บทที่ 1

บทนำ

การวิเคราะห์วัตถุ (Sample) โดยใช้หลักการของอันตรกิริยาระหว่างการชนกันของอนุภาคที่มีประจุและมีพลังงานในเรือน MeV กับอะตอมหรือโมเลกุลของวัตถุที่ต้องการวิเคราะห์ จากนั้นนำเอาสิ่งที่เกิดขึ้นหลังจากการชนไปวิเคราะห์หาคุณสมบัติบางประการ เช่น ปริมาณของธาตุต่างๆ ที่อยู่ในวัตถุ ความหนาของฟิล์มบางที่สร้างไว้บนวัตถุ ตำแหน่งหรือความเข้มข้นของธาตุหรือสารประกอบในแต่ละบริเวณของผิววัตถุ เป็นต้น เทคนิคนี้เรียกว่า Ion Beam Analysis (IBA) ซึ่งสามารถแบ่งย่อยออกเป็น 5 วิธี ดังตาราง 1.1

ตาราง 1.1 เทคนิควิเคราะห์โดย Ion Beam Analysis

เทคนิค	คำอธิบาย
Particle Induced X-ray Emission (PIXE)	การวิเคราะห์รังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนภายในอะตอม (Y(a,a'X)Y)
Particle Induced Gamma-ray Emission (PIGE)	การวิเคราะห์รังสีแกมมาที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ (Y(a,b'γ)Z)
Nuclear Reaction Analysis (NRA)	การวิเคราะห์อนุภาคที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ (Y(a,b)Z)
Rutherford Backscattering Spectrometry (RBS)	การวิเคราะห์อนุภาคที่เกิดการกระเจิงแบบสะท้อนกลับ (Y(a,a)Y)
Ionoluminescence (IL) or Ion Beam Induced Luminescence (IBIL)	การวิเคราะห์สเปกตรัมของโฟตอนจากการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนภายในโครงสร้างของโมเลกุล

โดยในรายงานฉบับนี้จะกล่าวถึงการใช้เทคนิค IL ในการศึกษาสมบัติทางแสงของวัตถุต่างๆ เพื่อให้ทราบถึงชนิดของตำหนิ (defect) ชนิดของสารเจือ (impurity) และโครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์ (electronic structure) ซึ่งมีพื้นฐานมาจากการเปล่งแสงของวัตถุ (luminescence)

การเกิดการเปล่งแสงของวัตถุเมื่อมีปัจจัยต่างๆ มากระตุ้นนั้นจะต้องไม่มีการแผ่รังสีความร้อนออกมาเรียกว่าการเปล่งแสงแบบ luminescence ส่วนการเปล่งแสงอันเนื่องมาจากความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

แล้วทำให้เกิดการแผ่รังสีของวัตถุดำ (black body radiation) นั้นจะเรียกว่า incandescence เช่น การเปล่งแสงของหลอดทังสเตน โดยทั่วๆ ไปแล้ว luminescence มีหลายแบบขึ้นอยู่กับว่ามีปัจจัยใดเป็นตัวกระตุ้น ดังแสดงในตาราง 1.2 แต่ถ้าแบ่งตามระยะเวลาของการคงอยู่ของการเปล่งแสง (time interval; τ) ซึ่งเริ่มจับเวลาตั้งแต่หยุดการกระตุ้นการเปล่งแสง สามารถแบ่งได้ 2 ชนิดคือ fluorescence การเปล่งแสงยังคงอยู่เพียง 10^{-8} วินาทีหลังจากหยุดกระตุ้น และ phosphorescence การเปล่งแสงยังคงอยู่นานกว่า 10^{-8} วินาทีหลังจากหยุดกระตุ้น

