บทที่ 1
บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้วัสดุเฟอร์โรอิเล็กทริก (ferroelectric) กันอย่างแพร่หลายในการประดิษฐ์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยเฉพาะในการสร้างเป็น ferroelectric random access memory (FeRAM) ซึ่งวัสดุเฟอร์โรอิเล็กทริกที่ใช้กันมากในปัจจุบันเป็นวัสดุในกลุ่ม $Pb(Zr,Ti)O_3$ (PZT) อย่างไรก็ตามวัสดุเหล่านี้ มีโพลาไรซ์ทางไฟฟ้าที่ต่ำและรอบการเขียนหรืออ่านข้อมูลน้อยกว่า 10^{12} รอบเมื่ออยู่ในระดับนาโนเมตร (Settera & Damjanovic, 2006) และที่สำคัญวัสดุ PZT มีส่วนผสมของตะกั่ว (Pb) ซึ่งเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมเมื่อหมดอายุการใช้งาน นักวิจัยจึงพยายามหาวัสดุอื่นมาทดแทน ซึ่งสามารถเพิ่มหน่วยความจำให้มากขึ้นและมีความเร็วมากขึ้นด้วย

เมื่อเร็ว ๆนี้ วัสดุมัลติเฟอร์โรอิก $BiFeO_3$ เป็นวัสดุทางเลือกที่ได้รับความสนใจ เนื่องจากวัสดุชนิดนี้มีสมบัติที่น่าสนใจ คือ แสดงพฤติกรรมแบบเฟอร์โรอิเล็กทริกและแอนติเฟอร์โรแมกนีติก (antiferromagnetic) ภายในเฟสเดียว ซึ่ง Wang (2003) ได้รายงานการเตรียมฟิล์มบางของวัสดุ $BiFeO_3$ โดยวิธี pulsed laser deposition (PLD) บน $SrTiO_3(100)$ ที่ความหนาของฟิล์ม 200 *nm* มีสภาพต้านทานที่สูงประมาณ $10^9\ \mu\Omega$ cm มีค่าโพลาไรเซชัน (remanent polarization, P_r) เท่ากับ 55 $\mu C/\text{cm}^2$ ที่ความถี่ 15 kHz และ Maruyama et al. (2007) ได้รายงานการเตรียมฟิล์มบางของวัสดุ $BiFeO_3$ ที่เจือด้วย Mn 5% พบว่า P_r มีค่า ~ 180-220 $\mu C/\text{cm}^2$ ซึ่งมากกว่า PZT ถึง 5 เท่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุ $BiFeO_3$ เหมาะที่จะนำไปประยุกต์ใช้เป็น FeRAM และเมื่อเร็ว ๆนี้ Park et al. (2006) ได้รายงานการเตรียมวัสดุ $BiFeO_3$ ในรูป single-crystalline ซึ่งแสดงสมบัติเป็น weak ferromagnetic ที่อุณหภูมิห้อง โดยวิธี sol-gel โดยมีค่า saturation magnetization (M_s) เท่ากับ 1.55 emu/g สำหรับอนุภาคที่มีขนาด 14 nm สอดคล้องกับรายงานของ Mazumder et al. (2007) ซึ่งได้รายงานว่า วัสดุ $BiFeO_3$ ในรูปของอนุภาคนาโน ซึ่งเตรียมโดยวิธี glycien combustion อนุภาคที่ได้มีขนาดอยู่ระหว่าง 5-40 nm สามารถแสดงสมบัติเป็น weak ferromagnetic ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งจะได้ค่า M_s มากที่สุดที่ 0.41 μ_B/Fe

นอกจากวัสดุ $BiFeO_3$ จะมีคุณสมบัติทางกายภาพที่น่าสนใจและสามารถนำไปประยุกต์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (electronic devices) แล้วยังมีงานวิจัยที่แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของวัสดุ $BiFeO_3$ ในรูปแบบอื่น ๆอีกเช่น การนำไปประยุกต์เป็นวัสดุโฟโตแคตาไลติก (photocatalytic material) เนื่องจาก วัสดุ $BiFeO_3$ มีช่องว่างพลังงาน (band gap) ต่ำ ซึ่งช่องว่างพลังงานที่มีค่าต่ำนี้ทำให้เกิดการกระตุ้นอิเล็กตรอนด้วยแสงเลเซอร์ในวัสดุ $BiFeO_3$ ได้ง่าย (Gao et al., 2007;

Takahashi et al., 2006) และการนำวัสดุ $BiFeO_3$ ที่มีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตรไปเคลือบด้วย $SrTiO_3$ สามารถที่จะลดโมเลกุลของ H_2 ได้ภายใต้ช่วงแสงที่ตามองเห็น (visible light) (Lou & Maggard, 2006)

อย่างไรก็ตามการศึกษาพฤติกรรมต่าง ๆของวัสดุ $BiFeO_3$ ในรูปแบบเซรามิกมีน้อยมาก โดยเฉพาะการศึกษาพฤติกรรมค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเทียบกับการเปลี่ยนแปลงความถี่และอุณหภูมิ เนื่องจากวัสดุ $BiFeO_3$ มีโพลาไรซ์ทางไฟฟ้าและแม่เหล็กต่ำ ความต้านทานต่ำ และการเตรียมเฟสที่บริสุทธิ์ทำได้อยาก ดังนั้น งานวิจัยนี้ได้สนใจศึกษาการเตรียมเฟสที่บริสุทธิ์ของวัสดุ $BiFeO_3$ โดยวิธีการตกตะกอนด้วย ammonia solution (25%) และการศึกษาผลของการเจือแมงกานีส (Mn^{3+}) ที่มีสถานะประจุเท่ากันแทนที่ตำแหน่งของเหล็ก (Fe^{3+}) ในโครงสร้างในวัสดุ $BiFeO_3$ เพื่อพัฒนาสมบัติทางไฟฟ้าและทางแม่เหล็กให้สามารถสังเกตได้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อยับยั้งการเกิดช่องว่างของออกซิเจน ซึ่งจะช่วยลดแฟกเตอร์ความสูญเสียทางไดอิเล็กทริก และเพื่อยับยั้งการเติบโตของเกรน ซึ่งทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงขึ้น ซึ่งผลงานวิจัยนี้คาดว่าจะได้องค์ความรู้ใหม่ที่สามารถนำไปพัฒนาวัสดุ $BiFeO_3$ ให้สามารถนำไปประยุกต์ทางอิเล็กทรอนิกส์ในขั้นต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อสังเคราะห์วัสดุ $BiFe_{1-x}Mn_xO_3$ เมื่อ x เท่ากับ 0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 ซึ่งเตรียมโดยวิธีตกตะกอน

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติพื้นฐานของวัสดุผงละวัสดุเซรามิก $BiFe_{1-x}Mn_xO_3$ ที่เตรียมได้

1.2.3 เพื่อศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุผง $BiFe_{1-x}Mn_xO_3$ และศึกษาสมบัติทางไดอิเล็กทริกวัสดุเซรามิก $BiFe_{1-x}Mn_xO_3$ ที่เตรียมได้

1.2.4 เพื่ออธิบายผลของการเจือ Mn ต่อสมบัติทางแม่เหล็กและทางไดอิเล็กทริกของวัสดุ $BiFeO_3$

1.3 ขอบเขตและข้อจำกัดของการวิจัย

1.3.1 สังเคราะห์วัสดุ $BiFe_{1-x}Mn_xO_3$ เมื่อ x เท่ากับ 0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 และ0.4 ซึ่งเตรียมโดยวิธีตกตะกอน

1.3.2 ศึกษาสมบัติพื้นฐานของวัสดุผงละวัสดุเซรามิก $BiFe_{1-x}Mn_xO_3$ ที่เตรียมได้

1.3.3 ศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุผง $BiFe_{1-x}Mn_xO_3$ และศึกษาสมบัติทางไดอิเล็กทริกวัสดุเซรามิก $BiFe_{1-x}Mn_xO_3$ ที่เตรียมได้

1.3.4 เพื่ออธิบายผลของการเจือ Mn ต่อสมบัติทางแม่เหล็กและทางไดอิเล็กทริกของวัสดุ $BiFeO_3$

1.4 สถานที่ทำการวิจัย

1.4.1 ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

1.4.2 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

1.4.3 ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

1.4.4 ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

1.4.5 ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ จังหวัดปทุมธานี

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถสังเคราะห์วัสดุผง $BiFe_{1-x}Mn_xO_3$ ที่มีขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตร สำหรับนำไปประยุกต์ในด้านอิเล็กทรอนิกส์ และด้านสิ่งแวดล้อม ในขั้นต่อไป

1.5.2 ศึกษากลไกของการเกิดการควบคู่แม่เหล็กและไฟฟ้าของวัสดุ $BiFeO_3$ ที่เจือด้วย Mn ที่เตรียมได้ เพื่อเป็นองค์ความรู้ในการพัฒนาวัสดุ $BiFe_{1-x}Mn_xO_3$ นี้สำหรับประยุกต์ทางด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในขั้นต่อไป

1.6 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

โครงสร้างของวิทยานิพนธ์เล่มนี้มีเนื้อหาสาระสำคัญแบ่งออกเป็นจำนวน 5 บทด้วยกัน คือ บทที่ 1 บทนำ จะกล่าวถึงรายละเอียดของหลักการและเหตุผล วัตถุประสงค์ ขอบเขต สถานที่ในการทำวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้ ในบทที่ 2 กล่าวถึงวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยประกอบไปด้วยความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโครงสร้างของวัสดุ $BiFeO_3$ รวมถึงวิธีการต่าง ๆที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาค $BiFeO_3$ และความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณสมบัติต่าง ๆของวัสดุชนิดนี้ บทที่ 3 ทฤษฎีไดอิเล็กทริกและแม่เหล็ก เป็นบทที่ให้ความรู้พื้นฐานทางไดอิเล็กทริกที่สำคัญ และแสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับการอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น และการแบ่งแยกลักษณะพฤติกรรมทางแม่เหล็ก บทที่ 4 วิธีการวิจัย แสดงถึงการสังเคราะห์วัสดุผงด้วยวิธีตกตะกอน การเตรียมวัสดุเซรามิกตัวอย่าง และการศึกษาลักษณะของวัสดุผงและวัสดุเซรามิกด้วยเทคนิคต่าง ๆ รวมทั้งการทดสอบสมบัติทางไดอิเล็กทริกภายใต้สภาวะต่าง ๆ บทที่ 5 ผลการวิจัยและอภิปรายผล เป็นบทที่แสดงผลของการศึกษาสมบัติพื้นฐานของวัสดุผงและวัสดุตัวอย่าง และผลการศึกษาสมบัติทางไดอิเล็กทริก รวมทั้งการอธิบายพฤติกรรมทางไดอิเล็กทริกที่เกิดขึ้น และพิจารณาถึงความสัมพันธ์ต่าง ๆ ที่เชื่อมโยงกันอย่างเป็นเหตุเป็นผล เพื่อค้นหาความจริงของพฤติกรรมที่เกิดขึ้น บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะของการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้