

บทที่ 5

การจัดเตรียมการทดลอง PIXE

5.1 บทนำ

สืบเนื่องจากบทที่ 4 ซึ่งเป็นการแนะนำเทคนิคของ PIXE ในบทนี้จะได้เสนอ ทฤษฎี เพื่อ เป็นแนวทางในการจัดการทดลองด้วย เทคนิค PIXE เริ่มจากปริมาณที่ใช้ทำการ อาบรังสี การตรวจวัด เอ็กซ์ เรย์ที่ได้ ระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง การวิเคราะห์สเปก ทรัมที่ปรากฏ ซึ่งรวมถึงปรากฏการณ์แทรกสอด (interference) การเตรียมสารตัวอย่าง และปรากฏการณ์ดูดกลืนพลังงานภายในสารตัวอย่าง ทุกหัวข้อได้แนะนำทฤษฎี ปัญหาต่างๆที่ เกิดซึ่งได้จากบทความต่างๆในวารสารต่างประเทศ และในบางกรณี เป็นความ เห็นของผู้ เขียน เอง

อย่างไรก็ตาม เนื้อหาเกี่ยวกับ PIXE ยังมีแนะนำต่ออีกในบทที่ 6 เกี่ยวกับ กับแนวทาง การตัดสินใจ เลือก เทคนิคการวิเคราะห์ (ถ้ามีโอกาส)

5.2 ปริมาณที่ทำการอาบรังสี

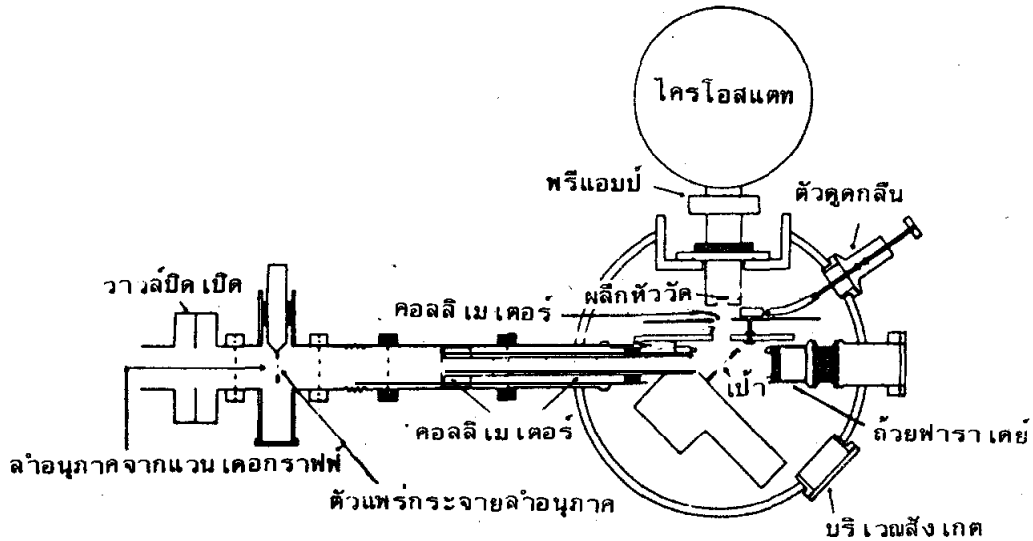
ในยุคแรกเริ่มใช้ PIXE นักวิทยาศาสตร์ใช้ห้องทดลองที่ได้รับการออกแบบสำหรับ งานด้านนิวเคลียร์ฟิสิกส์ (nuclear physics) แต่ในปัจจุบันมีหลายแห่งใช้ห้องทดลองที่มี- ระบบกึ่งอัตโนมัติ ทั้งการเปลี่ยนสารตัวอย่างและการวิเคราะห์ข้อมูล

การออกแบบห้องทดลองต้องคำนึงถึงประโยชน์ใช้สอยอื่นๆอีกด้วย ควรใช้วิเคราะห์ สารตัวอย่างได้หลายแบบ สิ่งสำคัญคือ

- (1) เกิดแบคกราวนด์ต่ำ
- (2) ล่าอนุภาคมีลักษณะ เป็น เนื้อ เดียวกัน และมีความ เข้มพอสมควร
- (3) ลักษณะการจับอุปกรณ์ ต้องมีคุณสมบัติทาง เรขาคณิตที่ เหมาะสม

(4) กลไกการเปลี่ยนสารตัวอย่าง หรือวัสดุตกถลิน ต้องมีความสะดวกและปลอดภัยต่อผู้ทำการทดลอง และเหมาะสมต่อเงื่อนไขการทดลอง

รูป 5.1 แสดงโครงร่างของปริมาตรที่ได้รับการออกแบบตามทฤษฎีดังกล่าว ถ้ามีการเปลี่ยนสารตัวอย่าง จะทำภายในปริมาตรโดยยังคงรักษาสภาวะสุญญากาศไว้ เป้า (หรือสารตัวอย่าง) ติดตั้งอยู่บนขาตั้งซึ่งเลื่อนตำแหน่งได้ และอุปกรณ์ทุกส่วนดังกล่าวจะถูกบรรจุอยู่ในถาดที่เลื่อนได้ ซึ่งจุสารตัวอย่างได้ถึง 35 ตัวอย่าง กลไกการเปลี่ยนเป้าตัดแปลงจาก



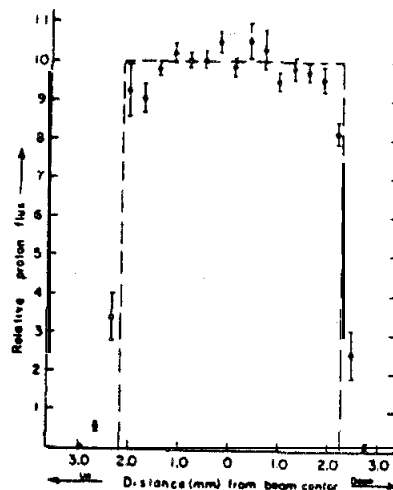
รูป 5.1 ตัวอย่างปริมาตรที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วย PIXE

ลักษณะการ เปลี่ยนแผ่นสไลด์ จัดตำแหน่งของ เป้าโดยใช้สกรูไมโครมิเตอร์ (micrometer screws) ซึ่งติดตั้ง ณ ตำแหน่งยึดสารตัวอย่าง

การลดแบคกราวนด์ภายในปริมาตร ทำโดยเลือกใช้วัสดุที่ก่อให้เกิดแบคกราวนด์น้อยสุดถ้าลำอนุภาคบังเอิญชน โดยทั่วไปใช้อลูมิเนียมที่มีความบริสุทธิ์สูง เหตุผลคือ แม้อลูมิเนียมจะเกิด เปล่งรังสี เอ็กซ์ จะเป็นเพียงชนิดพลังงานต่ำ เท่านั้นแต่มีความ เข้มสูง แก๊ซ โดยใช้คอลลิเมเตอร์บังคับลำ เอ็กซ์ เรย์ซึ่งคอลลิเมเตอร์นี้ทำจากอลูมิเนียม เช่นกัน จึงถือว่าได้กำจัด เอ็กซ์ เรย์ที่เกิดจากโปรตอนซึ่งกระเจิงจากคอลลิเมเตอร์และจาก เป้า อย่างไรก็ตาม

ภายในเนื้อลูบิเนียมย่อมต้องมีสาร เจือปะปนอยู่บ้าง ซึ่งจะ เป็นต้นกำเนิด เอ็กซ์ เรย์ ได้ แก่ไข โดย ใช้ เทฟลอน (teflon) ทำทุกอุปกรณ์ที่คาดว่าจะ เปล่งรังสี เอ็กซ์ เข้าสู่หัววัด คอลลิ เม เตอร์ ก็ มี ศักยภาพในการผลิตแบคกราวนด์ความ เข้มสูง เช่นกัน ทำการลดปริมาณนี้โดย เลือกใช้วัสดุทำ คอลลิ เม เตอร์ให้เหมาะสม โดยทั่วไปมักใช้คาร์บอน คู่กับการใช้โปรตอนพลังงานต่ำกว่า 1.6 MeV เส้นผ่าศูนย์กลางของลำอนุภาคนี้มีช่วง 1-10 มม .

ลำอนุภาคต้องมีคุณสมบัติ เป็น เนื้อ เดียว ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับปริมาณวิเคราะห์ ทำโดยกวาดลำอนุภาคซึ่งถูกโฟกัสอย่างดีไปยังคอลลิ เม เตอร์ หรือโดย เพิ่มตัวกระจายลำอนุภาค ซึ่งมีลักษณะ เป็นแผ่นบางๆ จุดประสงค์คือ เพื่อให้คอลลิ เม เตอร์ เลือกรังสี เฉพาะส่วนที่อยู่กึ่งกลาง ลำอนุภาคที่แพร่กระจายผ่านไปได้ หรืออาจใช้แม่เหล็กกวาดลำอนุภาค ผู้วิเคราะห์ต้องทดสอบ ดูว่า วิธีการใดที่เลือกมาใช้ก็ตาม เหมาะสมต่อความต้องการหรือไม่ ในรูป 5.2 เป็นตัวอย่าง ของลักษณะ เป็น เนื้อ เดียวกันของลำอนุภาค

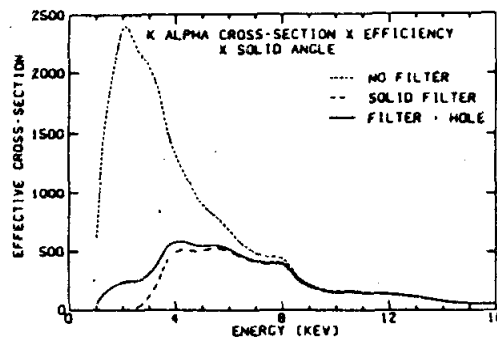


รูป 5.2 การกระจายความ เข้มของลำโปรตอนที่ใช้ เทคนิค PIXE

การใช้วัสดุแผ่นบางช่วยแพร่กระจายลำอนุภาค ง่ายในการจัดการทดลองที่สุด แต่ ต้องใช้ลำอนุภาคมีความ เข้มมาก เนื่องจากมีการลดความ เข้มถึง 10-20 เท่า ต้องเลือกใช้

วัสดุที่จะก่อให้เกิด 90-95% ของพื้นที่อุปกรณ์นี้ถูกปล่อยผ่าน และต้องจัดให้อุปกรณ์อยู่ใกล้หัววัดมากที่สุด ดังนั้น แบคกราวนด์ย่อมเพิ่มมากขึ้น อาจแก้ไขโดยใช้ลึมิเนียมแผ่นบาง 9 มิลลิกรัม/ซม.² มีวัดถูกอ้างอิงอย่างดี และวางห่างจากเป้า 1 เมตร อย่างไรก็ตาม ปริมาณวิเคราะห์อาจมีข้อผิดพลาด (error) น้อยกว่า 5% โดยประมาณ นักวิเคราะห์ส่วนใหญ่มักจัดให้หัววัด เอ็กซ์เรย์ตั้งฉากกับลำอนุภาค ให้สารตัวอย่างอยู่ใกล้หัววัดมากที่สุด (ประมาณ 2-3 ซม. หรือน้อยกว่า)

กรณีวิเคราะห์ธาตุมีค่า Z ต่ำ เช่น ซัลเฟอร์ (sulphur) ซึ่งปะปนอยู่กับธาตุมีค่า Z สูงกว่า ลักษณะเช่นนี้เหมือนกับแบคกราวนด์เด่นจากเบรมสตราห์ลิ่ง ธาตุที่สนใจจะวิเคราะห์กลับมีความไวลดลงอย่างมาก เนื่องจากสัญญาณรบกวนของคันท่าเปิดดังกล่าว แก้ไขปัญหาโดยเพิ่มความเข้มของลำอนุภาคไม่ได้ ต้องใช้ตัวดูดกลืนช่วย ตัวดูดกลืนในที่นี้หมายถึงอุปกรณ์ที่ทำจากวัสดุมีคุณสมบัติเด่นในการดูดกลืนพลังงานอนุภาค มักใช้ฟิล์มไมลาร์ (Mylar film) ขนาด 10 มิลลิกรัม/ตร.ซม. หรืออาจใช้ 2 ตัวดูดกลืนที่ต่างกัน และ 2 ลำอนุภาคมีพลังงานต่างกัน เพื่อวิเคราะห์ธาตุต่างๆที่จัดอยู่ในช่วงค่า Z ต่างกันมากๆ หรืออีกวิธีหนึ่งคือเจาะรูเล็กๆที่ตัวดูดกลืน เพื่อให้เอ็กซ์เรย์พลังงานอ่อนๆ เข้าสู่หัววัด แต่มุมโซลิดที่หัววัดจะน้อยกว่าเอ็กซ์เรย์พลังงานสูง รูป 5.3 แสดงพื้นที่ภาคตัดขวางของเส้น K_{α} ซึ่งประสิทธิภาพและ



รูป 5.3 ค่ายังผลของพื้นที่ภาคตัดขวาง K_{α} โดยใช้วัสดุดูดกลืนเจาะรูเล็กๆ ทำจาก แคปตัน 30 มิลลิกรัม ต่อ ตร.ซม. รูมีขนาด 0.1 เท่าของหัววัด

มุมโซลิตของหัววัด เกิดจากการทดลอง 3 ลักษณะ เทคนิค เช่นนี้จะเพิ่มความไวขึ้น 3 เท่า สำหรับธาตุขนาดกลางและขนาดหนัก เพื่อความสะดวกควรใช้อุปกรณ์ควบคุมการเลือกตัวดูดกลืน จะดีกว่าใช้มือ เปลี่ยน เองอย่างใกล้ชิด ส่วนประจุของล้าอนุภาคมีวัดจากถ้วยฟารา เดย์

โดยทั่วไปมักจัดระบบให้ทำงานภายใต้สภาวะสุญญากาศประมาณ $10^{-5} - 10^{-6}$ ทอร์ (torr) อาจใช้ปั๊มพีชนิดน้ำมันหรือปรอทก็ได้ เพื่อกำจัดการ เปราะ เ็นอนธาตุหนักบน เป้า นอก จากนี้ ถ้า เป็นธาตุมีค่า Z ต่ำ มักใช้หัววัดแบบไม่มีหน้าค่าง หรือมีลิ้นรูป เท็ด (poppet valve) เป็นตัวสารตัวอย่างได้ ๗ ความดันบรรยากาศ

5.3 ทฤษฎีการตรวจวัดรังสี เอ็กซ์

ทฤษฎีพื้นฐานในการตรวจวัด เอ็กซ์ เรย์แยกได้ เป็น 2 แบบ ดังนี้

- (1) ตรวจวัดการกระจายพลังงาน
- (2) ตรวจวัดการกระจายความยาวคลื่น

หัววัดประเภทแรกจะทำการบันทึกโฟตอนจากพลังงาน เอ็กซ์ เรย์ และสร้างสเปกตรา ดังแสดงในรูป 5.2 (โดยอาศัยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ช่วย) โดยทั่วไปใช้หัววัด Si (Li) ซึ่งมี เรโซลูชัน (resolution) อยู่ในช่วง 150-180 eV หัววัดมีพื้นที่ 30 มม.² หัววัดชนิดนี้ทำงานได้เร็ว เนื่องจากสามารถนับวัดทุกพลังงาน (ช่วงที่ได้เลือกไว้) อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้อง เริ่มตั้ง เครื่องใหม่

ส่วนระบบหัววัดที่ตรวจวัดการกระจายของความยาวคลื่นจะทำงานโดยมีมุมโซลิต เล็ก กว่าระบบแรก และมีประสิทธิภาพน้อยกว่า ใช้หลักการกวาดหัววัด (scanning) เพื่อบันทึก ช่วงความยาวคลื่น เรโซลูชันอยู่ในอันดับ 10 eV แต่ยังไม่เคยปรากฏว่าถูกประยุกต์ใช้กับการ วิเคราะห์ธาตุหรือหาสถานะทาง เคมี

การ เลือกใช้หัววัดขึ้นกับลักษณะงานวิเคราะห์ ถ้าต้องการ เรโซลูชันดี เยี่ยมต้องใช้ ระบบกระจายความยาวคลื่น แต่จะมีขีดจำกัดในกรณีทีสเปกตรัมมีการแทรกสอด (ด้วยพลังงาน

อื่น) ถ้าหัววัดประเภทกระจายพลังงานจะเกิดพิศวงหรือบวมขึ้นอาจมีการซ้อนพีคพลังงานบ้าง และถ้าเป็นกรณีซับซ้อนมากๆอาจทำให้ผลปริมาณวิเคราะห์ผิดพลาด แต่ใช้เวลาไม่นาน และบางกรณีก็ไม่มีปัญหาการแทรกสอดพลังงานใดๆ จึงเป็นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวาง

หัววัดที่ใช้หลักการกระจายพลังงานจะมีประสิทธิภาพสูง มุมโซลิดที่หัววัดรองรับอยู่มีขนาดใหญ่ จึงสามารถใช้ได้กับต้นกำเนิดพลังงานต่ำ (เปรียบเทียบกับหัววัดระบบกระจายความยาวคลื่น) ในการวิเคราะห์ธาตุเธอร์สด้วยเทคนิค PIXE บางครั้งแมคกราวนด์มีค่าสูงซึ่งถูกนับวัด เช่นเดียวกับพลังงานพีคที่สนใจวิเคราะห์ อย่างไรก็ตาม สำหรับ PIXE ยังคงนิยมใช้หัววัดระบบกระจายพลังงาน ตัวอย่างปัญหาการแทรกสอดพลังงาน เช่น วิเคราะห์ธาตุปะปนกันอยู่ Ba-Ti, K-Cd และ Pb-S ถ้าเป็นกรณีนี้ขอเสนอแนะคือน่าจะใช้หัววัดทั้งสองระบบ จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ซึ่งน่าจะให้ผลถูกต้องดีขึ้น และได้ข้อมูลมากกว่าจะเลือกใช้เพียงระบบใดระบบหนึ่ง เท่านั้น

อาจมีข้อสงสัยว่าจะต้องทำการหาประสิทธิภาพของหัววัดในการวัดพีคพลังงานทุกค่าก่อนหรือไม่? (วิธีการเช่นนี้ปฏิบัติกับหัววัด NaI(Tl)) คำตอบคือไม่จำเป็นต้องตรวจสอบเสมอไป หลักการทั่วไปคือ ประสิทธิภาพของหัววัดจะแปรตามพลังงานเอ็กซ์เรย์และ ๗ พลังงานต่ำๆอาจมีการดูดกลืนพลังงานที่บริเวณหน้าค่างหัววัด หรือถ้าพลังงานสูงๆอาจมีการทะลุทะลวงผ่านผลึกออกไปได้ แต่ถ้าเป็นกรณีปริมาณวิเคราะห์จำเป็นต้องหาประสิทธิภาพของหัววัดก่อนทำโดยใช้ต้นกำเนิดเอ็กซ์เรย์เป็นหลักในการเทียบวัด (calibrate) ซึ่งบางครั้งประสิทธิภาพของหัววัดที่ได้จากการทดลองอาจไม่ตรงกับค่าที่ทางบริษัทผู้ผลิตได้แจ้งไว้ (ขึ้นกับการคำนวณและข้อกำหนดปลีกย่อยอื่นๆต่างกัน ทำให้ค่าที่ได้โดยประมาณแต่ละกรณีต่างกันไป) และถ้าเป็นเอ็กซ์เรย์พลังงานต่ำ เทคนิคดังกล่าวจะถูกจำกัด เนื่องจากไม่มีต้นกำเนิดพลังงานต่ำๆ ซึ่งประการสำคัญคือ เป็นช่วงที่ประสิทธิภาพของหัววัดแปรตามพลังงานที่แปรไปอย่างรวดเร็ว แก้ไขโดยใช้ฟิล์มบางๆที่ทราบส่วนประกอบแน่นอน จากนั้นหาประสิทธิภาพตามสมการ (4-10) ซึ่งอาจคำนวณประสิทธิภาพโดยพิจารณาจากพื้นที่ของพีคก็ได้

ระดมคงที่ ทั่วเคส เขตหวัดแทนขอนกลบ ทวขอนกลบด้วยกลดขยททล (pulsed-optical feedback) วงจรขยาย (amplifier) จะทำหน้าที่ปรับสัญญาณ เพื่อตอบสนอง เงื่อนไขการแปลงสัญญาณอนาลอก เป็นตัวเลข หรือที่เรียกย่อๆว่า ADC (analog-to-digital-converter) จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งต่อไปยังอุปกรณ์วิเคราะห์สัญญาณแบบมัลติแชนแนล (multichannel analyzer) ในปัจจุบัน วงจรขยายถูกออกแบบให้สามารถนับวัดได้ค่าสูงๆ ทั้งยังมีคุณภาพของสัญญาณดี

ปัญหาคือปรากฏการณ์สัญญาณจากประจุจำนวนมากๆ เข้าสู่หัววัดในเวลาเดียวกัน และช่วงเวลาตายของหัววัด (dead-time) ถ้าเป็นกรณีแรก พลังค์ของโฟตอนพลังงานสูง (อาจเป็นรังสีแกมมาถูกทำให้กระเจิง เข้าสู่หัววัด) ตกกระทบหัววัดในเวลาเดียวกับ เอ็กซ์เรย์ ผลปรากฏจะเป็นค่านับวัดจากโฟตอนพลังงานต่ำ ทำให้การวิเคราะห์เทคนิค PIXE เกิดผิดพลาดได้ แก้ปัญหาโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทำหน้าที่ตรงให้ไม่มีการรับสัญญาณจากแหล่งกำเนิดใดๆ ในขณะที่หัววัดกำลังอยู่ในขบวนการประมวลผลสัญญาณอยู่ช่วง เวลาที่ขบวนสัญญาณถูกก่อก่ขึ้นดังกล่าว นั้น เป็นดัชนีปรับปรุงระบบการทำงานของอุปกรณ์นับวัดได้ดี

ถ้าต้องการออกแบบวงจรเอง ต้องคำนึงถึงการหักเหของลำอนุภาค เนื่องจากถ้าแหล่งกำเนิดไอออนถูกควบคุม เป็นเวลานานๆ อาจเกิดการล้าช้าของสัญญาณได้ จึงมีการใช้ตัวหักเหไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic deflection) ข้อได้เปรียบของวิธีการนี้คือสารตัวอย่างถูกทำลายน้อยหรืออาจไม่เสียหาย เลยก็ได้ และลดแบบคร่าวครัดของปริมาณนับวัด อาจใช้ลำอนุภาคที่มีความเข้มสูงได้ในการใช้แผ่นหักเหลำอนุภาค มักควบคู่กับ เทคนิคการกวาดลำอนุภาค

