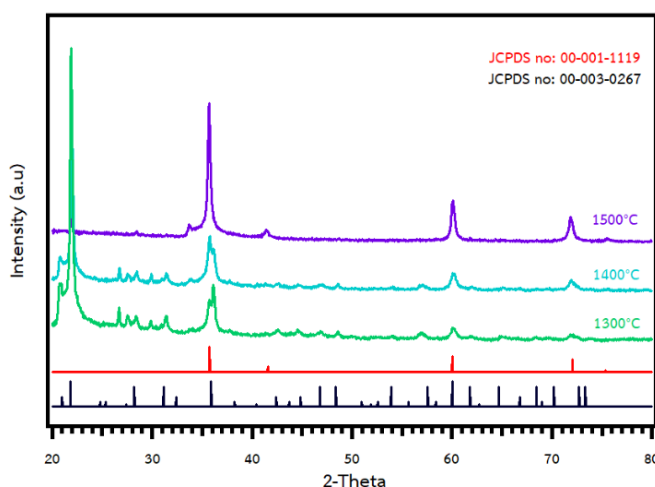
ดัดแปลงจาก Abdellah et al., 2009

4. ผลการวิจัย

จากการสังเคราะห์ซิลิคอนคาร์ไบด์ โดยการบดผสมผงคาร์บอนกับผงซิลิกาในอัตราส่วน 2 : 1 แล้วเผาที่อุณหภูมิ 1,300 1,400 และ 1,500 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ภายใต้บรรยากาศของก๊าซอาร์กอน ได้ผลการทดลองดังนี้

ผลการศึกษาโครงสร้าง

เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส จะแสดงโครงสร้างซิลิกา SiO_2 โดยการตรวจสอบกับโปรแกรม X-pert highscore plus อ้างอิงตาม JCPDS no:00-003-0267 และเริ่มเห็นพิกที่แสดงถึงโครงสร้างของซิลิคอนคาร์ไบด์ SiC ที่มุม 2-Theta 35.73, 60.15 และ 71.98 องศา โดยเปรียบเทียบกับโครงสร้างของ SiC ตาม JCPDS no:00-001-1119 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเป็น 1400 องศาเซลเซียส จะสังเกตเห็นว่าความสูงของพิกที่แสดงถึงโครงสร้าง SiO_2 ลดลง ในขณะที่พิกที่แสดงโครงสร้าง SiC สูงขึ้น แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนโครงสร้างจาก SiO_2 เป็น SiC ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 1500 องศาเซลเซียส พบว่าจะเกิดโครงสร้างเบต้าซิลิคอนคาร์ไบด์ (Zhang et al., 2019) โดยพิจารณาจากพิกที่มุม 2-theta เท่ากับ 35.65 ,41.53, 60.17, และ 71.9 องศา ซึ่งเป็นพิกที่บ่งชี้ถึงการเกิดเป็นซิลิคอนคาร์ไบด์เฟสบีตา $\beta\text{-SiC}$ โดยการตรวจสอบกับโปรแกรม และมีพิกที่มุม 2-theta 33.91 องศา ซึ่งเป็นพิกที่บ่งชี้ว่าเกิดโครงสร้างซิลิคอนคาร์ไบด์เฟสแอลฟา $\alpha\text{-SiC}$ (Zhang et al., 2019) โดยปกติแล้วเฟสแอลฟา $\alpha\text{-SiC}$ จะเกิดที่อุณหภูมิสูงกว่าเฟสบีตา $\beta\text{-SiC}$ (Superior Graphite, 2020) ดังแสดงในภาพที่ 2 ตามปฏิกิริยาเคมีในสมการเคมีที่ (1) (Janghorban, K. and Tazesh, H. R.)