ตาราง 1.2 การเปล่งแสงชนิดต่างๆ

Type of Luminescence	**Produced Factor**
Luminescence - Fluorescence - Phosphorescence	All nonthermal light production Rapid luminescence ($\tau \sim 10^{-8}$ s) Persistent fluorescence ($\tau >> 10^{-8}$ s)
Photoluminescence	Fluorescence induced by visible light or UV
Resonance radiation	Immediate reirradiation of same wavelength
Cathodoluminescence	Fluorescence induced by cathode rays
Radioluminescence	Fluorescence induced by energetic radiation
Thermoluminescence	Luminescence produced by raising the temperature
Candoluminescence	Non blackbody radiation from a flame
Electroluminecence	Luminescence induced by an electric field or current
Triboluminescence	Luminescence produced by mechanical disturbance
Sonoluminescence	Luminescence from sound waves passing through a liquid
Crystalloluminescence	Luminescence produced during crystallization
Lyoluminescence	Luminescence from dissolving a substance
Chemiluminescence	Luminescence derived from chemical energy
Bioluminescence	Chemiluminescence produced by a biological mechanism
Ionoluminescence	Luminescence induced by charged particles

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การวิเคราะห์วัตถุโดยวิเคราะห์จากสเปกตรัมที่เกิดขึ้นของแสงที่อยู่ในช่วงที่ตามองเห็น (visible) และในช่วงอัลตราไวโอเล็ต (UV) เกี่ยวเนื่องกับการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนภายในโครงสร้างของโมเลกุล มีวิธีการที่ใช้ในการศึกษาหลายวิธีดังตาราง 1.2 ขึ้นอยู่กับว่าวิธีการใดจะเหมาะสมที่สุดกับการศึกษาสมบัติของวัตถุแต่ละชนิด ทั้งนี้เทคนิคที่นิยมใช้ได้แก่ Photoluminescence และ Cathodoluminescence เนื่องจากทั้ง 2 เทคนิคนี้สามารถสร้างระบบการวัดที่ไม่ซับซ้อนและสามารถให้ผลการศึกษาครอบคลุมในช่วงที่ต้องการศึกษาคือ visible และ UV แต่ยังมีข้อด้อยเมื่อใช้วิเคราะห์วัตถุบางชนิดที่เปล่งแสงออกมาน้อย เนื่องจากมีพลังงานที่มากระตุ้นวัตถุไม่เพียงพอหรืออนุภาคที่เข้าไปกระตุ้นไม่สามารถเข้าไปลึกพอที่จะทำให้เกิดการเปล่งแสงที่ชัดเจน เทคนิคที่จะสามารถลดข้อจำกัดของวิธีการวิเคราะห์ 2 เทคนิคข้างต้นได้คือเทคนิควิเคราะห์แบบ Ionoluminescence หรือที่เรียกสั้นๆ ว่า IL ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ไอออนที่มีประจุแล้วเร่งจนมีพลังงานสูงไปชนกับผิวของวัตถุที่ต้องการวิเคราะห์แล้วทำให้เกิดการเปล่งแสงออกมา จากนั้นจึงนำแสงที่เกิดขึ้นไปวิเคราะห์หาคุณสมบัติต่างๆ

เทคนิค IL ได้มีการศึกษาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1979 โดย Thomas (1979) ได้เป็นผู้รวบรวมการทดลองต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเทคนิค IL ซึ่งในสมัยนั้นมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า Bombardment-induced Light Emission (BLE) เป็นเทคนิคที่พัฒนาไปพร้อมๆ กับเทคนิค Secondary Ion Mass Spectrometry (SIMS) ดังนั้นจุดประสงค์ของการวิเคราะห์จึงมีพื้นฐานของเทคนิค SIMS มาเกี่ยวข้องคือต้องการระบุชนิดของธาตุที่หลุดออกมาจากผิวของชิ้นงานโดยพิจารณาจากความยาวคลื่นที่วัดได้จาก atomic emission ซึ่งต่างออกไปจากการศึกษาเทคนิค IL ในปัจจุบัน นอกจากนี้ G.E. Thomas ยังได้รวบรวมแบบจำลองต่างๆ ในการกระตุ้นอะตอมและโมเลกุลของวัตถุที่นำไปวิเคราะห์ แล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนภายในอะตอมและโมเลกุลของวัตถุที่นำไปวิเคราะห์ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป

ในปี ค.ศ. 1990 Ghamdi และTownsend (1990) ได้ศึกษาการใช้ลำไอออนกระตุ้นการเปล่งแสงของแซฟไฟร์สังเคราะห์ ในการทดลองครั้งนั้นได้ใช้ไอออนถึง 5 ชนิดด้วยกัน ได้แก่ H^+ H_2^+ He^+ O^+ และ Ar^+ พบชนิดของตำหนิ (defect) ที่ทำให้เกิดสเปกตรัม ได้แก่ F และ F^+ color centre และพบว่าความเข้มของสเปกตรัมที่เกิดขึ้นเป็นฟังก์ชันของชนิดของไอออน ไอออนโดส ระนาบการตัดของผลึกและโพลาไรเซชันของแสงที่เปล่งออกมา ต่อมาในปี ค.ศ. 1996 มีนักวิทยาศาสตร์หลายคณะที่ได้ทำการศึกษาการใช้ลำไอออนกระตุ้นการเปล่งแสงของแซฟไฟร์สังเคราะห์ ได้แก่ Skuratov, *et al.* (1996) ใช้ไอออนของ B^+ Ne^+ และ Ar^+ ที่พลังงานสูงในการกระตุ้นสิ่งที่พบก็เช่นเดียวกันคือ F และ F^+ color centre และได้อธิบายว่า luminescence yield ที่เกิดขึ้นเกิดเนื่องจาก radiative recombination of self-trapped electron excitation และการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

แปรสภาพของ F และ F^+ color centre เมื่อได้รับโดสที่สูงขึ้น Jardin, *et al.* (1996) ได้ศึกษาเรื่องเดียวกันแต่ใช้ He^+ และ H^+ และศึกษาในช่วงความยาวคลื่นที่กว้างขึ้นคือตั้งแต่ 190 - 820 nm สิ่งที่พบนอกจากจะพบ F และ F^+ color centre แล้ว ยังพบสเปกตรัมเฉพาะของการเกิดทรานสิชันของอิเล็กตรอนของ Cr^{3+} เกิดขึ้นด้วย จากการพิจารณาปริมาณของไอออนที่ระดมยิงไปบนแซฟไฟร์สังเคราะห์พบว่าสามารถแยกออกเป็น 2 กรณีคือ ที่ปริมาณไอออนต่ำจะทำให้ F^+ color centre เพิ่มมากขึ้น และที่ปริมาณไอออนสูงจะทำให้ F และ F^+ color centre ถูกทำให้ลดลง ทั้ง 2 กรณีนี้มาจากกระบวนการ conversion ระหว่าง F และ F^+ defect และกระบวนการ radiation-induced นอกจากนี้ Aoki, *et al.* (1996) ได้ศึกษาการเปล่งของแซฟไฟร์และทับทิมสังเคราะห์โดยการเหนี่ยวนำโดย He^+ และ Ar^+ สิ่งที่พบคือ F และ F^+ color centre ในแซฟไฟร์สังเคราะห์ และพบสเปกตรัมของการเปล่งแสงที่เข้มมากของ R-line ของ Cr^{3+} ในทับทิมสังเคราะห์ ความเข้มของสเปกตรัมที่เกิดขึ้นทั้ง 2 กรณีขึ้นอยู่กับปริมาณโดสที่ได้รับ ซึ่งปริมาณโดสที่ตั้งแต่ $1x10^{14}$ ไอออนต่อตารางเซนติเมตรขึ้นไป ซึ่งมีผลทำให้ความเข้มของสเปกตรัมลดลงอย่างมาก

Pallon, *et al.* (1997) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิค IL สำหรับ nuclear microprobes โดยใช้เทคนิค IL และเทคนิค PIXE เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ เช่น โครงสร้างของโมเลกุล และไอออนวาเลนซ์ พบว่าเทคนิค IL มีความไวต่อสมบัติทางเคมีในบริเวณที่ศึกษาอย่างมาก และเมื่อนำไปรวมกับเทคนิค PIXE จะได้เครื่องมือใหม่ที่ใช้ศึกษาทางชีววิทยาและทางการแพทย์

Manfredotti, *et al.* (2001) ใช้เทคนิค IL กับ CVD diamond และ cubic boron nitride โดยใช้โปรตอนพลังงาน 2 MeV เป็นตัวกระตุ้น ผลการทดลองที่ได้พบว่าเกิดลักษณะเฉพาะของสเปกตรัมของ CVD diamond และ cubic boron nitride นอกจากนั้นยังพบว่าสเปกตรัมที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับการเหนี่ยวนำการเกิดตำหนิ (defects inducing) โดยการโดป (doping)

ในปีถัดมา Brook, *et al.* (2002) ใช้เทคนิค IL ในการศึกษาวัตถุต่างๆ ควบคู่ไปกับเทคนิค Cathodoluminescence (CL) วัตถุที่นำมาศึกษาได้แก่ แซฟไฟร์ Lithium niobate ฟิล์มบางของ Al_2O_3 บน SiO_2 บนแผ่นซิลิกอน Nd:YAG และเฟลด์สปาร์หรือที่เรียกว่าแร่ฟันม้า พบว่าสเปกตรัมที่ได้จากเทคนิค IL มีความเข้มสูงกว่าเทคนิค CL และแต่ละเทคนิคมีความไวต่อ emission bands ต่างกันออกไป ในปีเดียวกันนี้ McDaniel, *et al.* (2002) ได้ประยุกต์เทคนิค IL ใช้ในการวัดการสลายตัวของการเปล่งแสงของฟอสฟอรัสโดยกระตุ้นโดยไอออนเพียงตัวเดียว โดยการศึกษาของ McDaniel, *et al.* (2002) นี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาการสลายตัวของการเปล่งแสงภายใต้การกระตุ้นที่มีความหนาแน่นสูง (high-density excitation) และระบุการเปล่งแสงของวัตถุที่เคลือบโดยฟอสฟอรัสกับ lifetime สำหรับ Ion Photon Emission Microscopy (IPEM)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ในปี ค.ศ. 2003 Yang, *et al.* (2003) ได้ทำการวิจัยเรื่อง "*Single Phosphorus Ion Implantation into Prefabricated Nanometre Cells of Silicon Devices for Quantum Bit Fabrication"* โดยนำเทคนิค IL มาใช้ในการวัดการเปล่งของฟอสฟอรัสและซิลิกอนออกไซด์ที่อยู่บนผิวของซิลิกอนด้วย ต่อมาในปี ค.ศ. 2004 Teo, *et al.* (2004) ได้นำเทคนิค IL ไปศึกษาและสร้างภาพจากความเข้มของสเปกตรัมในแต่ระดับความลึกของ epitaxial lateral overgrown GaN และ Quaranta (2005) ใช้เทคนิค IL ศึกษา radiation hardness ของ thin film plastic scintillators บน polyvinyltoluene (PVT) และ 6FDA-DAD และ BPDA-3F

จะเห็นได้ว่าเทคนิค IL เป็น Ion Beam Analysis ที่มีความสำคัญเทคนิคหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้อย่างหลากหลายในการวัดลักษณะเฉพาะของวัตถุต่างๆ ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะวัตถุที่เป็นฉนวน และสารกึ่งตัวนำจะให้สเปกตรัมที่ออกมาชัดเจน จึงทำให้มีความคิดที่จะพัฒนาเทคนิคนี้ขึ้นมาในประเทศไทยเป็นครั้งแรกโดยมีจุดประสงค์ที่จะทำให้การวิจัยภายในประเทศไทยที่เกี่ยวข้องกับเรื่องการวิเคราะห์วัสดุศาสตร์ก้าวไปอีกขั้นหนึ่ง เช่น การใช้ในการวัดคุณสมบัติของวัตถุที่ผลิตจากนาโนเทคโนโลยี หรือจะนำไปประยุกต์ใช้ในพลอยซึ่งเป็นอัญมณีที่มีราคาสูงและเป็นสินค้าส่งออกที่มีมูลค่าสูงของประเทศไทย เนื่องจากยังไม่มีเทคนิคที่สามารถแยกเฉดสีที่ใกล้กันมากๆ ที่เป็นมาตรฐานเดียวกันได้ ดังนั้นเทคนิค IL นี้จึงเป็นเทคนิคที่น่าสนใจและมีความสำคัญในการวิเคราะห์วัตถุในอนาคตอันใกล้นี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved