จงรัก บ่อทรัพย์ : การศึกษาสารแม่เหล็กแมงกานีสบิสมัทเชิงจุลภาค (MICROSCOPIC INVESTIGATION OF MANGANESE BISMUTH MAGNETIC MATERIALS). อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.ประยูร ส่งสิริฤทธิกุล, 115 หน้า.

คำสำคัญ: กระบวนการเผาผนึกแบบมีเฟสของเหลว/เฟสแมงกานีสบิสมัทที่อุณหภูมิต่ำ/การเผาผนึกแบบสุญญากาศ/สัมประสิทธิ์การแพร่/คุณสมบัติแม่เหล็ก/ความเสถียรทางแม่เหล็ก/การเสื่อมสภาพ

การเผาผนึกด้วยเฟสของของเหลวที่อุณหภูมิต่ำ (LPS) ในสุญญากาศได้ถูกแสดงให้เห็นว่าเป็นเทคนิคที่สามารถสังเคราะห์สารประกอบเฟอร์โรแมกเนติกของแมงกานีสบิสมัทในเฟสอุณหภูมิต่ำ (LTP-MnBi) ซึ่งเป็นวัสดุแม่เหล็กปราศจากธาตุหายากสำหรับการผลิตแม่เหล็กถาวรประสิทธิภาพสูง เทคนิคนี้ไม่ต้องมีกระบวนหรือขั้นตอนที่ยุ่งยากหลังจากการเผาผนึก ดังนั้นจึงเป็นเทคนิคที่ง่ายสำหรับการสังเคราะห์สาร LTP-MnBi จำนวนมากได้ พบว่าผงของ LTP-MnBi มีสนามลบล้างความเป็นแม่เหล็กมีค่าสูงสุดประมาณ 5 kOe และผลผลิตพลังงานสูงสุด ($(BH)_{max}$) มีค่าสูงสุดประมาณ 5.5 MGOe ที่อุณหภูมิห้องนั้นสามารถสังเคราะห์ขึ้นโดยการเผาผนึกที่ 325 °C ในขั้นตอนเดียวของการเผาผนึกในเฟสของของเหลวที่อุณหภูมิต่ำ ความซับซ้อนของกระบวนการเผาผนึกในเฟสของของเหลวสำหรับการสังเคราะห์ LTP-MnBi ถูกอธิบายโดยกลไกการแพร่มีบทบาทสำคัญในการก่อตัวของ LTP-MnBi ระหว่างการเผาผนึก ที่ผงบิสมัท (Bi) จะถูกหลอมเป็นของเหลวที่อุณหภูมิการเผาผนึกที่สูงกว่าจุดหลอมเหลวของมัน และของเหลวดังกล่าวจะเคลื่อนผ่านพื้นผิวภายนอกของอนุภาคแมงกานีส (Mn) และตามรอยแตกภายในอนุภาค Mn ชั้น LTP-MnBi เกิดขึ้นเมื่อ Bi แพร่เข้าไปเนื้อสารของอนุภาค Mn จากพื้นผิวภายนอกของอนุภาคและจากพื้นผิวภายในของรอยแตกภายในอนุภาค ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ใน MnBi ได้ถูกคำนวณจากผลการทดลองที่อุณหภูมิระหว่าง 275 ถึง 375 °C ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่จะเป็นไปตามสมการอาร์เรเนียส โดยมีค่าพารามิเตอร์หน้าของเทอมเอ็กซ์โพเนนเชียล คือ 5.33×10^{-10} cm^2/s และพลังงานกระตุ้นคือ 0.45 eV สมการนี้ให้ข้อมูลเพื่อคำนวณความหนาของชั้น LTP-MnBi ที่ก่อตัวขึ้นบริเวณพื้นผิวภายนอกของอนุภาคและพื้นผิวภายในของรอยแตกภายในอนุภาค ที่ได้จากการเผาผนึกที่อุณหภูมิระหว่าง 275 ถึง 375 °C สำหรับระยะเวลาการเผาผนึกใด ๆ

สารแม่เหล็ก LTP-MnBi ที่ได้จากการเผาผนึกแสดงการเปลี่ยนแปลงที่ค่อนข้างน่าสนใจคือว่าประสิทธิภาพของสารแม่เหล็กมีค่าเพิ่มขึ้นตามกาลเวลา โดยพบว่าทั้งสนามลบล้างความเป็นแม่เหล็กและผลผลิตพลังงานสูงสุดที่อุณหภูมิห้องมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 52 เมื่อระยะเวลาผ่านไป 18 เดือนเมื่อเทียบกับสารที่เพิ่งสังเคราะห์ขึ้นใหม่ การเพิ่มประสิทธิภาพของแม่เหล็กคาดว่าน่าจะเกิดจากการเพิ่มขึ้นของเนื้อสารทำให้ความหนาของ LTP-MnBi มีค่าเพิ่มขึ้น ความหนาที่เพิ่มขึ้นนั้นน่าจะเกิดจาก

การที่มีการแพร่ผ่านชั้น LTP-MnBi และได้ข้อสรุปจากผลการทดลองว่า LTP-MnBi ที่สังเคราะห์ขึ้นในงานนี้ค่อนข้างเสถียรที่อุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตามสาร LTP-MnBi สามารถเสื่อมสภาพได้ง่ายเมื่อมีการให้ความร้อนกับสารที่อุณหภูมิ 150 °C ในอากาศ การเสื่อมสภาพส่วนใหญ่เกิดจากการปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้เกิดสารหลักคือ ออกไซด์ของ Mn และ Bi ดังนั้นการป้องกันการสัมผัสกับอากาศต้องพิจารณาอย่างจริงจังเมื่อต้องการใช้สาร LTP-MnBi ที่อุณหภูมิสูง การเคลือบฟิล์มบนผิวของสารแม่เหล็กอาจเป็นวิธีแก้ปัญหานี้ได้

สาขาวิชาฟิสิกส์ ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ปีการศึกษา 2564 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

JONGRAK BORSUP : MICROSCOPIC INVESTIGATION OF MANGANESE BISMUTH MAGNETIC MATERIALS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PRAYOON SONGSIRIRITHIGUL, Ph.D. 115 PP.

Keyword: LIQUID-PHASE SINTERING/LTP-MnBi /VACUUM SINTERING/DIFFUSION COEFFICIENT /MAGNETIC PROPERTIES/ MAGNETIC STABILITY/DEGRADATION

Low-temperature liquid-phase sintering (LPS) in vacuum has been demonstrated to be a promising method for synthesizing ferromagnetic low-temperature phase manganese bismuth compound (LTP-MnBi), which is also a promising rare-earth-free magnetic materials for fabricating high-performance permanent magnets. The technique requires no extensive post-sintering processing, and thus is a facile technique for mass production. Powder of LTP-MnBi with coercivity of about 5 kOe at room temperature has been achieved by a single-step low-temperature LPS. The highest $(BH)_{max}$ of approximately 5.5 MGOe was obtained for the MnBi powder sintered at 325 °C. The complex nature of the liquid phase sintering processes for synthesizing LTP-MnBi was explained. The diffusion mechanism plays an important role in the formation of LTP-MnBi during LPS. At sintering temperatures higher than the melting point, Bi powder was melted into liquid before migrating over the surface of the Mn particles, and along the cracks within the Mn particles. LTP-MnBi layers were formed when Bi diffuses into the bulk Mn particles from their exterior surfaces and from interior surfaces of cracks within the particles. The diffusion coefficient in MnBi was experimentally determined. At temperatures between 275 and 375 °C, the diffusion coefficient follows the Arrhenius equation with the pre-exponential factor of 5.33×10^{-10} cm^2/s and activation energy of 0.45 eV. This equation provides the information to estimate the thickness of LTP-MnBi layers sintered at any temperature between 275 and 375 °C for a given sintering duration.

The sintered LTP-MnBi exhibits rather interesting changes that the magnetic performance improved with aging. Both coercivity and energy product were found to increase by 52% with 18-month aging at room temperature. The enhance in the

magnetic performance was considered as the increase in the LTP-MnBi content in the sintered product due to the diffusion. LTP-MnBi is rather stable at room temperature. However, LTP-MnBi is easily decomposed at 150 °C in air. The decomposition was caused mainly by oxidation, yielding Mn oxides and Bi. Therefore, the prevention to expose to air must be taken into account seriously to utilize this material at elevated temperatures. Capsulating or thin film coating maybe a solution to this problem.

School of Physics Student's Signature _____

Academic Year 2021 Advisor's Signature _____