



# การวิเคราะห์ตัวอย่าง โดยโกลดิสซาร์จออปติกอลอิมิสซันสเปกโทรเมตรี (Glow Discharge Optical Emission Spectrometry, GD-OES)

เรียบเรียงโดย

วันดี ลือสายวงศ์

**ปัจจุบัน** เทคนิคสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างในสภาพที่เป็นของแข็งได้พัฒนาไปอย่างต่อเนื่อง ข้อดีของการวิเคราะห์ตัวอย่างของแข็งต่างๆ เช่น โลหะ แก้ว เซรามิก ในสภาพที่ไม่ต้องถูกทำลายคือ

1) สามารถลดปริมาณการใช้สารเคมีและกรดต่างๆ ในขั้นตอนของการเตรียมตัวอย่างให้อยู่ในสภาพของสารละลายเพื่อการวิเคราะห์โดยเครื่องมือพิเศษ (instrumental analysis) เช่น อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมตรี

2) สามารถลดเวลาที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ทดสอบ และ

3) ทำให้ปริมาณมลภาวะที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ตัวอย่างของเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาค่าประกอบทางเคมีของของแข็ง ตัวอย่างโดยตรงเช่น เอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF) และสปาร์กอิมิสซันสเปกโทรเมตรี (Spark Emission Spectrometry) นอกจากนี้แล้ว เทคโนโลยีด้านเครื่องมือได้พัฒนาไปอย่างมาก ทำให้เกิดเทคนิคใหม่ๆ สำหรับการวิเคราะห์ของแข็งเพื่อหาค่าประกอบทางเคมี

และหาความหนา/ลึก (quantitative depth profiling) อันเนื่องมาจากการเคลือบ ชุบ หรือการสึกกร่อนของผิวตัวอย่างได้ ตัวอย่างของเทคนิคที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์พื้นผิว (surface analysis) เช่น เซคันดารีไอออนแมสสเปกโทรเมตรี (Secondary Ion Mass Spectrometry, SIMS) เอกซ์เรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรเมตรี (X-ray Photoelectron Spectrometry, XPS) และโกลดิสซาร์จสเปกโทรเมตรี (Glow Discharge Spectrometry, GDS) เป็นต้น

สำหรับบทความนี้จะกล่าวถึงหลักการโดยย่อของโกลดิสซาร์จและเน้นเฉพาะโกลดิสซาร์จออปติกอลอิมิสซันสเปกโทรเมตรี (Glow Discharge Optical Emission Spectrometry) ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างเพื่อหาค่าประกอบทางเคมีและ/หรือความหนาของการเคลือบ การชุบ หรือการสึกกร่อนได้อย่างถูกต้อง แม่นยำและรวดเร็ว เทคนิคนี้สามารถใช้ในการตรวจสอบธาตุส่วนใหญ่ในตารางธาตุทั้งที่เป็นโลหะและไม่เป็นโลหะ หลักการทำงานของเครื่อง

ค่อนข้างง่าย ผู้ปฏิบัติการจึงไม่จำเป็นต้องมีทักษะและความชำนาญสูง นอกจากนี้แล้วค่าใช้จ่ายในการลงทุนและการบำรุงรักษาก็ค่อนข้างต่ำ ด้วยเหตุผลเหล่านี้ทำให้มีการศึกษาวิจัยเพื่อประยุกต์ใช้เทคนิคนี้กับชนิดของตัวอย่างต่างๆ มากมาย ทั้งในการหาค่าประกอบทางเคมีและการวิเคราะห์พื้นผิวหาความหนา/ลึก ซึ่งผลจากการวิจัยดังกล่าวทำให้เทคนิคนี้เป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางในแวดวงของนักวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์พื้นผิว ในปัจจุบันโกลดิสซาร์จออปติกอลอิมิสซันสเปกโทรสโคปีจึงเป็นเทคนิคที่ได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพสูงสำหรับการวิเคราะห์พื้นผิว

## ประวัติความเป็นมา

โกลดิสซาร์จ (Glow Discharge หรือเรียกอย่างย่อว่า “GD”) ถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1852 โดย W.R. Grove ซึ่งรายงานถึงแคโทดิสซัปเดตเทอริง (cathodic sputtering) ในโกลดิสซาร์จเซลล์ ซึ่งเป็นการปลดปล่อยอะตอมของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์จากผิวของแคโทด



ทำให้มีการคิดออกแบบเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ครั้งใหญ่ หลายทศวรรษต่อมาความสนใจในเทคนิคนี้เน้นในด้านฟิสิกส์อะตอม (atomic physics) มากกว่าการวิเคราะห์ทางสเปกโทรเคมี (spectrochemical analysis) อุปกรณ์โกลวดิสชาร์จชิ้นแรกที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายสำหรับการวิเคราะห์ทางสเปกโทรเคมีคือแหล่งกำเนิดซอลโลวแคโทด (hollow cathode source) ที่ถูกนำมาใช้ในปี ค.ศ. 1947 แหล่งกำเนิดแสงซอลโลวแคโทดนับว่าเป็นหนึ่งในอุปกรณ์ที่สำคัญมากในสเปกโทรเคมี (spectrochemistry) โดยเฉพาะสำหรับเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรเมตรี (atomic absorption spectrometry, AAS) ต่อมาในปี ค.ศ. 1967 W. Grimm ได้ตีพิมพ์ผลงานของเขาในการสร้างแหล่งกำเนิดโกลวดิสชาร์จ และนำไปสู่การสร้างเครื่องโกลวดิสชาร์จ-ออฟทิกคอลอิมิสชันสเปกโตรมิเตอร์เครื่องแรกในปลายปี ค.ศ. 1970 ต่อมาได้มีผู้สนใจศึกษาถึงสมบัติพื้นฐานและความสามารถในการวิเคราะห์ของเทคนิคนี้โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความเป็นไปได้ในการวิเคราะห์ที่สามารถแสดงผลในรูปแบบของความหนา (depth-profiling analysis) ซึ่งเป็นสิ่งที่ดึงดูดความสนใจสำหรับนักวิจัยหลายท่านในช่วงต่อมา นักวิจัยทั้งในยุโรปและสหรัฐอเมริกาได้รายงานถึงความสามารถของโกลวดิสชาร์จในการวิเคราะห์พื้นผิว (surface analysis) เพื่อหาความหนาของการเคลือบหรือการชุบ จนกระทั่งปี ค.ศ. 1978 W. Grimm ได้ร่วมมือกับบริษัท

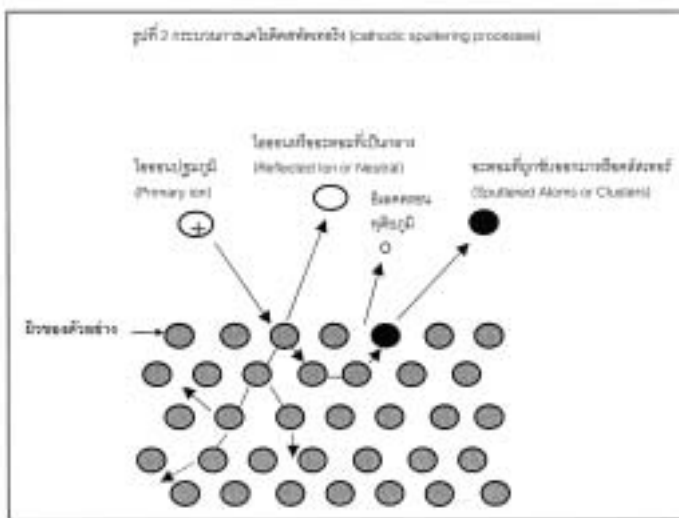
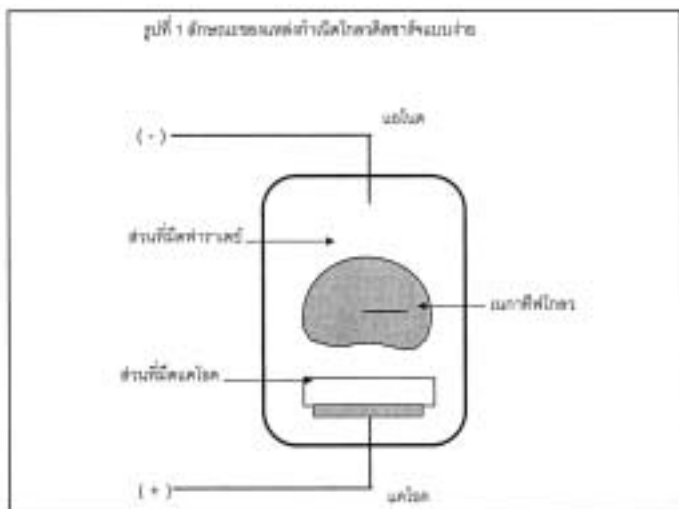
ผลิตเครื่องโกลวดิสชาร์จออฟทิกคอลอิมิสชันสเปกโตรมิเตอร์เครื่องแรกเพื่อจำหน่าย เครื่องมือนี้เป็นที่นิยมสำหรับอุตสาหกรรมโลหะและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโลหะโดยเฉพาะในประเทศเยอรมนี ฝรั่งเศส และญี่ปุ่น ปัจจุบันการศึกษาทางทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการที่เกิดขึ้นในโกลวดิสชาร์จและการประยุกต์เพื่อใช้กับการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ถูกผลิตด้วยเทคโนโลยีใหม่ๆ ยังเป็นไปอย่างต่อเนื่อง เป็นสิ่งที่พิสูจน์ว่าเทคนิคนี้มีศักยภาพสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการวิเคราะห์พื้นผิว

#### หลักการโดยย่อของโกลวดิสชาร์จ

ความจริงแล้วปรากฏการณ์ของโกลวดิสชาร์จไม่ใช่เรื่องแปลกใหม่ อย่างที่ทราบกันว่าโดยทั่วไปก๊าซมีสมบัติเป็นฉนวนและมีความเสถียร อย่างไรก็ตามปรากฏการณ์การแตกตัว (breakdown phenomena) ของก๊าซก็สามารถพบเห็นได้ในสภาวะที่มีไฟฟ้ากำลังสูง เช่น ในกรณีของฟ้าผ่า ฟ้าแลบ หรือประกายที่เกิดจากไฟฟ้ลัดวงจร โกลวดิสชาร์จที่ความดันต่ำ (low pressure glow discharges) ที่กำลังกล่าวถึงนี้เป็นลักษณะของปรากฏการณ์การแตกตัวอย่างหนึ่งในสภาวะที่ก๊าซแตกตัวเป็นไอออน ทำให้สามารถนำไฟฟ้าได้ โกลวดิสชาร์จสามารถถูกสร้างอย่างง่ายโดยใช้หลอดแก้วปลายปิดที่มีขั้วไฟฟ้า (electrode) ทั้งสองข้าง เมื่อทำให้สภาพในหลอดแก้วเป็นสุญญากาศแล้วปล่อยก๊าซเฉื่อยเช่นอาร์กอนที่ความดันต่ำระดับมิลลิทอร์ไปจนถึงความดันบรรยากาศเข้าไป และให้

ความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองในระดับร้อยโวลต์ไปจนถึง 200-300 กิโลโวลต์ทำให้เกิดพลาสมาภายในหลอดแก้วนี้ซึ่งเรียกว่าโกลวดิสชาร์จเซลล์ ทำให้หลอดแก้วมีแสงเปล่งออกมาซึ่งเป็นที่มาของคำว่า “glow”

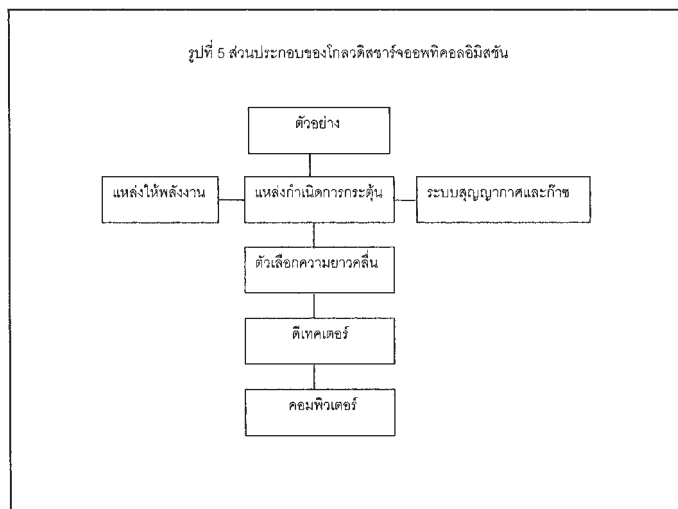
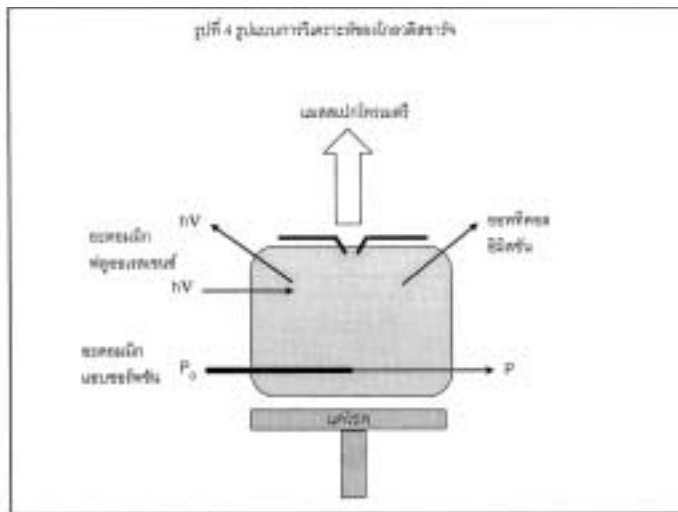
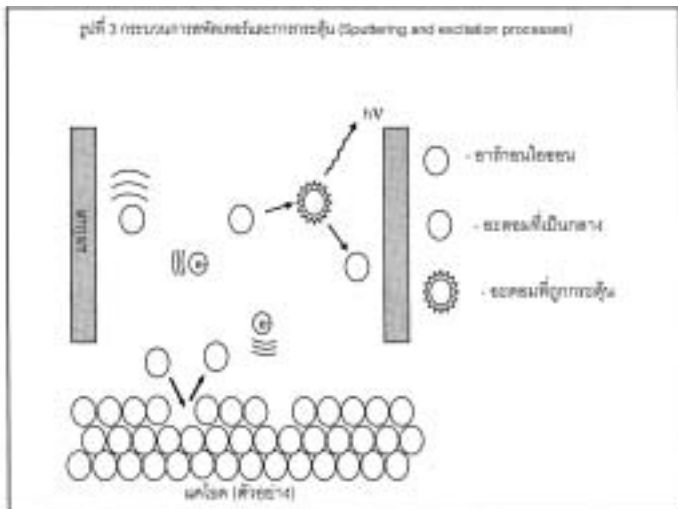
สำหรับการศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคนิคนี้ โดยทั่วไปใช้ความต่างศักย์ชนิดกระแสตรง (direct current (dc) voltage) เป็นแหล่งให้พลังงาน อย่างไรก็ตามความต่างศักย์ชนิดคลื่นความถี่วิทยุ (radio frequency (rf) voltage) ก็สามารถใช้ได้ดีในการประยุกต์ใช้กับตัวอย่างบางประเภท วิธีที่ง่ายที่สุดในการอธิบายถึงโกลวดิสชาร์จสามารถทำได้โดยใช้หลักการพื้นฐานของการปล่อยประจุชนิดกระแสตรง (dc discharge) ก่อน แล้วจึงอธิบายถึงการปล่อยประจุชนิดคลื่นความถี่วิทยุ (rf discharge) ซึ่งใช้หลักการพื้นฐานเช่นเดียวกัน แหล่งกำเนิดโกลวดิสชาร์จ (glow discharge source) ชนิดง่ายสำหรับการประยุกต์ใช้ทางการวิเคราะห์ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่สำคัญดังแสดงในรูปที่ 1 จากรูปจะเห็นว่าแหล่งกำเนิดทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนดและตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ทำหน้าที่เป็นขั้วแคโทด เมื่อเกิดดิสชาร์จหรือพลาสมาขึ้น ในพลาสมาจะประกอบด้วยส่วนสำคัญสามส่วนคือ ส่วนที่มีดบริเวณแคโทด (cathode dark space, CDS) เนกาทีฟโกลว (negative glow, NG) และส่วนที่มีดฟาราเดย์ (Faraday dark space, FDS) เนกาทีฟโกลวเป็นส่วนที่มีการเปล่งแสงที่สว่างจึงเป็น



ที่มาของชื่อเทคนิค การเปล่งแสงในช่วงคลื่นที่สามารถมองเห็นได้นี้เป็นผลมาจากการชนกันที่มีการแลกเปลี่ยนพลังงาน กล่าวคือการชนที่มาจาก การกระตุ้นในสถานะก๊าซและการแตกตัวเป็นไอออน ในส่วนทั้งหมดที่กล่าวมานี้มีเพียงส่วนที่มีบริเวณแคโทด (CDS) และเนกาทีฟโกลว (NG) ที่ปรากฏอยู่ระหว่างขั้วทั้งสองในอุปกรณ์ทางการวิเคราะห์ของ โกลวดิสชาร์จ (analytical GD devices) เพราะส่วนทั้งสองใน โกลวดิสชาร์จพลาสมาเป็นส่วนที่ให้ ข้อมูลที่มีประโยชน์มากที่สุดสำหรับการวิเคราะห์

เมื่อให้ความต่างศักย์ที่เป็นลบที่ขั้วแคโทด (ตัวอย่าง) จะเกิดปรากฏการณ์ที่ทำให้อิเล็กตรอนถูกส่งออกมาจากแคโทดโดยการเปล่งรังสีทุกทิศทาง (omnipresent cosmic radiation) ด้วยความเร็วสูงเพื่อเคลื่อนที่ผ่านพลาสมาไปยังอีกขั้วหนึ่งที่มีความต่างศักย์เป็นบวก ระหว่างการเคลื่อนที่ผ่านพลาสมา อิเล็กตรอนเหล่านี้จะชนกับอาร์กอน ไอออนที่เป็นบวกที่เกิดจากอาร์กอนอะตอม ไอออนบวกของอาร์กอนเหล่านี้จะถูกดึงดูดโดยขั้วที่เป็นลบที่ซึ่งมันจะเข้าชนด้วยพลังงานที่มากพอที่จะทำให้อะตอมที่ผิวของแคโทด

หลุดออกมาดังแสดงในรูปที่ 2 กระบวนการนี้เป็นที่รู้จักกันในชื่อของแคโทดสปัตเทอริง (cathodic sputtering processes) ซึ่งถือว่าเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดอะตอม (atomization) ในโกลวดิสชาร์จเมื่ออะตอมที่ถูกขับออกมาจากผิวของแคโทดเคลื่อนที่เข้าไปยังส่วนของพลาสมา มันจะถูกกระตุ้นโดยการชนกับอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงกว่าหรือชนกับอาร์กอนอะตอมกึ่งเสถียร (metastable argon atoms) ที่ถูกกระตุ้นแล้ว จากนั้นอะตอมที่ถูกกระตุ้นเหล่านี้จะกลับลงสู่สภาวะปกติโดยการเปล่งแสงที่มองเห็นได้ (optical emission) ดังแสดงในรูปที่ 3 กระบวนการนี้คือที่มาของชื่อเฉพาะ "โกลวดิสชาร์จ" การเปล่งแสงของอะตอมที่ถูกกระตุ้นเพื่อกลับลงสู่สภาวะปกติเป็นสมบัติเฉพาะตัวตามความยาวคลื่นของแต่ละธาตุ โดยการคำนวณสัญญาณที่ความยาวคลื่นเหล่านี้ เราสามารถคำนวณจำนวนของอะตอมแต่ละประเภทที่มาจากแคโทด นอกจากการชนที่ทำให้เกิดการกระตุ้น ยังมีการชนกันที่ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออน (ionization collisions) ทำให้มีคู่ของไอออนกับอิเล็กตรอน (ion-electron pairs) กระบวนการนี้เกิดเนื่องจากไอออนถูกเร่งด้วยความเร็วออกจากแคโทด (ดูรูปที่ 2) ที่ซึ่งมันปลดปล่อยอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electrons) อิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกเร่งด้วยความเร็วออกจากแคโทดเช่นกัน และสามารถทำให้เกิดการชนกันที่ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนมากขึ้น กระบวนการ



เปล่งแสงของอิเล็กตรอนทุติยภูมิที่แคโทดและการแตกตัวเป็นไอออนในก๊าซนี้ทำให้พลาสมาสามารถคง

อยู่ได้ (self-sustained plasma) รูปแบบของการวิเคราะห์สามารถทำได้โดยอาศัยแหล่งกำเนิด

ไมโครดิซาร์จ แสดงในรูปที่ 4 เนื่องจากสปีชีส์ (species) ส่วนใหญ่ที่ถูกขับออกมาจากผิวตัวอย่างโดยไมโครดิซาร์จพลาสมาเป็นอะตอมที่มีสถานะที่เป็นกลาง (ground state neutrals) ธาตุเหล่านี้สามารถวิเคราะห์โดยอะตอมมิคแอ็บซอร์พชันสเปกโทรเมตรี ถ้าธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ถูกกระตุ้นโดยแหล่งกำเนิดโฟตอนภายนอก ธาตุเหล่านี้สามารถวิเคราะห์โดยอะตอมมิคฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรเมตรี เมื่อสปีชีส์ที่ถูกทำให้ออกมาจากตัวอย่างเคลื่อนที่เข้าไปในส่วนของเนกาทีฟโกลว มันจะผ่านกระบวนการชนในแบบต่างๆ ทำให้สปีชีส์ถูกกระตุ้น (excited species) เกิดการเปล่งแสงของโฟตอนที่เป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละธาตุขึ้น ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้ออฟทิกคอลอิมิสชันสเปกโทรเมตรี สำหรับสปีชีส์ที่ผ่านกระบวนการชนที่มีพลังงานมากจะทำให้เกิดเป็นไอออนซึ่งสามารถตรวจวัดได้โดยแมสสเปกโทรเมตรี

### ไมโครดิซาร์จออฟทิกคอลอิมิสชันสเปกโทรมิเตอร์

โดยทั่วไปไมโครดิซาร์จออฟทิกคอลอิมิสชันสเปกโทรมิเตอร์ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดไมโครดิซาร์จออฟทิกคอลอิมิสชันสเปกโทรมิเตอร์ที่เชื่อมต่อกับโฟโตมัลติไฟเออร์ (photomultipliers) ระบบอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการอ่านสัญญาณและคอมพิวเตอร์สำหรับการประมวลผลและบันทึกข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 5 เนื่องจากไมโครดิซาร์จเป็นพลาสมาที่ความดันต่ำจึงจำเป็นต้องมีปั๊มสุญญากาศเพื่อทำให้ได้ความดัน



ตามที่ต้องการและเพื่อนำก๊าซที่ปล่อยเข้าไป (ที่ใช้กันทั่วไปคืออาร์กอนที่ความดัน 2-10 ทอร์) ออกจากดีสชาร์จเซลล์ เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ธาตุในช่วงความยาวคลื่น vacuum และ far-vacuum ultraviolet (ต่ำกว่า 200 นาโนเมตร) ควรมีเซอร์โคเนียมเก็ตเตอร์ (Zr getter) เพื่อควบคุมปริมาณของออกซิเจนที่อาจมีอยู่ในท่อก๊าซ

ตามที่กล่าวมาแล้วว่า การทำให้เกิดดีสชาร์จอาจทำได้โดยการให้ความต่างศักย์ชนิดกระแสตรงหรือความถี่คลื่นวิทยุ (dc or rf potential) การใช้ระบบ pulsed mode ก็สามารถใช้ได้เช่นกัน เนื่องจากการใช้ความต่างศักย์ชนิดกระแสตรงมีข้อจำกัดสำหรับตัวอย่างที่ไม่นำไฟฟ้าจากปัญหาการสะสมของกระแสสุทธิ (net current flow) การวิเคราะห์ตัวอย่างที่ไม่นำไฟฟ้าจึงต้องมีการใช้ตัวช่วยยึดและทำให้ตัวอย่างสามารถนำไฟฟ้าได้เช่นผงทองแดง หรือผงกราฟไฟต์ ต่อมาได้มีการใช้ความต่างศักย์ชนิดความถี่คลื่นวิทยุซึ่งมีข้อดีเหนือกว่าการใช้ความต่างศักย์ชนิดกระแสตรงคือทำให้สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างที่ไม่นำไฟฟ้า เช่น แก้ว เซรามิก ได้ ด้วยเหตุนี้ทำให้การประยุกต์เทคนิคนี้สามารถขยายขอบเขตไปยังตัวอย่างที่ไม่นำไฟฟ้าโดยที่ไม่ต้องใช้สารช่วยให้นำไฟฟ้างดเช่นในกรณีของการใช้ความต่างศักย์ชนิดกระแสตรง อย่างไรก็ตามการใช้ความต่างศักย์แบบความถี่คลื่นวิทยุจำเป็นต้องมีการออกแบบของระบบที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการเกิดอันตรายแก่ผู้ใช้ การสูญเสียพลังงานและการรบกวน

จากระบบอิเล็กทรอนิกส์

เมื่ออะตอมถูกขับออกจากตัวอย่างและผ่านกระบวนการชนต่างๆ จนเกิดการเปล่งแสงที่เป็นสัญญาณโดยสัญญาณเหล่านี้จะออกจากแหล่งกำเนิดหรือโกลวดิสชาร์จเซลล์ผ่านหน้าต่างและถูกแยกโดยเกรตติงเป็นความยาวคลื่นที่แตกต่างกันตามธาตุที่ถูกวิเคราะห์ แสงที่ถูกแยกแล้วนี้สามารถถูกวิเคราะห์ตามลำดับโดยโมโนโครมาเตอร์ (monochromator) หรือวิเคราะห์หลายธาตุในขณะเดียวกันด้วยโพลีโครมาเตอร์ (polychromator) โมโนโครมาเตอร์ที่ใช้กันทั่วไปคือ Czerny-turner ซึ่งมีความสามารถในการแยกและสภาพไวในการตรวจวัดสูง สำหรับโพลีโครมาเตอร์ซึ่งถูกออกแบบให้สามารถตรวจวัดธาตุหลายๆ ธาตุพร้อมกันมักเป็นโพลีโครมาเตอร์ที่รู้จักกันในชื่อของ Paschen Runge mount (หรือ Rowland circle polychromator) และ flat field (หรือ Echelle gratings) ในปัจจุบันมีการใช้ flat field มากขึ้นเนื่องจากการพัฒนาของตัวตรวจวัดแบบโซลิดสเตต (solid state detectors) เช่น charge injection devices (CID), charge coupled devices (CCD) และ photodiode arrays (PDA) อย่างไรก็ตาม ตัวตรวจวัดกึ่งตัวนำไฟฟ้าเหล่านี้มีการตอบรับต่อสัญญาณที่ช้า มี dark current สูง และความสามารถในการแยกที่ต่ำกว่าการใช้หลอดโฟโตมัลติไฟเออร์

## การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative analysis)

1. การวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อหาองค์ประกอบทางเคมี (Bulk analysis)

การวิเคราะห์เพื่อหาองค์ประกอบทางเคมีโดยเทคนิคโกลวดิสชาร์จสามารถทำได้เช่นเดียวกับเทคนิคทางอิมิสชันอื่นๆ กล่าวคือธาตุที่สนใจจะถูกวิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบการตอบสนองของธาตุนั้นกับความเข้มของแสงจากสารมาตรฐาน การวิเคราะห์ทำได้โดยการสร้างกราฟมาตรฐานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงจากธาตุที่ต้องการวิเคราะห์กับความเข้มของธาตุนั้นที่มาจากสารมาตรฐาน การสร้างกราฟมาตรฐานและการวิเคราะห์ของตัวอย่างควรมีวิธีการเตรียมตัวอย่างที่เหมือนกันและสภาวะที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ที่เหมือนกันเพื่อให้มีความแม่นยำและความเที่ยงสูง ในปัจจุบันยังเป็นการยากที่จะหาชุดของสารมาตรฐานที่มีองค์ประกอบหลัก (matrix) เช่นเดียวกับตัวอย่างที่วิเคราะห์ ดังนั้นการสร้างกราฟมาตรฐานจึงทำได้โดยใช้สารมาตรฐานที่มีความใกล้เคียงกันเช่นชุดของเหล็กเจือต่ำ (low alloy steel)

ตัวอย่างของการประยุกต์ของโกลวดิสชาร์จออปติคอลอิมิสชันสเปกโทรมิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์เพื่อหาองค์ประกอบทางเคมีเช่น

- โลหะต่างๆ เช่น เหล็กเจือต่ำ อะลูมิเนียม ทองแดง
- ตัวอย่างที่เป็นผง เช่น ผงโลหะทองแดง ตัวอย่างสารประกอบออกไซด์



- แก้ว
- เซรามิก
- พอลิเมอร์

2. การวิเคราะห์เชิงปริมาณ เพื่อหาความหนา (Quantitative depth profiles)

เนื่องจากการเข้าชนของ อาร์กอนไอออนที่ผิวของตัวอย่าง มีผลทำให้อะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในตัวอย่างหลุดออกมาจากผิว กระบวนการนี้จะเกิดในระดับอะตอม ซึ่งสามารถมองว่าเมื่อเกิดการทำให้อะตอมหลุดออกจากผิว (sputtering) อะตอมในชั้นของอะตอมหนึ่งๆ จะถูกขับออกมาแบบชั้นต่อชั้น (layer-by-layer) เมื่อเวลาของการทำให้อะตอมหลุดออกจากผิวผ่านไปชั้นของอะตอม จะหลุดออกมาอย่างต่อเนื่อง ทำให้เห็นการก่อก้อนเข้าไปในเนื้อของตัวอย่างซึ่งความลึกจะขึ้นอยู่กับสภาวะและเวลาที่ใช้การวิเคราะห์ ดังรูปที่ 6 ซึ่งแสดงถึงตัวอย่างที่ถูกเคลือบหลายชั้น เมื่อเวลาของการวิเคราะห์ผ่านไป ภาพของการวิเคราะห์ทำให้เห็นว่าตัวอย่างถูกเคลือบสามชั้น ข้อมูลเหล่านี้ยัง

สามารถบอกถึงความหนาของการเคลือบได้ด้วย อย่างไรก็ตามที่ 6 แสดงถึงการวิเคราะห์เชิงคุณภาพเท่านั้น เนื่องจากเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มแสงกับเวลา การทำให้การวิเคราะห์นี้เป็น การวิเคราะห์เชิงปริมาณสามารถทำได้โดยยึดหลักการเดียวกับการวิเคราะห์เพื่อหาองค์ประกอบทางเคมี ทั้งนี้เนื่องจากการขับธาตุที่สนใจออกจากผิวของตัวอย่างจะเป็นไปแบบชั้นต่อชั้นของอะตอม ดังนั้นการวิเคราะห์ที่ทุกๆ หน่วยความถี่ของเวลาที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลเช่นทุกๆ 1 วินาที ทำให้สามารถทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณสำหรับการหาความหนาได้ เมื่อประกอบกับข้อมูลความลึกจากการวิเคราะห์และความเข้มข้นของธาตุที่มาจากกลุ่มของสารมาตรฐานจะสามารถคำนวณและทำการพลอตเป็นความเข้มข้นกับความลึก ซึ่งนำไปสู่การวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อหาความหนาได้

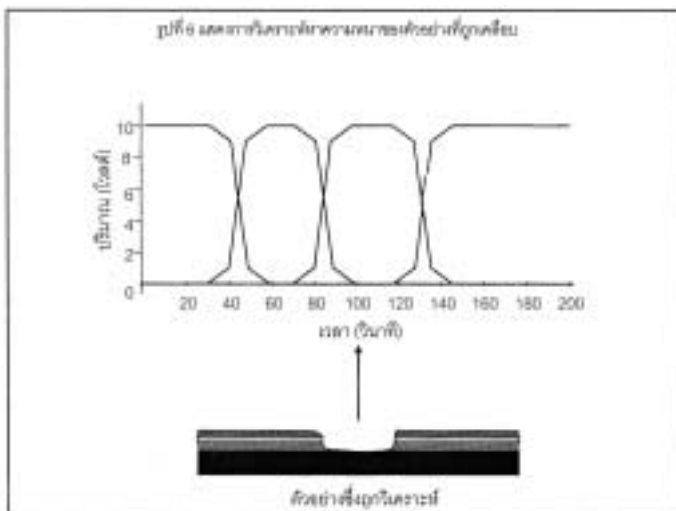
ตัวอย่างของการประยุกต์ใช้ โกลดิสซาร์จออฟฟิคอลอิมิสชันสเปกโตรมิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์เชิง

ปริมาณเพื่อหาความหนา เช่น

- การชุบเคลือบของโลหะ เช่น การชุบเคลือบของอะลูมิเนียมสังกะสี และซิลิคอนบนเหล็ก
- การหาความหนาของออกไซด์ฟิล์มบนผิวโลหะเช่นเหล็ก เหล็กกล้าไร้สนิม และโลหะผสมนิกเกิล
- การหาการสึกกร่อนเช่น การสึกกร่อนของเหล็ก และเหล็กกล้าไร้สนิม
- การหาความหนาของการเคลือบสำหรับเซมิคอนดักเตอร์และอุปกรณ์ทางคอมพิวเตอร์ เช่น อะลูมิเนียมฮาร์ดดิสก์ซึ่งอยู่ในฮาร์ดไดรฟ์
- การศึกษาเกี่ยวกับการแพร่ในโลหะผสมที่มีหลายชั้น

**บทสรุป**

โกลดิสซาร์จออฟฟิคอลอิมิสชันสเปกโตรมิเตอร์นับว่าเป็นเทคนิคที่จะมีความสำคัญมากขึ้นในอนาคต ดังได้กล่าวมาแล้วว่าเทคนิคนี้มีหลักการที่ค่อนข้างง่าย สามารถใช้ในการตรวจสอบธาตุส่วนใหญ่ในตารางธาตุทั้งที่เป็นโลหะและไม่เป็นโลหะ ผลการวิเคราะห์ทดสอบมีความถูกต้องแม่นยำสูง นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ได้กว้างขวางทั้งในการวิเคราะห์ทางเคมีและการวิเคราะห์พื้นผิว ทำให้โกลดิสซาร์จออฟฟิคอลอิมิสชันสเปกโตรมิเตอร์เป็นเทคนิคที่น่าสนใจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับภาคอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับการผลิตวัสดุด้วยเทคโนโลยีขั้นสูงเช่น อุตสาหกรรมการเคลือบสีรถยนต์ การผลิตฮาร์ดดิสก์ และการผลิตเซมิคอนดักเตอร์ ซึ่งจำเป็นต้อง





ตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการเคลือบหรือชุบด้วยความหนาในระดับไมโครเมตรลงไปถึงระดับนาโนเมตร สำหรับกรมวิทยาศาสตร์บริการ ในปัจจุบันสามารถให้บริการวิเคราะห์ทางเคมีของโลหะ เช่น เหล็ก เหล็กกล้าไร้สนิม และอะลูมิเนียม โดยสปาร์กอิมิสชันสเปกโทรเมตรี

นอกจากนี้ยังมีการให้บริการการหาความหนาของการเคลือบ/ชุบในระดับไมโครเมตรด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Optical microscope) หรือกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง (Scanning electron microscope) ในอนาคตเพื่อเป็นการเพิ่มศักยภาพของห้องปฏิบัติการ

ให้สามารถรองรับงานที่ผลิตด้วยเทคโนโลยีขั้นสูงที่มีการเคลือบ/ชุบด้วยความหนาในระดับนาโนเมตร อาจจำเป็นต้องจัดหาเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์พื้นผิวเพิ่มขึ้น โกลด์สซาร์จออกพิกคอลลิมิสชันสเปกโทรเมตรีนับว่าเป็นหนึ่งในบรรดาเทคนิคเหล่านี้ที่น่าพิจารณา



## เอกสารอ้างอิง

- Bengtson, A.; and Payling, R. **Glow discharge optical emission spectrometry**. Edited by R. Payling; D.G. Jones; and Bengtson. New York : Wiley, 1997, chap. 1. p.3-10, 20-44.
- Bogaerts, A; and Gijbels, R. Fundamental aspects and applications of glow discharge spectrometric techniques (Review). **Spectrochimica Acta Part B**. 1998, vol. 53, p.1-42.
- Luesaiwong, W. Application of radio frequency glow discharge optical emission spectrometry on bulk and depth resolved analysis of solid materials. **Ph.D. Dissertation Clemson University**, South Carolina : Clemson University, 2003. p.1-48.
- Marcus, R.K. Radiofrequency powered glow discharges : opportunities and challenges. **Journal of Analytical Atomic Spectrometry**, September, 1996, vol. 11, p. 821-828.

การหาสภาวะที่ดีที่สุดของวิธีวิเคราะห์ (ต่อจากหน้า 35)

จากการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างความเข้มข้นของอะลูมิเนียมไอออน และฟลูออไรด์ไอออนของวิธีวิเคราะห์เซอร์โคเนียมด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยวิธี simplex optimization พบว่าเมื่อทำการทดลองจำนวน 19 ครั้ง จะได้อัตราส่วนที่เหมาะสม คือ การทดลองที่ 17 ที่ความเข้มข้นของอะลูมิเนียมไอออนและฟลูออไรด์ไอออนเท่ากับ 350 และ 810 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองที่ 17 เป็นการทดลองที่ให้ค่าสูงสุดติดต่อกัน 3 ครั้ง จึงถือว่าการทดลองนี้เป็นการทดลองที่มีสภาวะที่ดีที่สุด

จะเห็นได้ว่าการนำเทคนิค simplex optimization มาใช้ในการหาสภาวะที่เหมาะสมของวิธีวิเคราะห์จะช่วยประหยัดทั้งเวลา และค่าใช้จ่าย นอกจากนี้แล้วยังทำให้วิธีวิเคราะห์ที่ได้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นด้วย.