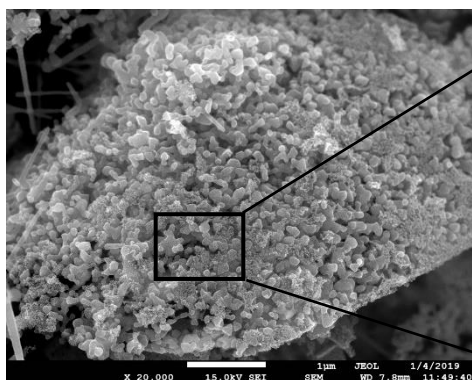
ภาพที่ 2 แสดงผล XRD จากการสังเคราะห์ซิลิคอนคาร์ไบด์ จากการบดผสมคาร์บอนกับซิลิกาในอัตราส่วน 2 : 1 แล้วเผาที่ อุณหภูมิ 1,300 1,400 และ 1,500 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษาสัณฐานวิทยา

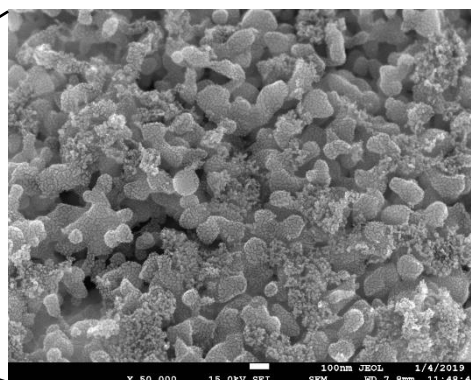
ผลของการศึกษาสัณฐานวิทยาของผงซิลิกอนคาร์ไบด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่า เมื่อตรวจสอบโดยใช้กำลังขยาย 20,000 เท่า จะสังเกตเห็นซิลิกอนคาร์ไบด์ที่สังเคราะห์ได้ มีลักษณะโค้งมนคล้ายทรงกลม ขนาดประมาณ 100-150 นาโนเมตร ดังภาพที่ 3 (ก) และเมื่อเพิ่มกำลังขยายเป็น 50,000 เท่า พบว่าอนุภาคที่มีขนาด 100-150 นาโนเมตร นั้นเกิดจากอนุภาคขนาดเล็กประมาณ 10-20 นาโนเมตร ที่มีลักษณะกลม รวมกันเป็นกลุ่มจนมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังภาพที่ 3 (ข) ซึ่งคล้ายกับผงซิลิกอนคาร์ไบด์ที่ได้จากงานวิจัยของ Wang, F. et al., 2017.

ผลการเตรียมฟิล์มจากผงซิลิกอนคาร์ไบด์

จากการเตรียมสารละลาย PVA ความเข้มข้น 0.8, 1.0 และ 1.2 %W/V ซึ่งเป็นสารละลายมีความเข้มข้นไม่สูงมากนัก เมื่อเคลือบลงบนกระจกสไลด์ พบว่าฟิล์ม PVA ที่เคลือบลงบนกระจกสไลด์ จะโปร่งใส และยึดเกาะบนพื้นผิวกระจกได้ดี แต่จะมีบางบริเวณที่ฟิล์มหนากว่าบริเวณอื่น อาจเนื่องมาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของ PVA กับตัวทำละลายน้ำมีค่ามากกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารละลาย PVA กับพื้นผิวของกระจกสไลด์ โดยฟิล์มที่เตรียมได้จากสารละลาย PVA ที่ความเข้มข้น 1.0 %W/V จะสังเกตเห็นว่ามีความหนาของฟิล์มใกล้เคียงกันทั่วทั้งแผ่นกระจกสไลด์มากที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4 จึงได้เตรียมสารละลาย PVA โดยเพิ่มความเข้มข้นเป็น 2.0 %W/V เพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารละลาย PVA กับพื้นผิวแผ่นกระจกสไลด์ให้มากขึ้น แล้วนำไปเคลือบเป็นฟิล์ม พบว่า ฟิล์มที่ได้ มีความโปร่งใส และความหนาใกล้เคียงกันทั้งแผ่นมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ได้จากสารละลาย PVA ที่ความเข้มข้น 1.0 %W/V ดังแสดงในภาพที่ 5

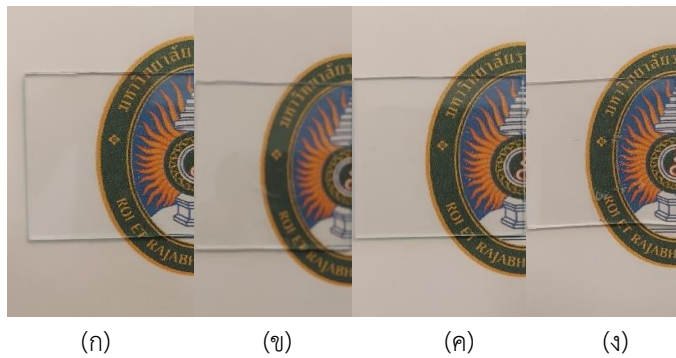


(ก)



(ข)

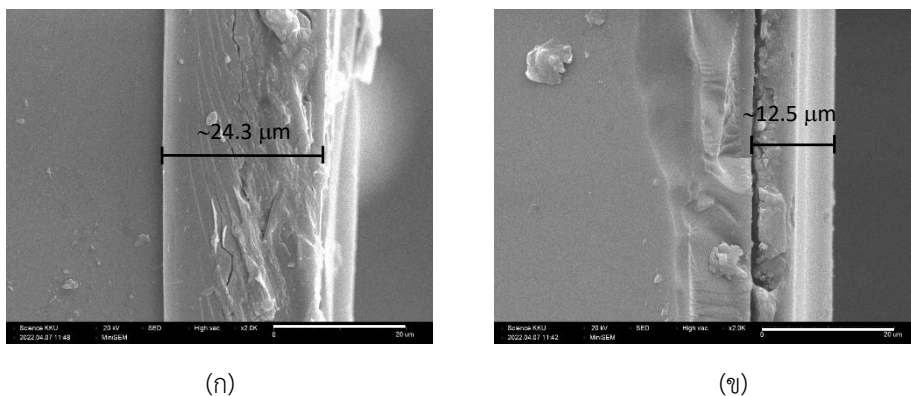
ภาพที่ 3 ภาพจาก SEM ที่ถ่ายจากผงซิลิกอนคาร์ไบด์ (ก) กำลังขยาย 20,000 เท่า (ข) กำลังขยาย 50,000 เท่า



ภาพที่ 4 ภาพถ่ายฟิล์ม PVA ที่เคลือบบนกระจกสไลด์ (ก) ภาพถ่ายกระจกสไลด์ไม่มีฟิล์ม (ข) ฟิล์ม PVA จากความเข้มข้น 0.8 %W/V (ค) ฟิล์ม PVA จากความเข้มข้น 1.0 %W/V และ (ง) ฟิล์ม PVA จากความเข้มข้น 1.2 %W/V



ภาพที่ 5 ภาพถ่ายฟิล์ม PVA ที่เคลือบบนกระจกสไลด์ (ก) ฟิล์ม PVA จากความเข้มข้น 1.0%W/V (ข) ฟิล์ม PVA จากความเข้มข้น 2.0%W/V



ภาพที่ 6 แสดงภาพตัดขวางจาก SEM ของฟิล์ม PVA ที่เคลือบบนกระจกสไลด์ (ก) ฟิล์ม PVA จากความเข้มข้น 1.0 %W/V (ข) ฟิล์ม PVA จากความเข้มข้น 2.0 %W/V

เมื่อตรวจสอบจากภาพตัดขวางของฟิล์มที่เคลือบลงบนกระจกสไลด์ พบว่าการเคลือบฟิล์มด้วยวิธีพ่นเคลือบจะเกิดฟิล์มเคลือบลงบนกระจกสไลด์จริง โดยฟิล์มที่เตรียมโดยใช้ PVA ความเข้มข้น 1.0%W/V จะมีความหนาประมาณ 24.3 ไมโครเมตร และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย PVA เป็น 2.0%W/V จะมีความหนาประมาณ 12.5 ไมโครเมตร ดังแสดงในภาพที่ 6 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายขึ้น ความหนาของฟิล์มจะลดลง เนื่องจากการพ่นเคลือบฟิล์มนั้น จะใช้แรงดันของก๊าซไนโตรเจน 20 psi เป็นเวลา 3 วินาที ในการพ่นเคลือบแต่ละครั้ง ซึ่งเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายมากขึ้น แต่แรงดันก๊าซไนโตรเจนคงที่ จะทำให้สารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่าถูกพ่นออกมาในปริมาณที่น้อยกว่า เมื่อพ่นเคลือบในเวลาเท่ากันจึงทำให้ฟิล์มบางกว่านั่นเอง และเมื่อสังเกตลักษณะของฟิล์มจะเห็นว่าฟิล์มที่เตรียมได้จากความเข้มข้นของสารละลาย 1.0%W/V จะมีรอยแตกภายในเนื้อฟิล์ม เนื่องจากในสารละลายมีองค์ประกอบที่เป็นน้ำในปริมาณมากกว่า หลังจากนำฟิล์มไปอบให้แห้ง จะทำให้น้ำหายไปจากองค์ประกอบของฟิล์มอย่างรวดเร็ว จึงทำให้เกิดรอยแตกดังกล่าว ในขณะที่ฟิล์มที่เตรียมจากความเข้มข้นของสารละลาย 2.0%W/V จะไม่พบรอยแตกในเนื้อฟิล์ม เนื่องจากมีองค์ประกอบที่เป็นน้ำน้อยกว่า เมื่อน้ำหายไปจากองค์ประกอบของฟิล์มจึงไม่มีผลให้เกิดการแตกของเนื้อฟิล์ม

จากผลการเตรียมสารละลาย PVA เพื่อปลูกฟิล์มซิลิกอนคาร์ไบด์ พบว่าการเตรียมฟิล์มจากสารละลายความเข้มข้นของสารละลาย 2.0%W/V เหมาะสมที่จะนำมาเป็นเงื่อนไขตั้งต้นในการเตรียมฟิล์ม ดังนั้นจึงได้ทดสอบการเคลือบฟิล์ม PVA นี้ลงบนแผ่นรองรับที่เป็นอลูมิเนียม และแผ่นสแตนเลส 304 ปรากฏว่าฟิล์ม PVA สามารถยึดเกาะพื้นผิวของแผ่นรองรับได้ทั่วทั้งแผ่น ดังแสดงในภาพที่ 7



(ก)



(ข)

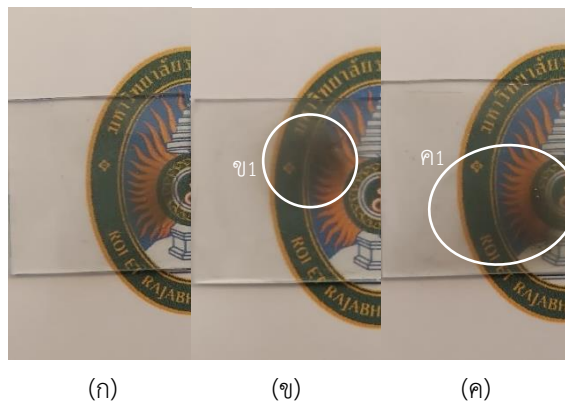
ภาพที่ 7 ภาพถ่ายฟิล์มที่ได้จากสารละลาย PVA 0.5 กรัม ในน้ำปราศจากไอออน 25 มิลลิลิตร (ก) เคลือบบนแผ่นรองรับอลูมิเนียม (ข) เคลือบบนแผ่นรองรับสแตนเลส 304

