วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.อีสาน | Agriculture & Technology RMUTI Journal

ปีที่ 5 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม – สิงหาคม 2567 | Vol.5 No.2 May – August 2024

Received: December 20, 2023; Revised: April 29, 2024; Accepted: May 25, 2024

การสังเคราะห์และวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ที่ปลูกด้วยเทคนิคสปัตเตอริง

Synthesis and characterization of cesium iodide thin film, grown by RF-Magnetron sputtering

ปริวรรต ลิ่มธนะเมธีกุล[1*] พรรณี แสงแก้ว[1] มติ ห่อประทุม[2] ทศพร เลิศวณิชผล[2] และกิตติธัช ธนสิวะวงษ์[2]

Pariwat Limthanameteekul[1*], Phannee Saengkaew[1], Mati Horprathum[2], Tossaporn Lertvanithphol[2] and Kittidhaj Dhanasiwawong[2]

[1]คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดกรุงเทพมหานคร

[1]Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok.

[2]ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ จังหวัดปทุมธานี

[2]National Electronic and Computer Technology Center (NECTEC), National Science and Technology Development Agency, Ministry of Science and Technology, Pathum Thani Province

[*]Corresponding Author E-mail Address : phannee.s@chula.ac.th

บทคัดย่อ

การพัฒนาอุปกรณ์วัดรังสีของฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ (CsI) ปลูกบนฐานรอง Si(100) โดยเทคนิคสปัตเตอริงอาร์เอฟแมกนีตรอนที่ได้มีการปรับค่ากำลังสปัตเตอริงที่ 10, 30 และ 50 วัตต์ ซึ่งใช้เวลาสังเคราะห์ฟิล์มบาง 30 นาที ภายใต้ความดันบรรยากาศก๊าซอาร์กอน 10 มิลลิทอร์ ฟิล์มบางที่ได้มีลักษณะเฉพาะเชิงโครงสร้างโดยวิเคราะห์การเลี้ยวเบนมุมเล็กๆของรังสีเอกซ์ (GIXRD) ลักษณะทางกายภาพโดยวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ชนิดฟิลด์อีมิสชัน (FE-SEM) คุณสมบัติเชิงแสงวิเคราะห์ด้วยการวัดค่าเปล่งแสง (PL) และคุณสมบัติไฟฟ้าวิเคราะห์จากปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect) ผลการวิเคราะห์ GIXRD พบว่าฟิล์มบาง CsI มีโครงสร้างลูกบาศก์ (BCC) โดยแสดงระนาบที่โดดเด่น คือ CsI(100) และ CsI(211) ซึ่งมีค่าคงที่แลตทิซของโครงสร้างผลึกของคือ 4.5622 ± 0.0024 Å ภายใต้ความเค้นแบบยืดออกน้อยมาก ๆ ที่ -0.004% ลักษณะทางกายภาพ FE-SEM แสดงให้เห็นความหนาของฟิล์มบาง CsI ที่ปลูกด้วยกำลังสปัตเตอริง 50 วัตต์ ให้การจัดเรียงตัวของผลึกที่หนาแน่น โดยมีอัตราการเคลือบที่ 400 นาโนเมตรต่อชั่วโมง วัดการเปล่งแสง PL ระบุว่าฟิล์มบาง CsI ดูดกลืนและปลดปล่อยโฟตอนด้วยพลังงานกระตุ้นความยาวคลื่น 200 นาโนเมตร ซึ่งเปล่งแสงออกมาหลายพีคในช่วง 420-470 นาโนเมตร ปรากฏการณ์ฮอลล์แสดงให้เห็นฟิล์มบาง CsI เป็นสารกึ่งตัวนำประเภทพี ที่มีความหนาแน่นของประจุพาหะ 2.935×10^{15} ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และสภาพความต้านทานไฟฟ้า 0.3735 กิโลโอห์มเซนติเมตร ผลการทดลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่า ฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ที่สังเคราะห์จากเทคนิคการสปัตเตอริงมีแนวโน้มที่ดีในการพัฒนาการตรวจจับรังสีได้ในอนาคต

คำสำคัญ: ซีเซียมไอโอไดด์ ฟิล์มบาง การตรวจวัดรังสี สปัตเตอริง

Abstract

To develop Cesium Iodide (CsI)-based optoelectronic devices, CsI thin films were deposited on Si (100) wafer substrate by RF-magnetron sputtering with varying sputtering power at 10, 30 and 50 watts. Along the 30 minutes of deposition with Ar gas, the operating pressure was controlled at the constant of 10 mTorr. The prepared CsI films were characterized for their crystallinities, morphologies, optical properties, and electrical properties through the grazing-incidence X-ray diffraction (GIXRD), field-emission scanning electron microscope (FE-SEM), photoluminescence (PL) and Hall Effect measurements. The GIXRD results show that the CsI films are formed in BCC structure with several crystallographic planes, especially (1 1 0) and (2 1 1) which have a crystal structure lattice constant of 4.5622 ± 0.0024 Å under a minimal tensile strain of -0.004%. The cross-sectional FE-SEM images exhibit that the thickness of the CsI thin films growth at a sputtering power of 50 W results in a dense crystalline arrangement. And the growth rate of CsI films is 400 nanometers per hour. The PL measurements indicate that the CsI films, by the excitation wavelength of 200 nm, have an emission light as multiple peaks in the 420-470 nm range. In addition, the Hall measurements show that the growth CsI films are p-type semiconductors with a carrier concentration 2.935×10^{15} cm^{-3} and a resistivity of and 0.3735 kΩcm. All results of the film's characterizations indicate that these CsI films, by the optimized sputtering technique are promising for the future development of radiation semiconductor detector.

Keywords: CsI thin films, Optoelectronic devices, Radiation detector, Sputtering deposition

บทนำ

ในปัจจุบันรังสีมีความเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของมนุษย์ค่อนข้างมาก ทั้งรังสีที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและและรังสีที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ และด้วยว่ามนุษย์เราไม่สามารถรับรู้ถึงปริมาณรังสีได้ด้วยตนเอง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการตรวจวัดรังสีทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ เพื่อการนำมาใช้งานที่เหมาะสมและปลอดภัยที่สุด สำหรับผู้ปฏิบัติงานและประชาชนทั่วไป การตรวจวัดรังสีต้องอาศัยหัววัดที่มีประสิทธิภาพการตอบสนองต่อรังสีที่ดี ความแม่นยำสูง และให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง หัววัดรังสีที่นิยมใช้ในงานในปัจจุบันมี 3 ประเภท คือ หัววัดรังสีบรรจุก๊าซ หัววัดรังสีผลึกเรืองแสง และหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ ซึ่งหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำนั้นเป็นหัวข้อที่มีการพัฒนากันอย่างมาก ด้วยว่าหัววัดชนิดนี้สามารถออกแบบให้มีขนาดเล็ก สะดวกในการพกพา และสามารถตรวจวัดรังสีพลังงานต่ำ มีกำลังแยกพลังงานได้ดีมากระดับ eV อีกทั้งพลังงานที่ป้อนเข้าให้กับหัววัดชนิดนี้ค่อนข้างน้อยมากเมื่อเทียบกับหัววัดแบบอื่น และโดยอาศัยคุณสมบัติเฉพาะของสารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างระดับชั้นพลังงาน (Band gap) เฉพาะของแต่ละสารนั้น ซึ่งหัววัดรังสีสารกึ่งตัวนำโครงสร้างอย่างง่ายหรือโครงสร้างรอยต่อพีเอ็น (PN junction) และด้วยว่าช่วงรอยต่อนี้จะเป็นบริเวณเขตปลอดพาหะ (Depletion region) ถ้าหากเมื่อมีรังสีเข้ามาในพื้นที่บริเวณนี้ก็สามารถทำให้เกิดคู่ไอออนหรือเกิดพาหะนำไฟฟ้า ซึ่งก็จะเคลื่อนที่แยกกันไปแต่ละด้านของรอยต่อ ซึ่งสามารถทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าเกิดขึ้นได้หรือเกิดเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่มักจะมีสัดส่วนแปรผันตามระดับพลังงานของรังสีที่เข้ามาตกกระทบหัววัดรังสีประเภทนี้ได้ และสามารถให้สัญญาณวัดจำนวนมาก จึงถือว่ามี

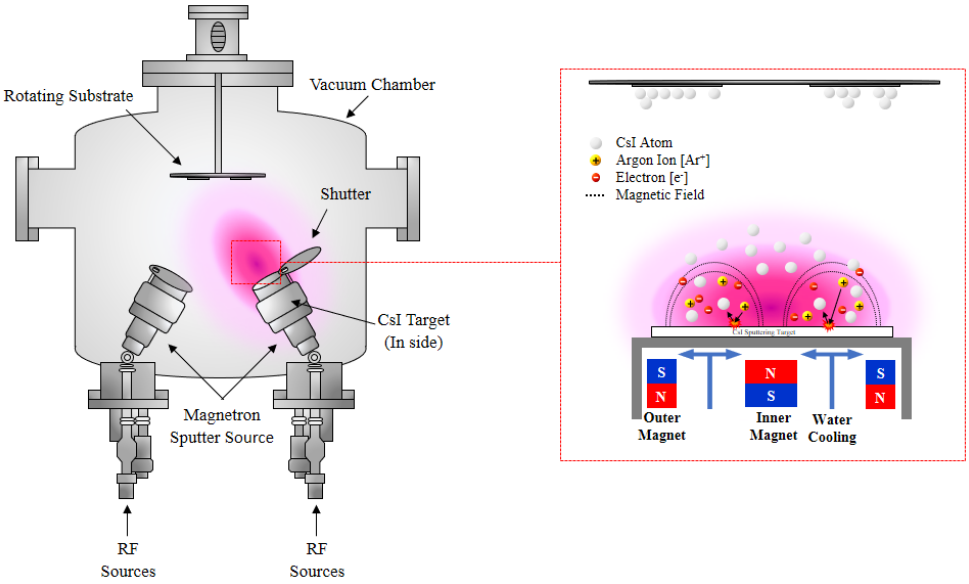
ประสิทธิภาพสูงมาก อีกทั้งหัววัดรังสีที่นิยมใช้กันคือหัววัดรังสีชนิดผลึกซิลทิลเลชัน แต่ด้วยว่ามีขั้นตอนในการปลูกผลึกก้อนให้สมบูรณ์ค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อนและต้องใช้ปริมาณสารตั้งต้นปริมาณมากพอสมควร

ดังนั้นการพัฒนาสารกึ่งตัวนำชนิดใหม่เพื่อเป็นวัสดุตั้งต้นของหัววัดรังสีประเภทนี้จึงเป็นที่น่าสนใจและมีบทบาทค่อนข้างสูง สารกึ่งตัวนำที่ใช้กันอย่างแพร่หลายหลากหลายด้าน อาทิเช่น ในแผ่นรับภาพดิจิทัลทางการแพทย์ (Digital radiography) และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสง (Optoelectronic devices) เป็นต้น มักมีชิ้นส่วนที่ทำจากสารกึ่งตัวนำเชิงสารประกอบ (Compound semiconductor) ที่อยู่ในหมู่หนึ่ง-เจ็ด อาทิเช่น ซีเซียมไอโอไดด์ (Cesium Iodide; CsI) ซึ่งสารตั้งต้นที่ถูกนำมาใช้งานมากมาย เนื่องจากมีคุณสมบัติการเปล่งแสงของอิเล็กตรอนที่ดี มีสัมประสิทธิ์ควอนตัมสูง และมีช่องว่างของระดับชั้นพลังงานที่กว้าง รวมถึงเลขมวลของ Cs สูง จึงสามารถเพิ่มโอกาสในการทำอันตรกิริยากับรังสีได้มากและสามารถวัดรังสีพลังงานสูงได้ดีกว่าสารประกอบชนิดอื่น (Fraser and Pearson, 1984; Simons et al., 1987; Breskin et al., 1991; Frumkin et al., 1993; Breskin et al., 1994; Almeida et al., 1995 and Rabus et al., 1999) นอกจากนี้ จำเป็นต้องเลือกวิธีการสังเคราะห์ฟิล์มที่นำมาเป็นวัสดุพื้นฐานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสงของโครงสร้างของหัววัดรังสีให้มีประสิทธิภาพและคุ้มค่ามากที่สุด ซึ่งวิธีปลูกผลึกฟิล์มบางด้วยเทคนิคสปัตเตอริง จึงถือว่าเป็นทางเลือกหนึ่งที่ได้รับความนิยม ด้วยว่ารูปแบบผลึกที่ได้จากการปลูกเป็นลักษณะของฟิล์มบางระดับนาโนที่มีความสม่ำเสมอและมีความบริสุทธิ์สูง และผลึกฟิล์มบางที่ได้จากวิธีการนี้สามารถนำใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอ

ด้วยเหตุนี้ จึงเป็นที่มาและความสำคัญในการศึกษาวิจัยนี้เพื่อพัฒนาการปลูกฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ด้วยเทคนิคสปัตเตอริงสำหรับเป็นวัสดุตั้งต้นของอุปกรณ์การวัดรังสีในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

งานนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ ด้วยเทคนิคการปลูกผลึกฟิล์มบางด้วยเทคนิคอาร์เอฟแมกนีตรอนสปัตเตอริง (RF-Magnetron sputtering) สำหรับการนำไปทำเป็นวัสดุตั้งต้นของอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ในการวัดรังสี กระบวนการนี้ดำเนินโดยใช้เป้าสารตั้งต้น (Sputtering target) ในที่นี้ใช้ผลึกซีเซียมแคลเซียมไอโอด์ที่ปลูกด้วยเทคนิคบริดแมนสต๊อกบาร์เกอร์ในการนำมาเป็นเป้าสำหรับการทดลอง โดยการสังเคราะห์ฟิล์มบางดำเนินการภายใต้สภาวะสุญญาณกาศ ก๊าซอาร์กอน (Argon; Ar) จะถูกป้อนเข้ามาภายในแชมเบอร์และแตกตัวเป็นไอจากการเร่งด้วยสนามไฟฟ้า ไอที่เกิดขึ้นจะวิ่งเข้าชนบริเวณผิวหน้าเป้าของสารตั้งต้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้อะตอมของสารตั้งต้นให้หลุดออก และเคลื่อนที่ไปเรียงตัวที่ผิวหน้าของฐานรอง เกิดเป็นฟิล์มบางเคลือบบนฐานรองนั้น แสดงดังรูปที่ 1 ไอของก๊าซเฉื่อยที่ได้จากเทคนิคการสปัตเตอริงจะมีพลังงานสูงมาก ส่งผลให้อะตอมของสารตั้งต้นที่หลุดออกเคลื่อนที่ไปสะสมบนฐานรองได้ดี ทำให้การยึดติดของฟิลม์บางด้วยวิธีสปัตเตอริงดีกว่าวิธีการระเหยสารมาก หากแรงยึดติดของฟิล์มบางกับฐานรองต่ำจะทำให้ฟิล์มบางหลุดออกง่าย จากนั้นเพื่อให้ทราบถึงคุณภาพของฟิล์มบางที่ปลูกได้นี้เป็นอย่างไร จึงทำการวิเคราะห์คุณภาพฟิล์มนี้ การวิเคราะห์คุณสมบัติโครงสร้างผลึก การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ การวิเคราะห์คุณสมบัติการเปล่งแสง และการวิเคราะห์คุณสมบัติไฟฟ้า



รูปที่ 1 แสดงการสังเคราะห์ฟิล์มบางแบบสปัตเตอริงประเภท RF-Magnetron sputtering

เริ่มต้นการสังเคราะห์ฟิล์มบางจากการเตรียมอุปกรณ์ โดยการทำความสะอาดอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ในห้องสปัตเตอริง (Sputtering chamber) ด้วยไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ เพื่อป้องกันการปนเปื้อน ในการศึกษาหาเงื่อนไขในการสังเคราะห์สำหรับงานวิจัยนี้ จะทำการศึกษาหากำลังสปัตเตอริงที่เหมาะสมภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศ 10 มิลลิทอร์ อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน 50 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที และใช้เวลาในการสังเคราะห์ฟิล์มบาง 30 นาที โดยในการสังเคราะห์ฟิล์มบางแต่ละครั้ง จะมีการศึกษากำลังสปัตเตอริงในช่วง 10 - 50 วัตต์ ซึ่งค่าที่ใช้ในการทดลองปลูกได้แก่ 10 30 และ 50 วัตต์ ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 1 โดยมีฐานรองเป็นซิลิกอนที่มีระนาบ Si(100) ชนิด n-type

ตารางที่ 1 เงื่อนไขในการสังเคราะห์ฟิล์มบางแบบสปัตเตอริงประเภท RF-Magnetron sputtering

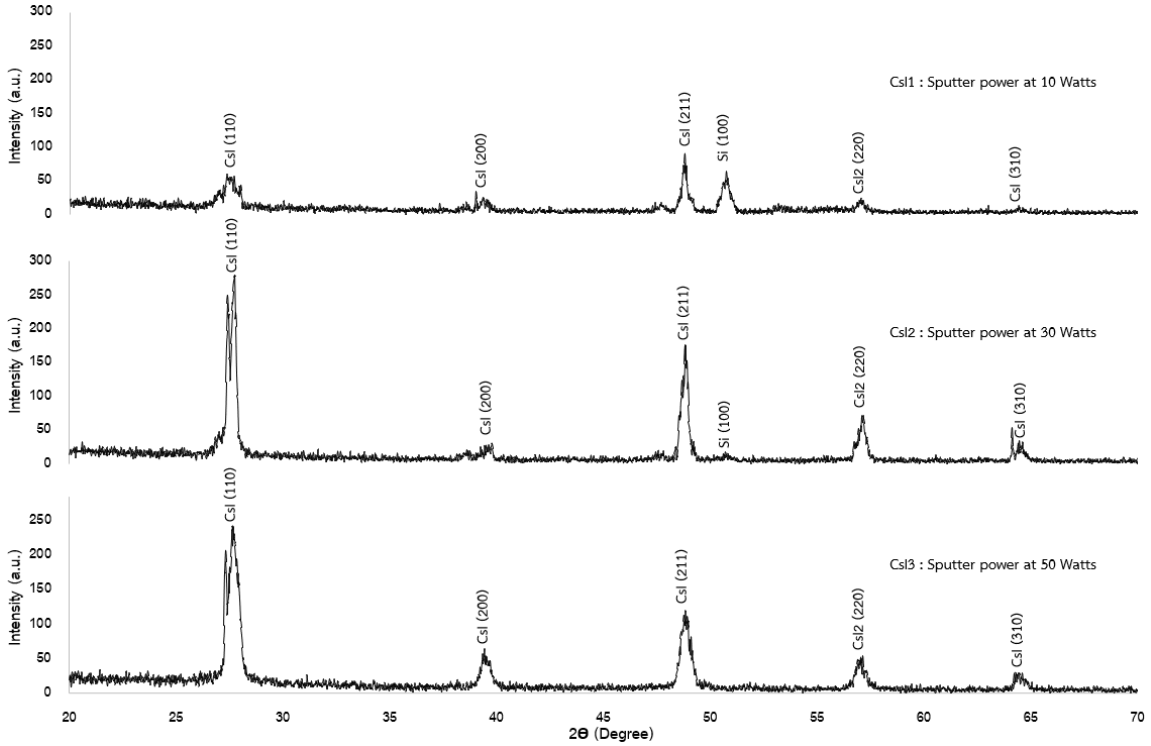
RF power (watts)	Pressure (mTorr)	Ar flow rate (sccm)
10	10	50
30	10	50
50	10	50

จากนั้นนำชิ้นงานที่สังเคราะห์ได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางโครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer: XRD) ยี่ห้อ Rigaku รุ่น TTRAX III วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพด้านตัดขวางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูง ชนิดฟิลด์อีมิสชัน (Field emission scanning electron microscope: FESEM) ยี่ห้อ Hitachi รุ่น SU8030 วิเคราะห์คุณสมบัติเฉพาะเชิงแสงของฟิล์มบางด้วยเครื่องวัดค่าการเปล่งแสง (Photoluminescence: PL) ยี่ห้อ Photon technology international รุ่น QuantaMaster 40 และวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้าด้วยปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall effect) ยี่ห้อ Ecopia รุ่น HMS-3000 เพื่อศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ สำหรับการนำไปทำเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีต่อไป

ผลการวิจัย

การวิเคราะห์คุณสมบัติโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์แบบ Grazing-incidence (GIXRD)

ผลของการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบาง จะได้ฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ที่มีคุณภาพที่ดีควรเริ่มต้นจากการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ผลึกหรือปลูกผลึกฟิล์มนั้น โดยปัจจัยหลักที่ใช้ในการปรับตั้งค่าของเครื่องสปัตเตอริงคือกำลังสปัตเตอริง ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองหาค่ากำลังสปัตเตอริงในช่วง 10 - 50 วัตต์ ซึ่งค่าที่ใช้ในการทดลองสังเคราะห์ฟิล์มได้แก่ 10 30 และ 50 วัตต์ ตามลำดับ หลังจากการสังเคราะห์ฟิล์มบางตามกำลังสปัตเตอริงดังกล่าว จึงนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์แบบมุมตกกระทบแคบแบบแฉลบ ซึ่งเป็นเทคนิคการวิเคราะห์เฉพาะฟิล์มบางที่เคลือบอยู่บนฐานรองเท่านั้นถ้าหากว่าฟิล์มนี้มีความหนามากเพียงพอ จากผลการวิเคราะห์พบว่า ฟิล์มบางมีโครงสร้างของสารประกอบซีเซียมไอโอไดด์แบบโครงสร้างลูกบาศก์ในทุกค่ากำลังสปัตเตอริง และมีโครงสร้างที่โดดเด่นคือ CsI(110), CsI(200), CsI(211), CsI(220) และ CsI(310) ตามลำดับ (Triloki et al., 2014; Triloki and Singh, 2015; Phannee et al., 2016; Prawit et al., 2023) แสดงดังรูปที่ 2

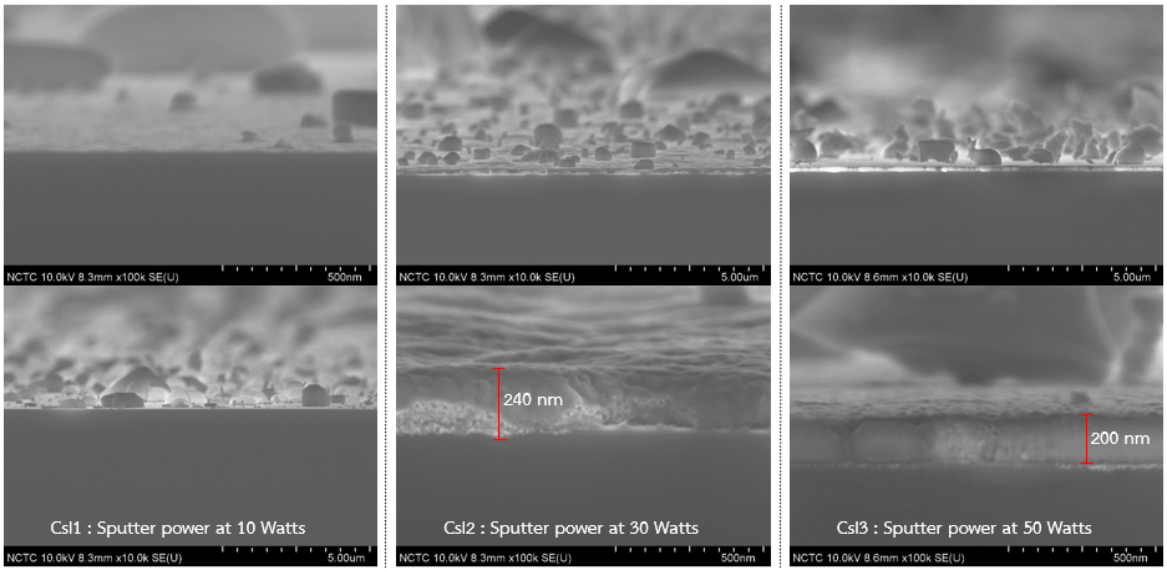


รูปที่ 2 แสดง θ/2θ โดยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ที่กำลังสปัตเตอริง 10 30 และ 50 วัตต์

1. การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพด้านตัดขวางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูงชนิดฟิลด์อีมิสชัน (Field Emission Scanning Electron Microscope: FESEM)

ผลของการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพด้านตัดขวางของฟิล์มบาง พบว่า เมื่อนำฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยการตั้งค่ากำลังสปัตเตอริงที่ 10 30 และ 50 วัตต์ มาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพด้านตัดขวางของชิ้นงานด้วยเทคนิคการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ชนิดฟิลด์อีมิส ได้ผลวิเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 3 จากผลการวิเคราะห์พบว่า ที่กำลังสปัตเตอริง 10 วัตต์ มีอัตราการเคลือบของซีเซียมไอโอไดด์ต่ำมาก จึงทำให้ฟิล์มที่สังเคราะห์ได้บาง

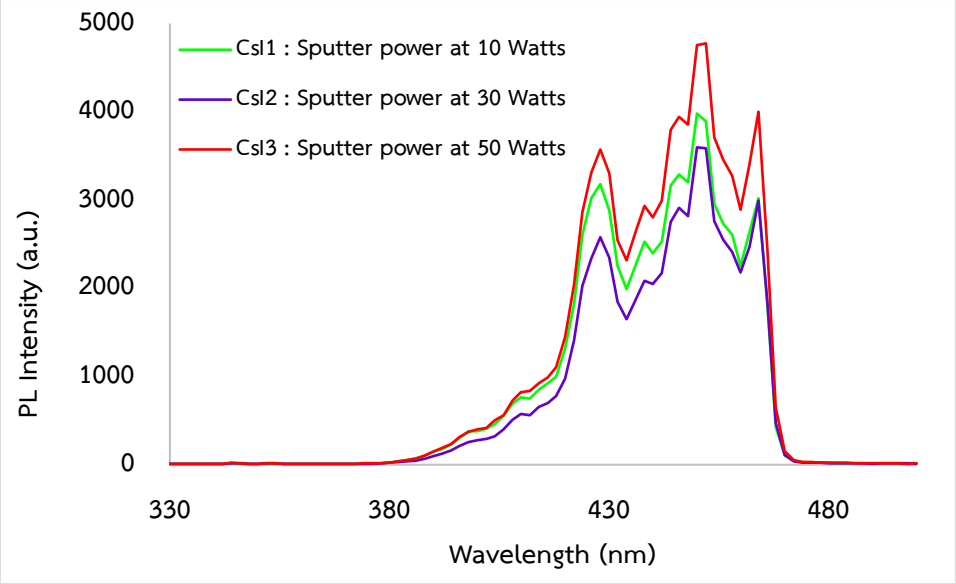
มาก ๆ และมีกระจายตัวเป็นกระจุก (Clusters) ที่กำลังสปัตเตอริง 30 วัตต์ พบฟิล์มหนา 240 นาโนเมตร โดยมีอัตราการเคลือบของฟิล์มซีเซียมไอโอไดด์ 480 นาโนเมตรต่อชั่วโมง และที่กำลังสปัตเตอริง 50 วัตต์ โดยมีอัตราการเคลือบของฟิล์มซีเซียมไอโอไดด์ 400 นาโนเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 3 แสดงภาพตัดขวางของฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ที่กำลังสปัตเตอริง 10 30 และ 50 วัตต์

2. การวิเคราะห์คุณสมบัติการเปล่งแสงของฟิล์มบางด้วยเทคนิคโฟโตลูมิเนสเซนต์ (Photoluminescence: PL)

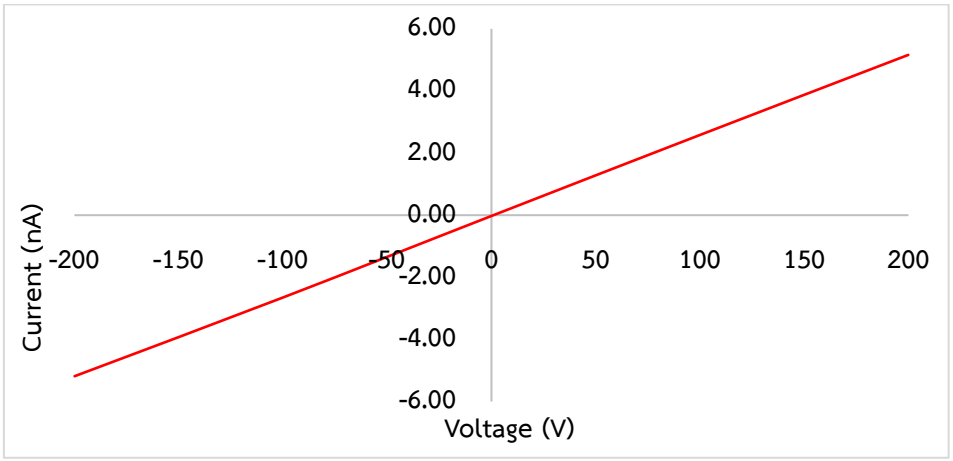
ผลของการวิเคราะห์คุณสมบัติการเปล่งแสงของฟิล์มบาง โดยใช้เทคนิคโฟโตลูมิเนสเซนต์ พบว่าเมื่อใช้การกำเนิดพลังงานกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 200 นาโนเมตร ฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ที่สังเคราะห์ได้จากกำลังสปัตเตอริงที่ 10 30 และ 50 วัตต์ ถูกนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติการเปล่งแสง ได้ผลวิเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 4 จากผลการวิเคราะห์พบว่า ผลึกเมื่อโดนกระตุ้นด้วยแสงความยาวคลื่น 200 นาโนเมตร ผลึกมีการเปล่งแสงออกมาในลักษณะพีคหลายพีคในช่วง 420 - 470 นาโนเมตร (อิมรอน, 2560) ซึ่งเป็นช่วงเดียวกับผลึกซีเซียมแคลเซียมไอโอด์ที่ที่ปลูกด้วยเทคนิคบริดแมนสต๊อกบาร์เกอร์ในการนำมาเป็นเป้าสำหรับการทดลอง



รูปที่ 4 แสดงค่าการเปล่งแสงของฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ในช่วง 420 - 470 นาโนเมตร โดยใช้แสงกระตุ้นที่ 200 นาโนเมตร

3. การวิเคราะห์คุณสมบัติไฟฟ้าด้วยปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall effect)

ผลของการวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง พบว่า เมื่อนำฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ที่ได้จากการปลูกด้วยการตั้งค่ากำลังสปัตเตอริงที่ 10 30 และ 50 วัตต์ มาวิเคราะห์คุณสมบัติไฟฟ้าด้วยการวัดความสัมพันธ์ I-V ตามกฎของโอห์ม จากปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall effect) ได้ผลวิเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 5 จากผลการวิเคราะห์พบว่า ฟิล์มบางที่ปลูกด้วยกำลังสปัตเตอริง 10 วัตต์ และ 30 วัตต์ ไม่สามารถวัดความต้านทานไฟฟ้าได้ ส่วนฟิล์มบางที่ปลูกด้วยกำลังสปัตเตอริง 50 วัตต์ ความต้านทานไฟฟ้า 26.2 เมกะโอห์ม สภาพต้านทานไฟฟ้า 0.3735 กิโลโอห์มต่อตารางเซนติเมตร และค่าความหนาแน่นของประจุพาหะ 2.935×10^{15} ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร



รูปที่ 5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดัน (IV Curve) ของฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ที่กำลังสปัตเตอริง 50 วัตต์

ตารางที่ 2 สรุปการสังเคราะห์ฟิล์มบางแบบสปัตเตอริงประเภท RF-Magnetron sputtering

หัวข้อวิเคราะห์	กำลังสปัตเตอริง		
	10 วัตต์	30 วัตต์	50 วัตต์
อัตราการปลูกฟิล์ม	หาค่าไม่ได้	480 นาโนเมตร	400 นาโนเมตร
ความสมบูรณ์ของผลึก	โครงสร้างลูกบาศก์	โครงสร้างลูกบาศก์	โครงสร้างลูกบาศก์
คุณสมบัติการเปล่งแสง	หลายพีค 420-470 นาโนเมตร	หลายพีค 420-470 นาโนเมตร	หลายพีค 420-470 นาโนเมตร
คุณสมบัติไฟฟ้า	วัดไม่ได้	วัดไม่ได้	ความต้านทานไฟฟ้า 26.2 เมกะโอห์ม

การอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ที่ปลูกด้วยเทคนิคสปัตเตอริงในคุณสมบัติด้านต่าง ๆ พบว่า การวิเคราะห์คุณสมบัติโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ จะสังเกตเห็นว่า พีคในแต่ละระนาบของชิ้นงานเพิ่มสูงขึ้น อันเนื่องมาจากชิ้นงานมีความเป็นฟิล์มมากขึ้น โดยเฉพาะที่ระนาบ CsI(200) ที่กำลังสปัตเตอริง 50 วัตต์ สามารถสังเกตเห็นโครงสร้างนี้ชัดเจนมากขึ้น นอกจากนี้ที่กำลังสปัตเตอริงต่ำ ๆ ยังพบโครงสร้างของระนาบ Si(100) ของฐานรอง (Kana et al., 2005) แต่เมื่อใช้กำลังสปัตเตอริงสูงขึ้นในการสังเคราะห์ฟิล์มบาง ระนาบของฐานรองดังกล่าวจะค่อนลดลง จากผลการวิเคราะห์ที่ได้ เมื่อนำไปคำนวณตามสมการ Bragg's Law ทำให้ทราบค่าคงที่แลตทิซของโครงสร้างผลึกของซีเซียมไอโอไดด์คือ 4.5622 ± 0.0024 Å เมื่อเปรียบเทียบกับค่ากำหนดทางทฤษฎีที่มีค่าคงที่แลตทิซ 4.5620 แสดงว่ามีความคลาดเคลื่อนจากทฤษฎี 0.004% โดยค่าคงที่แลตทิซของผลึกที่ปลูกได้มีค่ามากกว่าค่าคงที่แลตทิซทางทฤษฎี (Balamurugan et al., 2005) นั่นบ่งบอกว่า ฟิล์มบางที่สังเคราะห์ได้เป็นฟิล์มที่มีความเค้นแบบยืดออกที่น้อยมาก ๆ โดยสรุปแล้วโครงสร้างฟิล์มมีคุณภาพที่ดีเกิดจากการสังเคราะห์ที่กำลังสปัตเตอริง 50 วัตต์ การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพด้านตัดขวางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูงชนิดฟิลด์อีมิสชัน พบว่า ฟิล์มบางที่สังเคราะห์ด้วยกำลังสปัตเตอริง 30 วัตต์ มีความหนามากกว่าฟิล์มบางที่ปลูกด้วยกำลังสปัตเตอริง 50 วัตต์ แต่ลักษณะทางกายภาพตัดขวางของฟิล์ม 50 วัตต์ มีความหนาแน่นการก่อตัวของฟิล์มที่ดีกว่า การวิเคราะห์คุณสมบัติการเปล่งแสงของฟิล์มบางด้วยเทคนิคโฟโตลูมิเนสเซนต์ พบว่า ฟิล์มบางทั้ง 3 ตัวอย่างอาจมาจากการที่ผลึกมีโครงสร้างแบบพหุผลึก และฟิล์มบางที่มีค่าการเปล่งแสงสูงสุดคือ ฟิล์มที่สังเคราะห์ด้วยกำลังสปัตเตอริง 50 10 และ 30 วัตต์ ตามลำดับ เนื่องจากฟิล์มที่สังเคราะห์ด้วยกำลัง 50 วัตต์ มีความหนาแน่นการก่อตัวของฟิล์มที่ดีที่สุด การวิเคราะห์คุณสมบัติไฟฟ้าด้วยปรากฏการณ์ฮอลล์ พบว่า ค่าความหนาแน่นของประจุพาหะเท่ากับ 2.935×10^{15} ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งบ่งบอกได้ว่าฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ที่ปลูกได้นั้นเป็นสารกึ่งตัวนำประเภทพี (Amnah et al., 2022)

บทสรุป

ในการสังเคราะห์ฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ภายใต้สภาวะเงื่อนไขของกำลังสปัตเตอริง กำลังสปัตเตอริงที่เหมาะสมคือ 50 วัตต์ ได้ฟิล์มบางซีเซียมไอโอไดด์ที่มีคุณภาพผลึกที่ดี มีค่าคงที่แลตทิซของโครงสร้างผลึกของซีเซียมไอโอไดด์คือ 4.5622 ± 0.0024 Å ภายใต้ความเค้นแบบยืดออกน้อยมาก ๆ ที่ -0.004% โดยฟิล์บางมีความหนา 200 นาโนเมตรและมีการก่อตัวของฟิล์มบางที่หนาแน่น อัตราการปลูกฟิล์มซีเซียมไอโอไดด์ 400 นาโนเมตรต่อชั่วโมง ฟิล์มมีคุณสมบัติในการเปล่งแสงที่ดี และมีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำประเภทพี ซึ่งมีความหนาแน่นของประจุพาหะ 2.935×10^{15} ต่อลูกบาศก์

เซนติเมตร ดังนั้นจากผลการศึกษาทั้งหมดแสดงให้เห็นว่า ฟิล์มซีเซียมไอโอไดด์นี้สามารถนำไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์หรืออุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดรังสีได้ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความร่วมมือทางวิชาการกับศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) และศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (NANOTEC) โดยให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือสำหรับการสังเคราะห์และการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของฟิล์มบาง และให้ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

อิมรอน วาเด็ง. (2560). การพัฒนาผลึกซีเซียมไอโอไดด์โดยเทคนิคการเจือสารร่วมหลายชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมนิวเคลียร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Amnah S. Abd-Alrahman, Raid A.I., Mudhafar A. and Mohammed. (2022). Colloidal synthesis of cesium iodide nanocrystals for visible-enhanced photodetection applications. Physica. 143.

Almeida J., Amadon A., Besson P., Bourgeois P., Braem A., Breskin A., Buzulutskov A., Chechik R., Coluzza C., Di Mauro A., Friese J., Homolka J., Ljubicic Jr. A., Margaritondo G., Miné Ph., Nappi E., Dell'Orto T., Paic G., Piuz F., Posa F., Santiard J.C., Sgobba S., Vasileiadis G. and Williams T.D. (1995). Review of the development of cesium iodide photocathodes for application to large rich detectors. European Organization for Nuclear Research. 95–63.

Balamurugan N., Arulchaaravarthi A., Selvakumar S., Lenin M., Rakesh K., Muralithar S., Sivaji K. and Ramasamy P. (2005). Growth and characterization of undoped and thallium doped cesium iodide single crystals. Journal of Crystal Growth. 286(2): 294-299.

Breskin A., Chechik R., Dangendorf V., Majewski S., Malamud G., Pansky A. and Vartsky D. (1991). New approaches to spectroscopy and imaging of ultrasoft-to-hard x-rays. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 310: 57-69.

Fraser G.W. and Pearson J.F. (1984). Soft x-ray energy resolution with microchannel plate detectors of high. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 219: 199-212.

Frumkin I., Breskin A., Chechik R., Elkind V. and Notea A. (1993). Properties of CsI - based gaseous secondary emission X-ray imaging detector. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 329: 337-347.

Kana O., Toshikazu H. and Toshihiro N. (2005). Analysis of crystalline phases in airborne particulates by grazing incidence X-ray diffractometry. The Royal Society of Chemistry. 1059-1064.

Phannee S., Sakuntam S., Manit J., Kulthawat C., Chadet Y., Decho T., Visittapong Y., Chanchana T. and Noppadon N. (2016). Impact of precursor purity on optical properties and radiation detection of CsI:Tl scintillators. Applied physics. 122, 729.

Prawit B., Phannee S., Kulthawat C., Decho T., Kittidhaj D., Visittapong Y., Akapong P., Jakrapong K., Nuchjaree K. and Nakarin S. (2023). Calcium-doped cesium iodide scintillator for gamma-ray spectroscopy. Journal of Materials Science. Materials in Electronics. 34: 96.

Rabus H., Kroth U., Richter M., Ulm G., Friese J., Gernhauser R., Kastenmuller A., Maier-Komor P. and Zeitelhack K. (1999). Quantum efficiency of cesium iodide photocathodes in the 120-220 nm spectral range traceable to a primary detector standard. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 438: 94-103.

Simons D.G., Fraser G.W., De Korte P.A.J., Pearson J.F. and De Jong L. (1987). UV AND XUV quantum detection efficiencies of CsI-coated microchannel plates. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 261: 579-586.

Triloki Garg P., Rai R. and Singh B.K. (2014). Structural characterization of “as-deposited” cesium iodide films studied by X-ray diffraction and transmission electron microscopy techniques. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 736: 128-134.

Triloki Rai R. and Singh B.K. (2015). Optical and structural properties of CsI thin film photocathode. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 785: 70-76.