



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ : การปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิกเฟอร์โรอิเล็กทริกที่มี
เลดซิงค์ไนโอเบตเป็นองค์ประกอบหลักด้วยการใช้สารตั้งต้น
แบบโคลัมไบต์และการเติมสารออกไซด์

โดย อาจารย์ ดร. อิพิงศ์ งามจรรูโรจน์ และคณะ

เดือน ปี ที่เสร็จโครงการ พฤษภาคม 2553



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ : การปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิกเฟอร์โรอิเล็กทริกที่มี
เลดซิงค์ไนโอเบตเป็นองค์ประกอบหลักด้วยการใช้สารตั้งต้น
แบบโคลัมไบต์และการเติมสารออกไซด์

โดย อาจารย์ ดร. อธิพงศ์ งามจารุโรจน์ และคณะ



เดือน ปี ที่เสร็จโครงการ พฤษภาคม 2553

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ : การปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิกเพอร์โรอิเล็กทริกที่มี
เลดซิงค์ในโอเบตเป็นองค์ประกอบหลักด้วยการใช้สารตั้งต้น
แบบโคลัมไบต์และการเติมสารออกไซด์

คณะผู้วิจัย

ดร. อธิพงษ์ งามจารุโรจน์	ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผศ. ดร. รัตติกร ยิ้มนิรัญ	สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รศ. ดร. สุปล อนันตา	ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา
และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ได้ให้การสนับสนุนงานวิจัยทุนพัฒนาศักยภาพการทำงานวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่ ประจำปี พ.ศ. 2551 ขอขอบคุณ ผศ. ดร. รัตติกกร ยี่มนิรัญ และ รศ. ดร. สุปล อนันดา ที่ปรึกษาโครงการที่ได้ให้การสนับสนุนและคำแนะนำในทุกด้านเพื่อช่วยให้อาชีพนักวิจัยของผู้วิจัยเริ่มต้นได้ ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ และ สถานที่ ขอขอบคุณผู้ร่วมงานทุกท่าน ที่มีส่วนช่วยเหลือผู้วิจัยให้ดำเนินงานโครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี ที่ขาดไม่ได้อย่างยิ่ง ก็คือการสนับสนุนและกำลังใจ คุณ สรินยารัตน์ งามจาร์โรจน์ ภรรยาผู้เป็นกำลังใจ เป็นที่ปรึกษาอันเสมอในการทำวิจัย โดยผ่านทางความรัก ความเข้าใจ และการดูแลตลอดจนกำลังใจที่มอบให้ผู้วิจัยตลอดมา

(อาจารย์ ดร. อธิพงศ์ งามจาร์โรจน์)
หัวหน้าโครงการ

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : MRG5180105

ชื่อโครงการ : การปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิกเฟอร์โรอิเล็กทริกที่มีเลดซิงค์ในโอเบตเป็นองค์ประกอบหลักด้วยการใช้สารตั้งต้น แบบโคลัมไบต์และการเติมสารออกไซด์

ชื่อนักวิจัย : อาจารย์ ดร. อธิพงศ์ งามजारุโรจน์

ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัตติกร์ ยิ้มนิรัญ

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รองศาสตราจารย์ ดร. สุปล อนันดา

ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

E-mail Address : Ngamjarujana@yahoo.com

ระยะเวลาโครงการ : 15 พฤษภาคม 2551 ถึง 14 พฤษภาคม 2553

247627

โครงการวิจัยนี้ได้พัฒนากระบวนการปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิกเฟอร์โรอิเล็กทริกที่มีเลดซิงค์ในโอเบตเป็นองค์ประกอบหลักด้วยการใช้สารตั้งต้น แบบโคลัมไบต์และการเติมสารออกไซด์ โดยอาศัยวิธีผสมผสานกระบวนการเตรียมสารแบบ mixed oxide อย่างง่ายเข้ากับเทคนิคการบดย่อยแบบสั้นกระทงอย่างรวดเร็ว ซึ่งการควบคุมเงื่อนไขในการเผาแคลไซน์และการเผาซินเทอร์ ได้แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของปัจจัยในกระบวนการเตรียมที่มีต่อลักษณะเฉพาะของการก่อเกิดเฟส พัฒนาการของโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางไฟฟ้าของสารเซรามิกเซรามิกเฟอร์โรอิเล็กทริกที่มีเลดซิงค์ในโอเบตเป็นองค์ประกอบหลัก

คำหลัก: เฟอร์โรอิเล็กทริก, การเผาซินเทอร์, สมบัติทางไฟฟ้า, โคลัมไบต์ และ เลดซิงค์ในโอเบต

Abstract

Project Code : MRG5180105

Project Title : Modification of Electrical Properties of Lead Zinc Niobate Based
Ferroelectric Ceramics by Using Columbite Precursor and Oxide Additives

Investigators : Dr. Athipong Ngamjarrojana

Department of Physics and Materials Science, Faculty of Science,
Chiang Mai University

Assistant Professor Dr. Rattikorn Yimnirun

Department of Physics, Faculty of Science, Suranaree University of
Technology

Associate Professor Dr. Supon Ananta

Department of Physics and Materials Science, Faculty of Science,
Chiang Mai University

E-mail Address : Ngamjarrojana@yahoo.com

Project Period : May 15, 2008 to May 14, 2010

247627

In this research, study in modification of electrical properties of Lead Zinc Niobate based ferroelectric ceramics by using Columbite precursor and oxide Additives, that were synthesized by using a mixed oxide via a rapid vibro-milling technique which have been investigated as a function of calcination conditions and sintering conditions. It has been found that effect on relationships between chemical compositions, sintering conditions, phase formation, densification, microstructure and electrical properties of the sintered products reflect to developing on Lead Zinc Niobate based ferroelectric ceramics.

Keywords: Ferroelectrics, Sintering, Electrical properties, Columbite and Lead Zinc Niobate

Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกอ. และ สกว.

บทความวิชาการที่ได้ตอบรับหรือเสนอเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ (International publications) ที่จัดอยู่ในฐานข้อมูล ISI หรือ Scopus จำนวน 5 เรื่อง โดยเป็นผู้วิจัยหลักทั้ง 5 เรื่อง คือ

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ

โดยเป็นผู้วิจัยหลักทั้ง 5 เรื่อง(แสดงในภาคผนวก)

- 1.1 **Ngamjarrojana A., Ananta, S., Yimnirun, R.**, "Effect of Al₂O₃ addition on dielectric, piezoelectric and ferroelectric properties of 0.2Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃-0.8Pb(Zr_{1/2}Ti_{1/2})O₃ ceramics" *Adv Mats Res* 55-57, pp. 89-92 (2008) **ไม่มี impact factor อยู่ใน Scopus**
- 1.2 **Ngamjarrojana, A.**, "Effect of Addition of CuO and Bi₂O₃ on Low Temperature Sintering of Pb(Zr,Ti)O₃-PbZn_{1/3}Nb_{2/3}O₃-Pb(Ni_{1/3}Nb_{2/3})O₃ Based Ceramics" *CHIANG MAI JOURNAL OF SCIENCE* ,36 (1) pp 50-58 (2009) **ไม่มี impact factor อยู่ใน ISI**
- 1.3 **Ngamjarrojana, A., Ananta, S.**, "Effect of MnO₂ Addition on Dielectric, Piezoelectric and Ferroelectric Properties of 0.2Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃-0.8Pb(Zr_{1/2}Ti_{1/2})O₃ Ceramics" *CHIANG MAI JOURNAL OF SCIENCE* ,36 (1) pp 59-68 (2009). **ไม่มี impact factor อยู่ใน ISI**
- 1.4 **Ngamjarrojana, A., Yimnirun, R., Ananta, S.**, "Vibro-Milling Time on Phase Formation and Particle Size of ZnNb₂O₆ Nano- powders" *Key Eng Mats* (2010) 421-422, pp. 550-553 (2010) **มี impact factor 0.224**
- 1.5 **Ngamjarrojana A., Srisombat L., Yimnirun R., Ananta S.** "Extended X-ray Absorption Fine Structure and X-ray Diffraction Studies of Mn-Doped PZN-PZT Ceramics," *Ferroelectrics* (accepted) **มี impact factor 0.427**

โดยเป็นผู้วิจัยร่วม

- 2.1. Wongdamnern N., **Ngamjarrojana A.**, Laosiritaworn Y., Ananta S., Yimnirun R., Scaling Behavior of Dynamic Hysteresis in Hard PZT Bulk Ceramics under Influence of Compressive Stress, "Impedance and dielectric properties of Nb-doped Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O₃ ceramics" *Adv Mats Res* 55-57, pp. 281-284 (2008) **ไม่มี impact factor อยู่ใน Scopus**

- 2.2. Ketsuwan P., **Ngamjarrojana A.**, Laosiritaworn Y., Ananta S., Yimnirun R., Cann D.P., "Impedance and dielectric properties of Nb-doped $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ ceramics" *Adv Mats Res* 55-57, pp. 129-132 (2008) **ไม่มี impact factor อยู่ใน Scopus**
- 2.3. Silawongsawat C., Chandarak S., Sareein T., **Ngamjarrojana A.**, Maensiri S., Laoratanakul P., Ananta S., Yimnirun R., "Effect of calcination conditions on phase formation and characterization of BiFeO_3 powders synthesized by a solid-state reaction" *Adv Mats Res* 55-57, pp. 237-240 (2008) **ไม่มี impact factor อยู่ใน Scopus**
- 2.4. Chandarak S., Sareein T., **Ngamjarrojana A.**, Maensiri S., Laoratanakul P., Ananta S., Yimnirun R., "Effect of Calcination Conditions on Phase Formation and Characterization of BiFeO_3 - BaTiO_3 powders synthesized by a solid-state reaction" *Adv Mats Res* 55-57, pp. 241-244 (2008) **ไม่มี impact factor อยู่ใน Scopus**
- 2.5. **Ngamjarrojana A.**, "Effect of Addition of CuO and Bi_2O_3 on Low Temperature Sintering of $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ - $\text{PbZn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3$ - $\text{Pb}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ Based Ceramics" *CHIANG MAI JOURNAL OF SCIENCE* ,36 (1) pp 50-58 (2009) **ไม่มี impact factor อยู่ใน ISI**
- 2.6. Yimnirun R., Triamnak N., Unruan M, **Ngamjarrojana A.**, Laosiritaworn Y., Ananta S. Ferroelectric Properties of $\text{Pb}(\text{Zr}_{1/2}\text{Ti}_{1/2})\text{O}_3$ - $\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ Ceramics Under Compressive Stress *Curr Appl Phys* 2009; **9**: 249-252. **มี impact factor 1.291**
- 2.7. Yimnirun R., Triamnak N., Unruan M., **Ngamjarrojana A.**, Laosiritaworn Y., Ananta S. Stress-Dependent Ferroelectric Properties of $\text{Pb}(\text{Zr}_{1/2}\text{Ti}_{1/2})\text{O}_3$ - $\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ Ceramic Systems *Ceram Int* 2009; **35**: 185-189. **มี impact factor 1.360**
- 2.8. Wongdamnern N., **Ngamjarrojana A.**, Laosiritaworn Y., Ananta S., Yimnirun R. Dynamic Ferroelectric Hysteresis Scaling in BaTiO_3 Single Crystals *J Appl Phys* 2009; **105**: 044109. **มี impact factor 2.171**
- 2.9. Prasatkhetragarn A., **Ngamjarrojana A.**, Laosiritaworn Y., Ananta S., Yimnirun R., Cann D. Effects of Zr/Ti ratio on phase formation and electrical properties of $0.8\text{Pb}(\text{Zr}_{1/2}\text{Ti}_{1/2})\text{O}_3$ - $0.2\text{Pb}(\text{Co}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ ceramics *Curr Appl Phys* 2009; **9**: 802-806. **มี impact factor 1.291**
- 2.10. Sareein T., Unruan M., **Ngamjarrojana A.**, Jiansirisomboon S., Watcharapasorn A., Yimnirun R. Influences of Compressive Stress and Aging on Dielectric Properties of Sodium Bismuth Titanate Ceramics *Phys Lett A* 2009; **373**: 1583-1587. **มี impact factor 1.711**

- 2.11. Unruan M., Prasatkhetragarn A., **Ngamjarrojana A.**, Laosiritaworn Y., Ananta S., Yimnirun R. Dielectric and ferroelectric properties of lead zirconate titanate-lead nickel niobate ceramics under compressive stress *J Appl Phys* 2009; **105**: 084111-1-5. ISI impact factor 2.171
- 2.12. Prasatkhetragarn A., **Ngamjarrojana A.**, Laosiritaworn Y., Ananta S., Yimnirun R., Cann D. Dielectric and ferroelectric properties of 0.8PZT-0.2PCN ceramics under sintering conditions variation *Curr Appl Phys* 2009; **9**: 1165-1169. ISI impact factor 1.2
- 2.13. Ketsuwan P., Prasatkhetragarn A., Triamnak N., Huang C. C., **Ngamjarrojana A.**, Ananta S., Cann D. P., Yimnirun R. Electrical Conductivity and Dielectric and Ferroelectric Properties of Chromium Doped Lead Zirconate Titanate Ceramic *Ferroelectrics* 2009; **382**: 49-55. ISI impact factor 0.427
- 2.14. Sareein T., **Ngamjarrojana A.**, Ananta S., Yimnirun R. Effect of Sb_2O_5 Addition on Phase Formation and Characterization of $(\text{Bi}_{1/2}\text{Na}_{1/2})\text{TiO}_3$ - $(\text{K}_{1/2}\text{Na}_{1/2})\text{NbO}_3$ Ceramics *Ferroelectrics* 2009; **382**: 173-181. ISI impact factor 0.427
- 2.15. Prasertpalichatr S., Unruan M., Sareein T., Tangsritrakool J., Dechakupta T., **Ngamjarrojana A.**, Laosiritaworn Y., Ananta S., Yimnirun R. Physical Properties and Electrical Aging Effect in $\text{Fe}^{3+}/\text{Nb}^{5+}$ Hybrid-Doped Barium Titanate Ceramics *Ferroelectrics* 2009; **384**: 146-152. ISI impact factor 0.427
- 2.16. Unruan M., **Ngamjarrojana A.**, Laosiritaworn Y., Ananta S., Yimnirun R. Dielectric Properties of $\text{Pb}(\text{Zr}_{1/2}\text{Ti}_{1/2})\text{O}_3$ - $\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ Ceramics Under Compressive Stress Applied Perpendicular to Electric Field *Ferroelectrics* 2009; **384**: 84-92. ISI impact factor 0.427
- 2.17. Prasatkhetragarn A., Ketsuwan P., Unruan M., **Ngamjarrojana A.**, Laosiritaworn Y., Ananta S., Yimnirun R., Cann D. P. Effect of Zr/Ti Ratio on Phase Formation and Dielectric Properties of $0.2\text{Pb}(\text{Co}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - $0.8\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$ Ceramics *Ferroelectrics* 2009; **380**: 122-129. ISI impact factor 0.427
- 2.18. Unruan M., Prasatkhetragarn A., **Ngamjarrojana A.**, Laosiritaworn Y., Ananta S., Yimnirun R. Change in Dielectric Properties of $\text{Pb}(\text{Zr}_{1/2}\text{Ti}_{1/2})\text{O}_3$ - $\text{Pb}(\text{Co}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ Ceramics Under Compressive Stress Applied Perpendicular to Electric Field *Ferroelectrics* 2009; **384**: 174-182. ISI impact factor 0.427
- 2.19. Ketsuwan P., Prasatkhetragarn A., Triamnak N., Huang C. C., **Ngamjarrojana A.**, Ananta S., Cann D. P., Yimnirun R. Effects of Niobium Doping on Dielectric and

- Ferroelectric Properties of Chromium Modified Lead Zirconate Titanate Ceramics *Ferroelectrics* 2009; **380**: 183-189. ISI impact factor 0.427
- 2.20. Prasatkhetragarn A., Ketsuwan P., Unruan M., **Ngamjarrojana A.**, Laosiritaworn Y., Ananta S., Yimnirun R., Cann D. P. Effects of Sintering Conditions on Phase Formation and Dielectric Properties of $0.2\text{Pb}(\text{Co}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - $0.8\text{Pb}(\text{Zr}_{1/2}\text{Ti}_{1/2})\text{O}_3$ Ceramics *Ferroelectrics* 2009; **382**: 100-109. ISI impact factor 0.427
- 2.21. Wongdamnern N., Triamnak N., **Ngamjarrojana A.**, Ananta S., Laosiritaworn Y., Yimnirun R. Stress-Dependent Scaling Behavior of Sub-Coercive Field Dynamic Hysteresis in $\text{Pb}(\text{Zr}_{1/2}\text{Ti}_{1/2})\text{O}_3$ - $\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ Ceramic Systems *Ferroelectrics* 2009; **384**: 1-9. ISI impact factor 0.427
- 2.22. Sareein T., Muanjai Unruan M., **Ngamjarrojana, A.**, Ananta, S., Yimnirun, R., "Effects of Compressive Stress on Dielectric Properties of Lead-Free $(\text{Bi}_{1/2}\text{Na}_{1/2})\text{TiO}_3$ - $(\text{K}_{1/2}\text{Na}_{1/2})\text{NbO}_3$ Ceramic Systems" *Key Eng Mats* (2010) 54-57, pp. 550-553 (2010). ISI impact factor 0.224
- 2.23. Wongdamnern N., **Ngamjarrojana, A.**, Ananta, S., Laosiritaworn Y., Yimnirun, R., "Dynamic Hysteresis Scaling in BaTiO_3 Bulk Ceramics" *Key Eng Mats* (2010) 421-422, pp. 399-402 (2010) ISI impact factor 0.224
- 2.24. Chandarak S., Unruan M., Sareein T., **Ngamjarrojana A.**, Maensiri S., Laoratanakul P., Ananta S., Yimnirun R. Fabrication and Characterization of $(1-x)\text{BiFeO}_3$ - $x\text{BaTiO}_3$ Ceramics Prepared by Solid State Reaction Method *J Mater Sci* 2009 *in press*. ISI impact factor 1.081
- 2.25. Wongdamnern N., Triamnak N., Unruan M., **Ngamjarrojana A.**, Ananta S., Laosiritaworn Y., Yimnirun R. Stress-Dependent Scaling Behavior of Sub-Coercive Field Dynamic Ferroelectric Hysteresis in $0.2\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - $0.8\text{Pb}(\text{Zr}_{1/2}\text{Ti}_{1/2})\text{O}_3$ Ceramic *Phys Lett A* 2009 *in revision*. ISI impact factor 1.71
- 2.26. Prasatkhetragarn A., Ketsuwan P., **Ngamjarrojana A.**, Ananta S., Yimnirun R., Cann D. P. Synthesis and dielectric properties of $0.9\text{Pb}(\text{Zr}_{1/2}\text{Ti}_{1/2})\text{O}_3$ - $0.1\text{Pb}(\text{Fe}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ nanoceramics *Curr Appl Phys* 2009 submitted. ISI impact factor 1.291
- 2.27. Wongdamnern N., **Ngamjarrojana A.**, Laosiritaworn Y., Ananta S., Yimnirun R. Dynamic Ferroelectric Hysteresis Scaling in BaTiO_3 Ceramics *Mater Chem Phys* 2009 submitted. ISI impact factor 1.871

การเชื่อมโยงทางวิชาการอื่น ๆ ทั้งในและต่างประเทศ

นอกจาก ผศ.ดร. รัตติกร ยี่มนิรัญ และ รศ.ดร. สุปล อนันตา ผู้เป็นนักวิจัย ที่ปรึกษา ยังมีความร่วมมือกับ ผศ.ดร. ยงยุทธ เหล่าศิริถาวร อาจารย์ประจำภาควิชา ฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ซึ่งมีนำผลงานในส่วน ของ ข้อมูลการทดลองจริงทางฮิสเทอรีซิส ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับการศึกษาพัฒนาทาง คณิตศาสตร์

อีกทั้งมีความร่วมมือกับอาจารย์ต่างมหาวิทยาลัยภายในประเทศ ได้แก่

- อ. ดร. ปิยชนน์ เกษสุวรรณ อาจารย์ประจำสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร วิทยาเขต พระยา
- อ. ดร. อนุรักษ์ ประสาทเขตรการ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร วิทยาเขต พระยา
- อ. ดร. สุปัตรา วงศ์แสนใหม่ อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- อ. ดร. เรวดี วงศ์มณีรุ่ง อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ซึ่งความร่วมมือดังกล่าวได้แสดงในผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