เมื่อได้เงื่อนไขการเตรียมสารละลาย PVA แล้ว จึงนำมาศึกษาการเตรียมฟิล์มซิลิกอนคาร์ไบด์ โดยการเติมผงซิลิกอนคาร์ไบด์ ร้อยละ 10 ร้อยละ 15 และร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของ PVA ที่ความเข้มข้นของสารละลาย 2.0%W/V แล้วพ่นเคลือบลงบนแผ่นกระจกสไลด์ พบว่า เมื่อเติม SiC ร้อยละ 10 ฟิล์มจะมีสีเทากระจายทั่วทั้งแผ่น และมีความโปร่งใสดังภาพที่ 8 (ก) เมื่อเพิ่มปริมาณ SiC เป็นร้อยละ 15 ฟิล์มจะมีสีเทาเข้มขึ้น

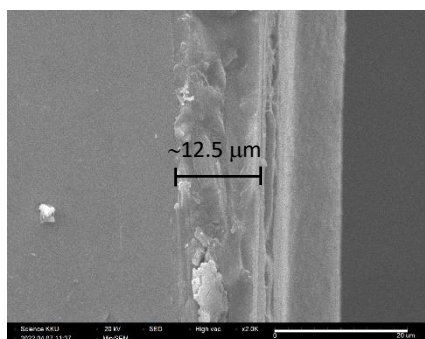
และจะมีสีเข้มมากที่สุด ในวงกลม ข1 ตามภาพที่ 8 (ข) เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของ SiC กับ SiC มีค่ามาก จึงทำให้ SiC มารวมกันในบางบริเวณ และเมื่อเพิ่มปริมาณ SiC เป็น ร้อยละ 15 บริเวณที่ SiC จะมีขนาดกว้างขึ้น ดังภาพที่ 8 (ค) ในวง ค1 เกิดจากการเติม SiC ที่มากเกินไป

จากผลการเตรียมฟิล์มซิลิกอนคาร์ไบด์ พบว่าการเติมผงซิลิกอนคาร์ไบด์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก จะได้ฟิล์มที่มีสีของฟิล์มที่ค่อนข้างสม่ำเสมอใกล้เคียงกันทั่วทั้งแผ่นกระจกสไลด์ ซึ่งฟิล์ม SiC ที่เตรียมได้จากเงื่อนไขนี้ จะมีความหนาประมาณ 12.54 ± 0.013 ไมโครเมตร โดยวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของภาพตัดขวางของฟิล์ม ดังแสดงในภาพที่ 9

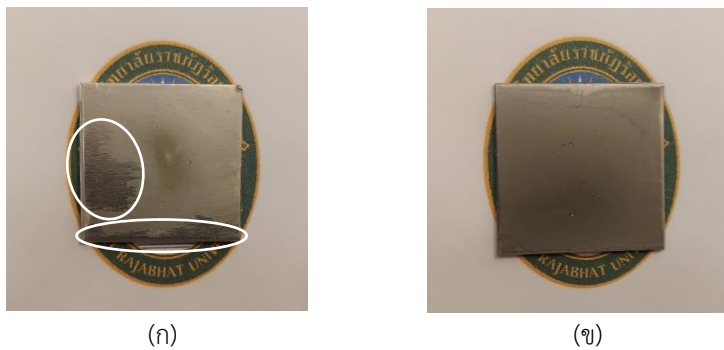
ดังนั้นจึงได้ทดสอบการเคลือบฟิล์มซิลิกอนคาร์ไบด์ด้วยเงื่อนไขลงบนแผ่นรองรับที่เป็นอลูมิเนียม และแผ่นสแตนเลส 304 ปรากฏว่าฟิล์มซิลิกอนคาร์ไบด์ สามารถยึดเกาะพื้นผิวของแผ่นรองรับได้ แต่ฟิล์มที่เคลือบบนแผ่นรองรับอลูมิเนียม ฟิล์มจะไม่เคลือบทั่วทั้งแผ่น เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวของซิลิกอนคาร์ไบด์กับ PVA มากกว่าแรงยึดเหนี่ยวกับพื้นผิว จึงทำให้มีบางบริเวณที่ฟิล์มไม่ยึดเกาะ ดังแสดงในบริเวณวงรีตามภาพที่ 10 (ก) ในขณะที่การเคลือบฟิล์มบนแผ่นรองรับสแตนเลส 304 ถึงแม้ว่าพื้นผิวของแผ่นสแตนเลสค่อนข้างเรียบ แต่ฟิล์มก็ยึดเกาะได้ทั่วทั้งแผ่น และสีของฟิล์มค่อนข้างสม่ำเสมอ ดังแสดงในภาพที่ 10 (ข)



ภาพที่ 8 ภาพถ่ายฟิล์มซิลิกอนคาร์ไบด์ (ก) ผงซิลิกอนคาร์ไบด์ร้อยละ 10 (ข) ผงซิลิกอนคาร์ไบด์ร้อยละ 15 (ค) ผงซิลิกอนคาร์ไบด์ร้อยละ 20



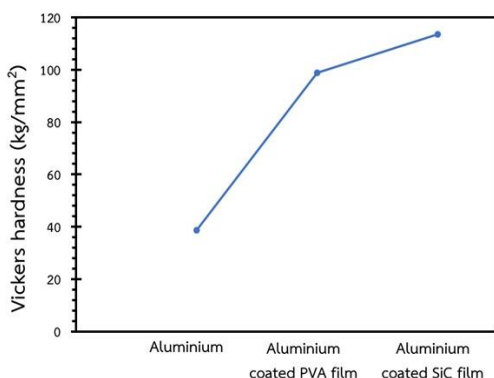
ภาพที่ 9 แสดงภาพตัดขวางของฟิล์มซิลิกอนคาร์ไบด์ที่เคลือบบนกระจกสไลด์



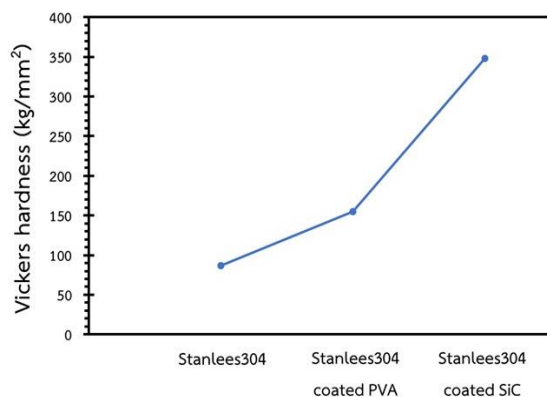
ภาพที่ 10 ภาพถ่ายฟิล์มซิลิกอนคาร์ไบด์ (ก) แผ่นรองรับอลูมิเนียม (ข) แผ่นรองรับสแตนเลส 304

ผลการทดสอบความแข็ง (Hardness)

เพื่อทดสอบผลของฟิล์มซิลิกอนคาร์ไบด์ ต่อความแข็งของพื้นผิวแผ่นรองรับอลูมิเนียม และสแตนเลส 304 พบว่า แผ่นอลูมิเนียมมีค่าความแข็งแรง 38.6512 กิโลกรัม/ตารางมิลลิเมตร เมื่อเคลือบด้วยฟิล์ม PVA ค่าความแข็งที่วัดได้เพิ่มขึ้นเป็น 98.9473 กิโลกรัม/ตารางมิลลิเมตร และเมื่อเคลือบด้วยฟิล์มซิลิกอนคาร์ไบด์ ค่าความแข็งเพิ่มสูงขึ้น 2.94 เท่า ที่ 113.5874 กิโลกรัม/ตารางมิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 11 (ก) จากนั้น ทดสอบค่าความแข็งของพื้นผิวแผ่นสแตนเลส 304 พบว่ามีค่า 86.9654 กิโลกรัม/ตารางมิลลิเมตร และเพิ่มเป็น 154.6051 กิโลกรัม/ตารางมิลลิเมตร เมื่อเคลือบด้วยฟิล์ม PVA และเมื่อเคลือบด้วยฟิล์มซิลิกอนคาร์ไบด์ ความแข็งของพื้นผิวเพิ่มขึ้นถึง 4 เท่า เป็น 347.8615 กิโลกรัม/ตารางมิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 11 (ข) นั้นแสดงให้เห็นว่าฟิล์มซิลิกอนคาร์ไบด์ที่เคลือบด้วยวิธี Spray coating สามารถเพิ่มความแข็งให้กับพื้นผิวโลหะได้ และมากถึง 4 เท่า เมื่อเคลือบบนแผ่นสแตนเลส304 เนื่องจากการทดสอบความแข็งนั้น จะเป็นการออกแรง กดลงบนพื้นผิวของแผ่นรองรับ ดังนั้นเมื่อเคลือบฟิล์ม SiC ลงบนพื้นผิวของแผ่นรองรับแล้วเมื่อออกแรงกดลง บนพื้นผิวของแผ่นรองรับ ฟิล์ม SiC จะรับแรงกดก่อนที่จะถึงพื้นผิวของแผ่นรองรับ และด้วยสมบัติเด่นของ SiC ที่มีค่าความแข็งสูง จึงทำให้พื้นผิวของแผ่นรองรับมีความแข็งสูงขึ้นด้วย



(ก)



(ข)

ภาพที่ 11 แสดงผลการทดสอบค่าความแข็ง (Hardness) ของแผ่นรองรับที่เคลือบฟิล์ม (ก) แผ่นรองรับ อลูมิเนียม (ข) แผ่นรองรับสแตนเลส 304

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการสังเคราะห์ซิลิกอนคาร์ไบด์จากขยะชีวภาพ ด้วยซิลิกาจากแกลบและคาร์บอนจากเปลือกทุเรียน พบว่าสามารถสังเคราะห์ผงซิลิกอนคาร์ไบด์ได้ด้วยการเผาผงซิลิกาที่บดผสมกับผงคาร์บอนด้วยอัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 1,500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศก๊าซอาร์กอน เมื่อเตรียมสารละลาย PVA เป็นฟิล์ม ความเข้มข้นของสารละลายมีผลต่อความหนาของฟิล์มในการเคลือบแต่ละครั้ง และมีผลต่อเนื้อฟิล์มด้วย ฟิล์มที่เตรียมจากสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อยจะทำให้เกิดการแตกภายในเนื้อฟิล์ม เมื่อเตรียมฟิล์มซิลิกอนคาร์ไบด์เคลือบบนแผ่นรองรับอลูมิเนียมและสแตนเลส 304 ด้วยเทคนิคการพ่นเคลือบฟิล์มสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับโลหะทั้งสองได้ ด้วยสมบัติพิเศษของซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีค่าความแข็งแรงสูง โดยฟิล์มมีความโปร่งใส และหนาประมาณ 12.54 ไมโครเมตร ในการเตรียมฟิล์มซิลิกอนคาร์ไบด์ด้วยเงื่อนไขที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้ เหมาะสำหรับเคลือบลงบนสแตนเลส 304 มากกว่า เนื่องจากการยึดเกาะของฟิล์มบนพื้นผิวได้ดีตลอดทั้งแผ่น ส่งผลให้สามารถเพิ่มความแข็งแรงกับแผ่นสแตนเลส 304 นี้ ถึง 4 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นสแตนเลส 304 ที่ขายในท้องตลาด

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ ในการสนับสนุนห้องปฏิบัติการ ในการดำเนินการวิจัย และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด ในการสนับสนุนเงินงบประมาณแผ่นในการดำเนินการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. (2564). สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2563. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.
http://thaisdi.gistda.or.th/pl/dataset/oae31_01/resource/f31e8d62-595b-4332-9ead-bea97e68283b
- Abdellah, A., Baierl, D., Fabel, B., Lugli, P., & Scarpa, G. (2009). Spray-coating deposition for large area organic thin-film devices. *NSTI-nanotech*, 2, 447-450, <https://briefs.techconnect.org/wp-content/volumes/Nanotech2009v2/pdf/506.pdf>
- Chanani, P., Jongjaihan, Th., Yenyamsook, K., & Chaekamhod, N. (2018). Study on The synthesis of Nano-Silicon Carbide Powder from Rice Husk in Roi Et. *Critical Innovation*. The 2nd National and International Conference on Educational and Technology 2018 ICET II. (pp. 1-10). <https://drive.google.com/file/d/1vdtRze-O8sreSuKPb0enleG7p7qadbl/view>
- Janghorban. K. and Tazesh. H. R. (1999). Effect of catalyst and process parameters on the production of silicon carbide from rice hulls. *Ceramics International*, 25(1), 7-12. [https://doi.org/10.1016/S0272-8842\(97\)00077-1](https://doi.org/10.1016/S0272-8842(97)00077-1)

- Kaci, S., Keffous, A., Kheloufi, A., Bozetine, I., Guerbous, L., Mansouri, H., Siahmed, Y., & Bouanik-Aissiou, S. (2017). PL investigations of spin coated thin films of porous SiC powder embedded in PVA. *Journal of Alloys and Compounds*, 709, 668-676, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.03.128>
- Kim, J., Suh, D., Kim, Ch., Baek, Y., Lee, B., Kim, H.J., Lee, J.C., & Yoon, J. (2016). A high-performance and fouling resistant thin-film composite membrane prepared via coating TiO₂ nanoparticles by sol-gel-derived spray method for PRO applications. *Desalination*, 397, 157-164. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.07.002>
- Lai, L., Wang, X., & Hao, J. (2014). The Study of SiC Thin Films Produced by Magnetron Sputtering. *Engineering Materials*, 609-610, 82-87, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.609-610.82>
- Liu, M., Yang, Y., Mao, Q., Wei, Y., Li, Y., Ma, N., Liu, H., Liu, X., & Huang, Z. (2021). Influence of radio frequency magnetron sputtering parameters on the structure and performance of SiC films. *Ceramics International*, 17(47), 24098-24105, <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.05.120>
- Qamar. A., Mahmood. A., Sarwar. T. & Ahmed. N. (2011). Synthesis and characterization of porous crystalline SiC thin films prepared by radio frequency reactive magnetron sputtering technique. *Applied Surface Science*, 257(15), 6923-6927, <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2011.03.033>
- Superior Graphite. (2020). *Beta Silicon Carbide*. <https://superiorgraphite.com/beta-silicon-carbide/>
- Wang. F., Xiang. D., Wang. Y. and Li. J. (2017). Rapid synthesis of SiC powders by spark plasma-assisted carbothermal reduction reaction. *Ceramics International*, 43(6), 4970 – 4975, <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.01.003>
- Zhang, H., Zhang, N., Wu, D., Wu, Zh., Bi Sh., Ma, B., & Liu, W. (2019). Controlled synthesis of β -SiC with a novel microwave sintering method. *Materials Letters*, 255, 1-4, <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.126586>
- Ziebert, C., Ye, J., Ulrich, S., Prskalo, A.P., & Schmauder, S. (2010). Sputter Deposition of Nanocrystalline β -SiC Films and Molecular Dynamics Simulations of the Sputter Process. *Nanoscience and Nanotechnology*, 10, 1120-1128, <https://doi.org/10.1166/jnn.2010.1842>