การแปลงเฟสในวัสดุ

PHASE

Phase Transformation in Materials

"สำหรับเพื่อการศึกษาและการอ้างอิงเท่านั้น"

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ห้องสมุดพระนครเหนือ
501031531

รศ.ดร. กมลพรรณ เพ็งพัด

สารบัญ

	หน้าที่
สารบัญ	ก
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	จ
บทนำ	1
บทที่ 1 โครงสร้างจุลภาคของวัสดุ	5
เอกสารอ้างอิง บทที่ 1	20
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 1	21
บทที่ 2 การสังเกตและจำแนกเชิงปริมาณของโครงสร้างจุลภาค	23
2.1 ระบบกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้แสง (microscope systems using light)	23
2.2 ระบบกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ลำอิเล็กตรอน (microscope systems using electron beam)	28
2.2.1 อันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนกับสารตัวอย่าง (interaction between electron beam and specimen)	37
2.2.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (transmission electron microscope: TEM)	38
2.2.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope: SEM)	41
2.3 เทคนิคอื่น ๆ ที่ใช้ศึกษาลักษณะเฉพาะทางโครงสร้างจุลภาค (other techniques for microstructural characterization)	44
2.3.1 จุลทรรศนศาสตร์แบบแสงโฟกัสเดียว (confocal light microscopy)	44
2.3.2 จุลทรรศนศาสตร์แบบส่องกราดทันเนลลิง (scanning tunneling microscopy: STM)	46

"สำหรับเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปอ้างอิงในเชิงการค้า"

	หน้าที่
2.3.3 จุลทรรศนศาสตร์แบบแรงอะตอม (atomic force microscopy: AFM)	47
2.4 การจำแนกเชิงปริมาณของโครงสร้างจุลภาค (quantification of microstructures)	49
2.4.1 จำนวนและการระบุเฟสที่เกิดขึ้น	50
2.4.2 ปริมาณสัมพัทธ์ของเฟสแต่ละเฟส	51
2.4.3 ลักษณะเฉพาะของเฟสแต่ละเฟสที่เกิดขึ้น	54
เอกสารอ้างอิง บทที่ 2	58
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 2	60
บทที่ 3 พัฒนาการของโครงสร้างจุลภาคในวัสดุ	61
3.1 การเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็ง (solidification)	61
3.2 สถานการณ์การเกิดนิวเคลียสและการเติบโต (nucleation and growth states)	65
3.2.1 การเกิดนิวเคลียสผลึก (nucleation)	66
3.2.2 การเติบโตของผลึก (crystal growth)	75
3.3 กราฟการเย็นตัว (cooling curves)	85
เอกสารอ้างอิง บทที่ 3	90
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 3	91
บทที่ 4 แผนภาพเฟส	93
4.1 อุณหพลศาสตร์และสมดุลเฟส (thermodynamics and phase equilibria)	93
4.1.1 นิยามของระบบ (system) เฟส (phases) และส่วนประกอบ (components)	93
4.1.2 สมดุล (equilibrium)	98
4.2 กฎของเฟส (phase rule)	103

สำหรับผู้อ่านวิทยานิพนธ์การอ้างอิงเท่านั้น

	หน้าที่
4.3 กฎของคาน (lever rule)	114
4.4 แผนภาพเฟส (phase diagram)	116
4.4.1 แผนภาพเอกภาค (uanary phase diagram)	118
4.4.2 แผนภาพเฟสทวิภาค (binary phase diagram)	119
4.4.3 แผนภาพเฟสไตรภาค (ternary phase diagram)	127
เอกสารอ้างอิง บทที่ 4	143
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 4	143
บทที่ 5 การแปลงเฟสในวัสดุ	153
5.1 การแปลงเฟสในโลหะและโลหะผสม	154
5.1.1 ระบบเหล็กและคาร์บอน (iron–carbon system)	178
5.1.2 การพัฒนาของโครงสร้างจุลภาคในโลหะผสมเหล็กคาร์บอน	183
5.1.3 จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาสถานะของแข็ง (kinetics of solid–state reactions)	191
5.2 การแปลงเฟสในเซรามิก	199
5.2.1 แผนภาพเฟสเซรามิกที่มีส่วนประกอบ 1 ส่วนประกอบ (one component phase diagrams)	201
5.2.2 แผนภาพเฟสที่มีส่วนประกอบ 2 ส่วนประกอบ (two component phase diagrams)	205
5.3 การแปลงเฟสในพอลิเมอร์	224
เอกสารอ้างอิง บทที่ 5	233
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 5	235
ดัชนี	239

"ต้นฉบับเพื่อการศึกษาและการอ้างอิงเท่านั้น"

บทนำ

การศึกษาเรื่องการแปลงเฟสในวัสดุมีความสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับศาสตร์ของวัสดุและสาขาที่เกี่ยวข้อง เนื่องจากเฟสที่อยู่ในวัสดุมีผลต่อสมบัติและสมรรถนะของวัสดุเป็นอย่างมาก ดังนั้นในการพัฒนาวัสดุในระดับอุตสาหกรรม อาทิ โลหะ เซรามิกและแก้ว นักวัสดุศาสตร์จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจเรื่องของเฟสเป็นอย่างดี โดยเฉพาะปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเกิดเฟสในวัสดุ ดังจะเห็นตัวอย่างจากการคิดค้นกฎของเฟส (phase rule) โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกัน โยเซียห์ วิลลาร์ด กิบส์ (Josiah Willard Gibbs) ที่พัฒนามาจากกฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิกส์ โดยได้กล่าวไว้ว่า "ถ้าข้อมูลทางเทอร์โมไดนามิกส์เพียงพอจะสามารถคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างเฟสในสมดุลหนึ่งๆ ได้" เป็นต้น เนื่องจากการศึกษาความสัมพันธ์ของเฟสอาศัยการพิจารณาระบบของเฟสที่อยู่ในสมดุล ซึ่งมักแสดงความสัมพันธ์โดยอาศัยแผนภาพของอุณหภูมิ–ส่วนประกอบ–ความดัน (temperature–composition–pressure diagrams) แต่ในทางปฏิบัติโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการผลิตเชิงอุตสาหกรรมมักจะเป็นไปได้ยากที่จะสร้างระบบที่อยู่ในสมดุล เนื่องจากปัจจัยหลายอย่าง อาทิ ปัจจัยเชิงจลนพลศาสตร์ (kinetic condition) เป็นต้น ทั้งนี้จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้การศึกษาที่เกี่ยวกับความสัมพันธ์ของเฟสยังมีไม่มากหรือไม่ค่อยสมบูรณ์ในระบบของวัสดุต่างๆ

อย่างไรก็ตามนักวัสดุศาสตร์ควรทำความเข้าใจพื้นฐานของอุณหพลศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับกฎของเฟส เพื่อนำไปสร้างแผนภาพเฟส (phase diagrams) ของวัสดุได้อย่างถูกต้อง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการเลือกตัวแปรในการผลิตวัสดุให้มีสมบัติและสมรรถนะที่ต้องการได้เป็นอย่างดี หนังสือเรื่อง "การแปลงเฟสในวัสดุ" เล่มนี้จึงได้รวบรวมหัวข้อสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการทำความเข้าใจเรื่องเฟสและการแปลงเฟสในวัสดุ รวมถึงวิธีการสร้างเฟสไดอะแกรมและการประยุกต์เฟสไดอะแกรมในวัสดุต่างๆ และเนื่องจากโครงสร้างจุลภาคของวัสดุสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์เฟสในเชิง

คุณภาพ (qualitative analysis) และปริมาณ (quantitative analysis) ได้ ผู้เขียนจึงได้เริ่มต้นบทที่ 1 และ 2 ในเรื่องของโครงสร้างจุลภาคของวัสดุ การสังเกตและจำแนกเชิงปริมาณของโครงสร้างจุลภาค ซึ่งจะเน้นในการทำความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างจุลภาคของวัสดุต่างๆ และแนะนำเทคนิคสำคัญที่ใช้ในการหาโครงสร้างจุลภาคของวัสดุในเบื้องต้น อีกด้วย ส่วนในบทที่ 3 ในหัวข้อพัฒนาการของโครงสร้างจุลภาคในวัสดุ จะอธิบายและทำความเข้าใจเกี่ยวกับการกลายสภาพเป็นของแข็ง (solidification) ของวัสดุ โดยอาศัยความเข้าใจเกี่ยวกับการตกผลึกและการเติบโตของผลึก ซึ่งจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับชนิดของเฟสที่พบในวัสดุหลังจากที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปในรูปแบบต่างๆ สุดท้ายบทที่ 4 และ 5 จะอธิบายถึงแผนภาพเฟสและการแปลงเฟสในวัสดุ ซึ่งจะอธิบายถึงกฎของเฟสและการสร้างเฟสไดอะแกรมทั้งในแบบเอกภาค (unary) ทวิภาค (binary) และไตรภาค (ternary phase diagram) อีกทั้งยังจะยกตัวอย่างแผนภาพเฟสที่สำคัญในวัสดุต่างๆ อาทิ โลหะ เซรามิกและพอลิเมอร์ เป็นต้น

ผู้เขียนคาดว่าหนังสือเล่มนี้สามารถใช้ประกอบการเรียนการสอนวิชาในสาขาวัสดุศาสตร์ได้ทั้ง สำหรับนักศึกษาสาขาวิชาวัสดุศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่เอง และนักศึกษาสาขาวัสดุศาสตร์จากมหาวิทยาลัยต่างๆ ในประเทศไทย นอกจากนี้ผู้เขียนเชื่อว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อนักวัสดุศาสตร์และนักวิศกรรมวัสดุ หรือนักวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตวัสดุได้ไม่มากก็น้อย อีกทั้งยังอาจเป็นประโยชน์ต่อบุคคลทั่วไปที่มีความสนใจในเรื่องของการผลิตวัสดุอีกด้วย

ตำราเล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาของผู้ร่วมงานทุกคนในห้องปฏิบัติการวิจัยอิเล็กโทรเซรามิก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.ทวี ตันฑศิริ ศาสตราจารย์ ดร.กอบวุฒิ รุจิจนากุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุขุม อิสเสง่ียม นอกจากนี้ผู้เขียนขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริวดี ชมเดช ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จีรพร เพกเกาะ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุพล คำปวนสาย

อาจารย์ ดร.เทิด ดิษยธนูวัฒน์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พันธุ์วงศ์ คุณธนะวัฒน์ ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนให้ผู้เขียนเขียนหนังสือเล่มนี้ให้เสร็จ อีกทั้ง คุณดวงพรเล็กสวัสดิ์ ที่สร้างแรงบันดาลใจในการเขียนหนังสือเล่มนี้และยังช่วยพิมพ์ ตรวจทานและแก้ไขจัดรูปเล่มให้สมบูรณ์

สุดท้ายนี้ผู้เขียนต้องกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สังวาลย์ เพ็งพัด และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประเสริฐศรี เพ็งพัด ซึ่งเป็นบิดาและมารดาของผู้เขียน ท่านทั้งสองยังช่วยปรับแก้ภาษาในหลายๆ บทของหนังสือเล่มนี้ และสำคัญไปกว่านั้นคือท่านทั้งสองเป็นต้นแบบที่สำคัญให้แก่ผู้เขียน และมีความเมตตาอย่างไม่มีประมาณต่อผู้เขียนมาตลอดชีวิต ถ้าไม่มีท่านทั้งสองผู้เขียนคงไม่สามารถดำเนินชีวิตมาถึงจุดๆ นี้ได้

กมลพรรณ เพ็งพัด

"สำหรับเพื่อการศึกษาและการอ้างอิงเท่านั้น"

บทที่ 1
โครงสร้างจุลภาคของวัสดุ
(Microstructures of materials)

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาค้นคว้าหาวัสดุชนิดใหม่ๆ เพื่อรองรับความต้องการทั้งทางด้านวิทยาศาสตร์ การลงทุนและการใช้งานทางด้านวิศวกรรมที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังจะเห็นได้จากตัวอย่างของเทคโนโลยีด้านวัสดุโดยเริ่มมีการพัฒนามาตั้งแต่ทศวรรษที่ 1950 อาทิเช่นสารกึ่งตัวนำ (semiconductor) สำหรับคอมพิวเตอร์ (computers) ผลึกเหลว (liquid crystal) สำหรับหน่วยแสดงผล (displays) อิเล็กโทร-ไลต์ของแข็ง (solid electrolytes) สำหรับแบตเตอรี่สมรรถนะสูง (high performance batteries) และแก้วโลหะ (metallic glasses) สำหรับหม้อแปลงกำลังสูญเสียต่ำ (low-loss power transformers) ซึ่งจะเห็นได้ว่าวัสดุมีส่วนสำคัญในการนำไปใช้พัฒนาเทคโนโลยี ดังนั้นการพัฒนาวัสดุให้มีสมบัติที่ดีมากยิ่งขึ้นหรือการคิดค้น ประดิษฐ์และสร้างนวัตกรรมทางด้านวัสดุใหม่ๆ น่าจะเป็นการส่งเสริมให้มีโอกาสในการพัฒนาเทคโนโลยีขั้นสูงต่อไปได้ในอนาคต

การเข้าถึงกระบวนการวิจัยและพัฒนาทางด้านวัสดุดังที่กล่าวมาข้างต้น ต้องอาศัยองค์ความรู้ที่สำคัญหลายด้าน เริ่มตั้งแต่ความเข้าใจขั้นมูลฐานขององค์ประกอบทางเคมีและพันธะในวัสดุหนึ่งๆ รวมไปถึงความสามารถในการนำกระบวนการผลิตไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในเชิงปฏิบัติ เพื่อสร้างวัสดุที่มีคุณภาพสูงและมีราคาที่เป็นที่ยอมรับได้ ทั้งนี้หนึ่งในองค์ความรู้ที่สำคัญและขาดไม่ได้คือ การศึกษาโครงสร้างของวัสดุ (structure of materials) ในด้านหนึ่งต้องมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องของความเชื่อมโยงระหว่างกระบวนการผลิตวัสดุ (materials processing) และโครงสร้าง (structure) ส่วนอีกด้านหนึ่งคือความเชื่อมโยงระหว่างสมบัติของวัสดุ (materials properties) และโครงสร้าง ในกรณีของสมบัติของวัสดุจะรวมไปถึงข้อมูลที่ได้จากการ

ทดสอบมาตรฐาน (standardized tests) และแง่มุมเชิงคุณภาพ (qualitative aspects) ของสมรรถนะเชิงวิศวกรรม (engineering performance)

การเชื่อมโยงองค์ความรู้แบบพหุวิทยาการ (multidisciplinary) ของวัสดุศาสตร์และวิศวกรรม (materials science and engineering: MSE) ประกอบด้วยหลักสำคัญสี่ด้านคือ กระบวนการผลิต (processing) โครงสร้าง (structure) สมบัติ (properties) และสมรรถนะ (performance) ดังบรรจุไว้ที่มุมของผลึกทรงเหลี่ยมสี่หน้า (tetrahedron) ดังแผนภาพในรูปที่ 1.1 ซึ่งสามารถเรียกโดยย่อว่าทรงเหลี่ยมสี่หน้าของวัสดุศาสตร์และวิศวกรรม หรือเอ็มเอสอี เททระฮีดรอล (MSE tetrahedron) โดย Allen และ Thomas เป็นผู้สร้างและคิดค้น ในปี ค.ศ. 1999 [1] ซึ่งได้แสดงความสำคัญของการเลือกแบบจำลองทรงเหลี่ยมสี่หน้าว่า ทุกๆ มุมทั้งสี่ได้ถูกเชื่อมต่อกันด้วยเส้นขอบที่สามารถเชื่อมโยงถึงกันในทุกๆ มุม แสดงถึงความเชื่อมโยงของหลักสำคัญทางวัสดุศาสตร์ทั้งสี่ด้าน โดยในแต่ละด้านสามารถเชื่อมต่อกันทั้งหมดนั่นเอง และยังเสริมอีกว่าการที่บรรจุ “โครงสร้าง หรือ structure” ไว้ที่มุมบนสุดของ MSE tetrahedron เพราะผู้เขียนมีความเชื่อว่า“ความเข้าใจและความคุ้นเคยในเรื่องของโครงสร้างของวัสดุ” เป็นสิ่งที่สามารถแบ่งกลุ่มของนักวิทยาศาสตร์สาขาด้านวัสดุและวิศวกรรม ออกจากนักวิทยาศาสตร์และนักเทคโนโลยีที่ใช้วัสดุในสาขาอื่นๆ แนวคิดทางด้านโครงสร้างจึงเป็นหลักพื้นฐานที่สำคัญต่อการพัฒนาวัสดุและการนำวัสดุไปใช้อย่างเหมาะสม

สามารถยืมและติดตามหนังสือใหม่ได้ที่ ระบบห้องสมุดอัตโนมัติ Walai Autolib

http://lib.rmutp.ac.th/Catalog/BibItem.aspx?BibID=b00101937

View map Multi view

Title	การแปลงเฟสในวัสดุ = Phase transformation in materials / กมลพรรณ เพ็งพัด.
Author	กมลพรรณ เพ็งพัด
Publication	เชียงใหม่ : สยามพิมพ์นานา, 2561
Edition	พิมพ์ครั้งที่ 1
Detail	254 หน้า : ภาพประกอบ ; 25 ซม
Subject	วัสดุศาสตร์.(+) วัสดุ.(+)
Location	NBL
Source Types	Book

"สำหรับเพื่อการศึกษาและการอ้างอิงเท่านั้น"