บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เซมิคอนดักเตอร์เจือสารแม่เหล็ก (Dilute Magnetic Semiconductor, DMS) กำลังได้รับความสนใจศึกษาอย่างมาก ในช่วง 4-5 ปีที่ผ่านมานี้ [1] เนื่องจากวัสดุ DMS สามารถแสดงสมบัติได้ทั้งเซมิคอนดักเตอร์และเฟอร์โรแมกเนติกในตัวเดียวกัน ซึ่งจะใช้เป็นองค์ประกอบสำคัญของเทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกซิพแบบใหม่ ที่อาศัยสปินของพาหะ (charge carriers spin) ในการควบคุมลอจิก (logic) และพร้อมกันนั้นสมบัติเฟอร์แมกเนติกที่เกิดจากจัดเรียงตัวของสปิน ภายใต้การกระตุ้นจากสนามแม่เหล็ก สนามไฟฟ้า หรือว่าแสง สำหรับเทคโนโลยีการจัดเก็บข้อมูล เทคโนโลยีที่ว่านี้รู้จักกันในนาม "สปินทรอนิกส์ (spintronic)" ซึ่งจะเป็นความหวังใหม่สำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกัน สำหรับข้อดีของไมโครอิเล็กทรอนิกซิพแบบสปินทรอนิกส์ คือ สามารถถ่ายโอน ประมวลผล และจัดเก็บข้อมูล ได้หลายล้านบิทพร้อมกัน ภายในอุปกรณ์ชิ้นเดียวกัน ทำให้อุปกรณ์ไมโครอิเล็กทรอนิกซิพชนิดนี้มีประสิทธิภาพการทำงานสูง ใช้พลังงานต่ำ ในขณะที่ไมโครอิเล็กทรอนิกซิพในปัจจุบัน มีส่วนที่ถ่ายโอน ประมวลผล ซึ่งใช้หลักการของการไหลของอิเล็กตรอน และส่วนจัดเก็บข้อมูล เป็นคนละชนิดกัน หรือแยกออกจากกันอย่างชัดเจน ทำให้มีข้อจำกัดในเรื่องของประสิทธิภาพการทำงาน อีกทั้งตามกฎของมัวส์ (Moore's Law) [2] ที่กล่าวไว้ว่าจำนวนของทรานซิสเตอร์ (ที่ใช้หลักการของการไหลของอิเล็กตรอน) ในคอมพิวเตอร์ซิพจะเพิ่มขึ้นสองเท่า ในทุกๆ 18 เดือน กำลังจะถึงจุดที่อิ่มตัว เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีการขีดเส้นลวดบาง (photolithography) ก็กำลังจะถึงขีดสุดของเทคโนโลยีนี้ ทำให้ไม่สามารถเพิ่มจำนวนของทรานซิสเตอร์ลงไปในซิพได้ตามกฎของมัวส์ ส่งผลให้ไม่สามารถพัฒนาหรือเพิ่มขีดความสามารถของการประมวลผลของไมโครอิเล็กทรอนิกซิพได้มากไปกว่านี้เท่าไรนัก

เป็นผลให้ในปัจจุบันได้มีการหันมาสนใจศึกษา เพื่อหาเทคโนโลยีใหม่ที่สามารถเพิ่มขีดความสามารถของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซิพ โดยมุ่งเน้นไปที่ไมโครอิเล็กทรอนิกซิพแบบสปินทรอนิกส์ ที่มีวัสดุ DMS เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งก่อนที่จะสามารถนำเทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกซิพแบบสปินทรอนิกส์มาใช้งานได้จริง จะต้องทำการพัฒนาหรือค้นหาวัสดุ DMS ที่สามารถแสดงสมบัติได้ทั้งเซมิคอนดักเตอร์และเฟอร์โรแมกเนติก ที่มีอุณหภูมิคูรี่ (Curie Temperature, T_C) สูงกว่าอุณหภูมิห้อง และจะต้องเข้าใจฟิสิกส์ของสมบัติที่วัสดุ DMS แสดงทั้งหมดให้ได้ก่อน

วัสดุที่กำลังได้รับความสนใจมีอยู่ 2 กลุ่ม คือ (1) กลุ่มอสัณฐานเซมิคอนดักเตอร์แกลเลี่ยมอาร์เซไนด์ (GaAs) หรืออินเดียมอาร์เซไนด์ (InAs) และ (2) กลุ่มสารประกอบออกไซด์เซมิคอนดักเตอร์ เช่น ZnO TiO_2 หรือ SnO_2 ซึ่งทั้งสองกลุ่มนี้เป็นสารเซมิคอนดักเตอร์ที่รู้จักกันดี แนวทางที่จะทำให้สารเซมิคอนดักเตอร์ทั้งสองกลุ่มนี้แสดงสมบัติเฟอร์โรแมกเนติก ทำได้โดยการแทนที่โลหะหลักในสารประกอบออกไซด์เซมิคอนดักเตอร์ ด้วยโลหะทรานซิชันอนุกรมที่ 1 (TM) เช่น Co, Mn, หรือ Fe เป็นต้น โดยแทนที่ในปริมาณที่เจือจาง

วัสดุ DMS กลุ่มแรก มีการศึกษาต่อเนื่องมาก่อนหน้ากลุ่มสารประกอบออกไซด์เซมิคอนดักเตอร์ หลายปี แต่พบว่ายังมีอุณหภูมิคูรี่ T_C ต่ำกว่าอุณหภูมิห้องอยู่มาก อีกทั้งการขึ้นรูปให้อยู่ในรูปของฟิล์มบาง (เพื่อที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง) ยังทำได้ยากและต้นทุนสูง รวมทั้งยังมีปัญหาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากอาร์เซนิกเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต จึงทำให้มีการหันมาสนใจศึกษาสารประกอบออกไซด์เซมิคอนดักเตอร์อย่างจริงจัง ซึ่งสารประกอบเซมิคอนดักเตอร์กลุ่มนี้มีการผลิตจริงแล้วในอุตสาหกรรม ทำให้การพัฒนาเทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกซิพแบบสปินทรอนิกส์มีความเป็นไปได้ง่ายมากขึ้น โดยการอาศัยองค์ความรู้เดิมด้านเทคโนโลยีออกไซด์เซมิคอนดักเตอร์ ที่มีอยู่แล้วรวมเข้ากับองค์ความรู้ใหม่เทคโนโลยีสปินทรอนิกส์ที่กำลังได้รับการพัฒนาขึ้นมา อีกทั้งจากการคำนวณทางทฤษฎีและการทดลองจริง แสดงให้เห็นว่าวัสดุ DMS กลุ่มสารประกอบออกไซด์เซมิคอนดักเตอร์ มีอุณหภูมิคูรี่สูงกว่าอุณหภูมิห้อง

สำหรับวัสดุ DMS กลุ่มสารประกอบออกไซด์เซมิคอนดักเตอร์ที่ได้รับการสนใจศึกษาเป็นกันอย่างมากมาก่อนหน้านี้ ในช่วง 2-3 ปี คือ ระบบ TM-doped ZnO และ TM-doped TiO_2 ซึ่งมีการรายงานทั้งที่พบและไม่พบสมบัติเฟอร์โรแมกเนติกที่อุณหภูมิห้องหรือเหนือกว่าอุณหภูมิห้อง แต่ในกลุ่มที่พบสมบัติเฟอร์โรแม่กเนติกก็ยังมีความสับสนเกิดขึ้น กล่าวคือ สมบัติเฟอร์โรแมกเนติกที่พบนั้น อาจไม่ได้เกิดจากวัสดุ DMS ที่เตรียมได้ แต่อาจเนื่องมาสิ่งเจือปนจากการที่โลหะ TM ที่ไม่สามารถเข้าไปแทนที่โลหะหลักในโครงผลึกได้ โดยที่โลหะ TM อาจจะอยู่ในรูปอะตอมเดี่ยวหรืออยู่เป็นกลุ่มคลาสเตอร์ (cluster) ทั้งนี้เนื่องจากการเตรียมสารประกอบออกไซด์เซมิคอนดักเตอร์ ที่มีการแทนที่ด้วยโลหะ TM ให้มีความบริสุทธ์ (มีโครงสร้างผลึกชนิดเดียว) ยังมีข้อจำกัดอยู่ และที่ผ่านมาระบบ TM-doped SnO_2 ยังมีการศึกษากันอยู่น้อยมาก ทั้งที่สารประกอบ SnO_2 แสดงสมบัติเซมิคอนดักเตอร์ที่ดี และมีความเป็นไปได้ในเชิงอุตสาหกรรมสูง จึงทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาวิธีการเตรียมและการแสดงสมบัติสมบัติเฟอร์โรแมกเนติก ที่อุณหภูมิห้องหรือสูงกว่าอุณหภูมิห้อง ของสารประกอบเซมิคอนดักเตอร์ระบบ TM-doped SnO_2 ($TM_xSn_{1-x}O_2$, TM = Co, Mn, Fe, and Cr, $x < 0.05$) ที่มีโครงสร้างผลึกชนิดเดียว (single phase) เพื่อให้ได้องค์ประกอบของสารประกอบเซมิคอนดักเตอร์ TM-doped SnO_2 ($TM_xSn_{1-x}O_2$, TM = Co, Mn, Fe, and Cr, $x < 0.05$) ที่เหมาะสมสำหรับเป็นวัสดุหลักในเทคโนโลยีสปินทรอนิกส์ เทคนิคที่เลือกใช้สำหรับเตรียมสารประกอบเซมิคอนดักเตอร์ TM-doped SnO_2 คือ โซลเจล ข้อดีของเทคนิคโซลเจลที่เลือกใช้ เมื่อเทียบกับเทคนิค solid-state reaction คือ สามารถเตรียมสารประกอบให้มีองค์ประกอบและโครงสร้างผลึกตามที่ต้องการได้ดีกว่า โดยใช้อุณหภูมิอบผนึก (sintering temperature) ต่ำกว่า (< 1000 °C) อีกทั้งขนาดของอนุภาคที่เตรียมได้มีขนาดเล็กระดับนาโนมิเตอร์ และมีลักษณะสม่ำเสมอกว่า

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อเตรียมสารประกอบเซมิคอนดักเตอร์ TM-doped SnO_2 ($TM_xSn_{1-x}O_2$, TM = Co, Mn, Fe, and Cr, $x < 0.05$) โดยเทคนิคโซลเจล ให้ได้โครงสร้างผลึกชนิดเดียว (single phase)

2. เพื่อศึกษาการแสดงสมบัติเฟอร์โแมกเนติก ที่อุณหภูมิห้องหรือเหนือกว่าอุณหภูมิห้อง และอธิบายเหตุผลของการแสดงสมบัติเฟอร์โแมกเนติกของสารประกอบสารประกอบเซมิคอนดักเตอร์ TM-doped SnO_2 ($TM_xSn_{1-x}O_2$, TM = Co, Mn, Fe, and Cr, $x < 0.05$) ที่เตรียมได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. เตรียมสารประกอบเซมิคอนดักเตอร์ TM-doped SnO_2 ($TM_xSn_{1-x}O_2$, TM = Co, Mn, Fe, and Cr, $x < 0.02$) โดยเทคนิคโซลเจล ให้มีขนาดของอนุภาคระดับนาโนมิเตอร์ และโครงสร้างผลึกแบบเตตระโกนอล

2. ศึกษาโครงสร้างผลึกของสารประกอบที่เตรียมได้โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (Powder X-ray Diffraction) และเทคนิค Rietveld refinement

3. ศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของสารประกอบที่เตรียมได้โดย Scanning electron microscope (SEM) และ Tunneling electron microscope (TEM) และศึกษาองค์ประกอบที่แน่นอนของสารประกอบที่เตรียมได้โดยเทคนิค Energy X-ray dispersive spectroscopy (EDS)

4. ศึกษาสมบัติแม่เหล็กของสารประกอบที่เตรียมได้โดย (ก) Vibrating sample magnetometer (VSM) (ข) Ferromagnetic resonance spectrometer (FMR) และ (ค) Superconducting quantum interference device (SQUID) magnetometer

5. เขียนรายงานการวิจัยเพื่อเผยแพร่ในวารสารต่างประเทศ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

หากโครงการวิจัยนี้ดำเนินการสำเร็จตามวัตถุประสงค์

1. จะสามารถเผยแพร่ผลงานในวารสารระดับนานาชาติ ในหัวข้อเรื่อง_ โดยคาดว่าจะตีพิมพ์ในวารสาร *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. สำนักพิมพ์ Elsevier

2. ทำให้เกิดความร่วมมือระหว่างบุคคลากร และสถาบัน ทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ อย่างต่อเนื่องต่อไปในภายภาคหน้า

3. ทำให้เกิดการพัฒนาศักยภาพของบุคคลากรของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ทำให้เกิดองค์ความรู้ใหม่เกี่ยวกับวัสดุสำหรับเทคโนโลยีสปินทรอนิกส์ ซึ่งจะเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญภายในอนาคตอันใกล้นี้