

obtained in our work show slightly decrease, though not significantly. Our results are comparable to those of Garg and Agrawal [7], though the ratios of Zr/Ti of their samples are slightly different.

Fig. 2. shows the surfaces of the as-sintered of the undoped and doped ceramics. It can be concluded that the grain size tends to decrease (from 8.2 μm down to 1.1 μm) with increasing Nd_2O_3 dopant as generally expected. Though at the Nd_2O_3 quantities higher than 0.3 mol%, the grain size are almost constant (slightly over 1 μm). Furthermore, there is a trend that the values of ϵ_r drop with increasing grain size. This agrees very well with Randall et al. [21].

CONCLUSIONS

In this work, it has been found that the addition of the Nd-dopant has the effect to phase transformation of PZT system. The rhombohedral phase was found together with tetragonal phase and the second phase disappeared in the sintered samples. With high quantities of Nd (over 1.5 mol%), however, new second phases and trace of unreacted Nd_2O_3 were found. The piezoelectric coefficients obtained in our works are comparable to those obtained by others, whereas the dielectric constants are higher.

Acknowledgement

The authors would like to express their sincere thanks to the Thailand Research Fund for the funding of this project. The authors would also like to thank Asst. Dr. S. Wiboolsake and Dr. A. Chaipanich for their useful comments and correction the manuscript.

References

1. H. Zeming, J.M. Ruifang Ahang and T. Li, *J. Eur. Ceram. Soc.* **23**, 1943-1947 (2003).
2. T. Tunkasiri, *Smart Mater. Struct.* **3**, 243-247 (1994).
3. V.F. Janas, and A. Safari, *J. Am. Ceram. Soc.* **78**[11], 2945-2955 (1995).
4. G.H. Haertling, *J. Am. Ceram. Soc.* **82**[4], 797-818 (1999).
5. L.X. He and C.E. Li, *J. Mats. Sci.* **35**, 2477-2480 (2000).
6. A. Garg and T.C. Goel, *J. Mats. Sci: Mats in Elect.* **11**, 225-228 (2000).
7. A. Garg and D.C. Agrawal, *Mats. Sci. and Eng. B.* **86**, 134-143 (2001).
8. S.R. Shannigrahi, R.N.P. Dhoudhary and H.N. Acharya, *Mats. Sci. Eng. B* **56**, 31-39 (1999).
9. J. Lappalainen and V. Lantto, *App. Surf. Sci.* **154-155**, 118-122(2000).
10. A.J. Moulson and J.M. Herbert, *Electroceramics* (Wiley & Sons Ltd. 1st edition, 1990) p.277.

11. A.J. Moulson and J.M. Herbert, *Electroceramics* (Wiley & Sons Ltd. 2nd edition, 2003) p.356.
12. Powder Diffraction File, Card No.33-784, Joint Committee on Powder Diffraction Standards, International Centre for Diffraction Data, Swarthmore, PA.
13. Powder Diffraction File, Card No.49-247, Joint Committee on Powder Diffraction Standards, International Centre for Diffraction Data, Swarthmore, PA.
14. Powder Diffraction File, Card No.50-227, Joint Committee on Powder Diffraction Standards, International Centre for Diffraction Data, Swarthmore, PA.
15. Powder Diffraction File, Card No.26-142, Joint Committee on Powder Diffraction Standards, International Centre for Diffraction Data, Swarthmore, PA.
16. Powder Diffraction File, Card No.78-1618, Joint Committee on Powder Diffraction Standards, International Centre for Diffraction Data, Swarthmore, PA.
17. Powder Diffraction File, Card No.75-2255, Joint Committee on Powder Diffraction Standards, International Centre for Diffraction Data, Swarthmore, PA.
18. H. Hirashima, E. Onishi and M. Nakagawa, *J. Non-Crys. Solids* **121**[1-3], 404-406 (1990).
19. S.R. Nasar, M. Cerqueira, E. Longo, J.A. Varela and A. Beltran, *J. Eur. Ceram. Soc.* **22**, 209-218 (2002).

20. W. Thamjaree, W. Nhuapeng and T. Tunkasiri, *Ferr. Lett. Sec.* **31**[3-4], 79-85 (2004).
21. C.A. Randall, N. Kim, J.P. Kucera, W. Cao and T.R. Shrout, *J. Am. Ceram. Soc.* **81**[3], 677-688(1998).

Table 1. The piezoelectric, dielectric and physical properties of PZT doped with Nd sintered at 1200 °C

Quantity of dopant– Nd (mol%)	Density (%)	Shrinkage (%)	T _C (°C)	ε _r	tan δ	d ₃₁ (pC/N)	k ₃₁	k _p
0.1	92	14.42	378	29,200	0.01	38.8	0.21	0.31
0.3	95	15.23	370	17,800	0.03	42.8	0.21	0.31
1.5	94	16.01	250	8,114	0.01	48.3	0.20	0.30
2.7	93	15.74	250	4,450	0.002	26.3	0.18	0.27
2.0 [6]	97	-	-	680	-	-	-	-
2.0 [7]	-	-	371	3490	0.03	128	0.29	0.49
0.07 [8]	97	-	196	5878	0.03	-	-	-

N.B. - means they were not shown in the original papers.

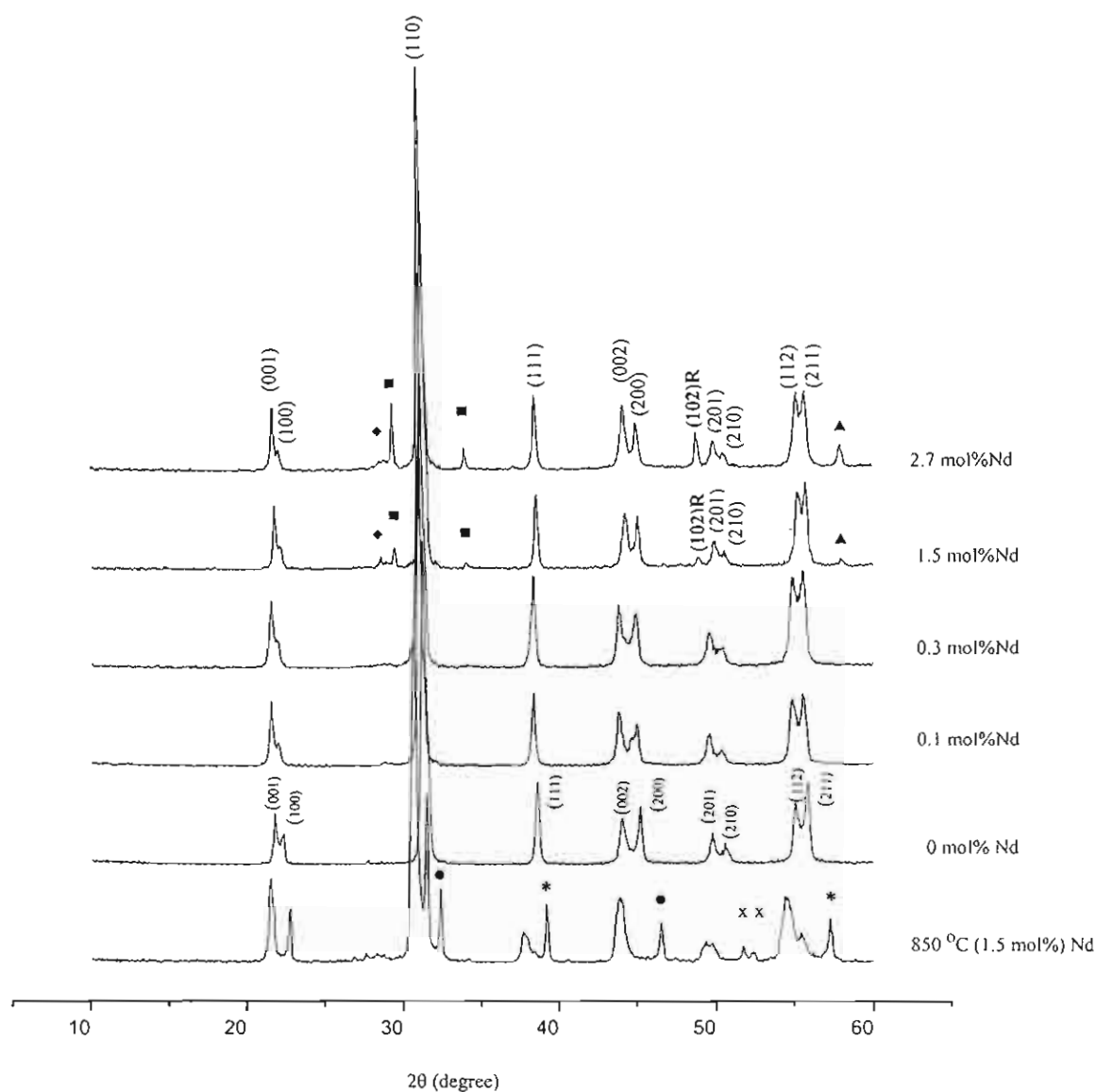
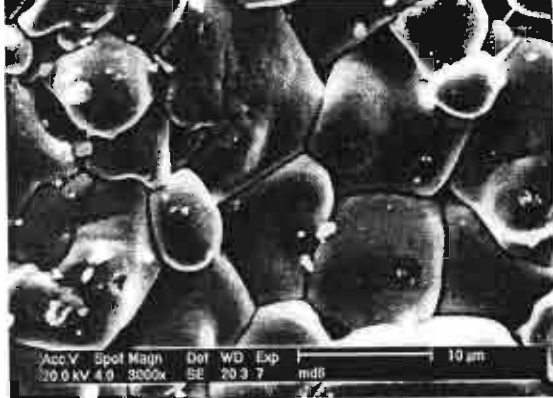
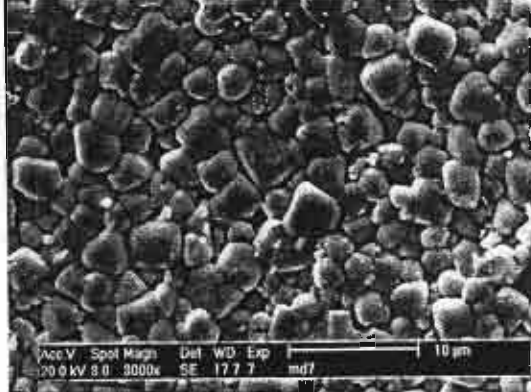


Fig 1. The top 5 X-ray diffractograms are the undoped and Nd-doped ceramics, sintered at 1200 °C. The bottom plot is an XRD pattern of 1.5 mol% Nd doped sample calcined at 850 °C.

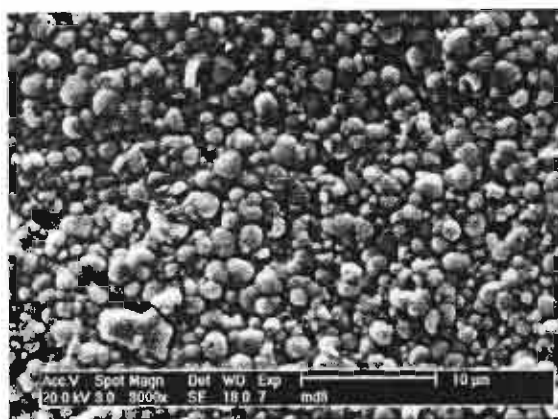
- (♦) Nd_2O_3 (102)R Rhombohedral
- (■) $\text{Pb}_2\text{Ti}_2\text{O}_6$
- (▲) $\text{Nd}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$
- (•) $\text{Nd}_{0.667}\text{TiO}_3$
- (*) $[\text{Pb}_{1-1.5x}\text{Nd}_x(\text{Zr}_{0.65}\text{Ti}_{0.35})]\text{O}_3$
- (x) unknown



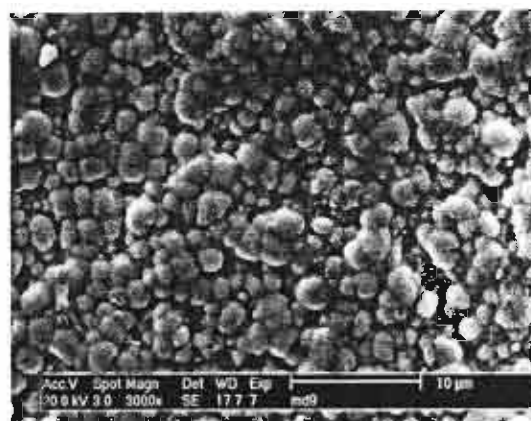
(a)



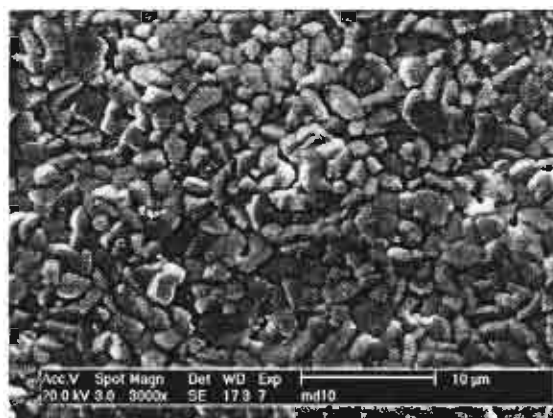
(b)



(c)



(d)



(e)

Fig. 2 SEM micrographs of as sintered surface of PZT ceramics sintered at 1200°C doped with (a) 0 (b) 0.1 (c) 0.3 (d) 1.5 and (e) 2.7 mol% of Nd_2O_3

List of Figure

Figure 1. The top 5 X-ray diffractograms are the undoped and Nd-doped ceramics, sinter at 1200 °C . The bottom plot is an XRD pattern of 1.5 ;mol% Nd doped sample calcined at 850 °C.

- (♦) Nd_2O_3
- (■) $\text{Pb}_2\text{Ti}_2\text{O}_6$
- (▲) $\text{Nd}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$
- (•) $\text{Nd}_{0.667}\text{TiO}_3$
- (*) $[\text{Pb}_{1-1.5x}\text{Nd}_x(\text{Zr}_{0.65}\text{Ti}_{0.35})]\text{O}_3$
- (x) unknown
- (102)R Rhombohedral

Figure 2. SEM micrographs of as sintered surface of PZT ceramics doped with (a) 0 (b) 0.1 (c) 0.3 (d) 1.5 and (e) 2.7 mol% of Nd_2O_3 sintered at 1200 °C.

Table 1. The piezoelectric, dielectric and physical properties of PZT doped with Nd sintered at 1200 °C

N.B.

Figure 1. should appear after paragraph 1, page 5

Figure 2. should appear after paragraph 1, page 7

Table 1. should appear after paragraph 2, page 6

เอกสารหมายเลข 3



เลขที่สิทธิบัตร 18359

สป/200 - ข

สิทธิบัตรการประดิษฐ์

อาศัยอำนาจตามความในพระราชบัญญัติสิทธิบัตร พ.ศ. 2522
อธิบดีกรมทรัพย์สินทางปัญญาออกสิทธิบัตรฉบับนี้ให้แก่

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

สำหรับการประดิษฐ์ตามรายละเอียดการประดิษฐ์ ข้อถือสิทธิ และรูปเขียน (ถ้ามี)
ปรากฏในสิทธิบัตรนี้

เลขที่คำขอ

063593

วันขอรับสิทธิบัตร

15 กุมภาพันธ์ 2544

ผู้ประดิษฐ์

นายทวี ดันจศิริ และคณะ

ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์

สารประกอบเพียโซอิเล็กทริกเซรามิกสำหรับใช้ในสวิตช์กระแสไฟฟ้า
และการรวมวิทยุสื่อสารประกอบด้วยสาร

ให้ผู้ทรงสิทธิบัตรและหรือที่ตามกฎหมายว่าด้วยสิทธิบัตรทุกประการ

ออกให้ ณ

12 เดือน

เมษายน

พ.ศ.

2548

หมดอายุ ณ

14 เดือน

กุมภาพันธ์

พ.ศ.

2564

(ลงชื่อ)

(นายอรรถสิทธิ์ นาวานุกุลวาท)
อธิบดีกรมทรัพย์สินทางปัญญา
ผู้ออกสิทธิบัตร

พนักงานเจ้าหน้าที่

หมายเหตุ

1. ผู้ประดิษฐ์ได้ยื่นคำขอรับสิทธิบัตรเมื่อวันที่ 5 ของอายุสิทธิบัตร มีฉบับ
สิทธิบัตรฉบับนี้
2. ผู้ทรงสิทธิบัตรจะแจ้งการประดิษฐ์ฉบับนี้ให้แก่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องโดยแจ้งให้ทราบโดยทั่วไปได้
3. กฎหมายว่าด้วยสิทธิบัตรและกฎกระทรวงที่เกี่ยวข้องต้องทำเป็นหนังสือและจดทะเบียนต่อ
พนักงานเจ้าหน้าที่

เอกสารหมายเลข 4

เอกสารหมายเลข 4.1

Current Folder: **INBOX****Sign Out**[Compose](#) [Addresses](#) [Folders](#) [Options](#) [Search](#) [Help](#) [Calendar](#) [Fetch](#)[Message List](#) | [Delete](#)[Previous](#) | [Next](#) | [Forward](#) | [Forward as Attachment](#) | [Reply](#) | [Reply All](#)**Subject:** RE: Greetings and Report on Recent Development of Asian Ferroelectric Association**From:** "Zhu Weiguang \ (Prof\)" <EWZHU@ntu.edu.sg>**Date:** Sat, July 9, 2005 10:09 am**To:** tadashi@takenaka.ee.noda.sut.ac.jp ([more](#))**Cc:** yfchen@nju.edu.cn ([more](#))**Priority:** Normal**Options:** [View Full Header](#) | [View Printable Version](#) | [View Message details](#)

Dear all AFA Executive & Advisory Board Members:

Greetings and wish all of you well. This is a half-year short circulation to report all Board Members on recent development of AFA. Prof. T. Takenaka (Chair), Prof. X. Yao (Immediate-Past-Chair), Prof. W. Zhu (Chair-Elect), and other several board members including Prof. Q. R. Yin, Prof. T. Shiosaki, Prof. T. Y. Tseng met at the 4th Asian Meeting on Electroceramics held 27 - 30 June in Hangzhou of China, exchanged information and views. Below is the brief report on the recent development or change for the past ~ half-year.

5th Asian Meeting on Ferroelectrics (AMF-5). AMF-5 will be held 27-31 August 2006 in Noda of Japan near the Tokyo area. The 1st Call for Papers is ready. For more information, please contact Professor T. Takenaka or find at <http://www.amf5.com>. For AMF-5, Prof. T. Takenaka is the General Chair, Prof. T. Tsurumi of TIT is the Program Chair, and Prof. T. Shiosaki is the Chair for Prof. Y. Ishibashi Workshop.

Confirmation of Prof. Tawee as the Executive Board Member. Prof. Tawee of Thailand was recommended in the last circulation as the Executive Board Member to represent the Thai's ferroelectric community. There is no any objection has been received since the last circulation about half-year ago, and Prof. Tawee is therefore confirmed as an AFA's Executive Board Member. Let's warmly welcome Prof. Tawee to AFA's Executive Board and congratulate to Prof. Tawee!

Retirement from Executive Board, Change to Advisory Board and New Replacement

* Prof. YAO Xi requested to relinquish his Executive Board Membership, and his request was accepted by the Executive Board Standing/Working Committee. However, the Executive Board Standing/Working Committee asked Prof. YAO Xi to remain as his Immediate-Past-Chair and as a Member of Advisory Board; and Prof. YAO has kindly agreed on it.

* Prof. T. Shiosaki also kindly requested to relinquish his Executive Board Membership, and his request was accepted by the

Executive Board Standing/Working Committee. However, the Executive Board Standing/Working Committee asked Prof. T. Shiosaki as a Member of Advisory Board; and Prof. Shiosaki has kindly accepted it.

* Prof. Yan-Feng CHEN of Nanjing University of China has been proposed and recommended by the Chinese community to replace Prof. YAO Xi as an Executive Board Member for China. Attached please find Prof. Chen's short CV. If any board member has objection, please feel free to contact or email any one of us. If the objection ratio is less than 1/3 by about at the end of this year, Prof. Chen will be confirmed his membership in AFA's Executive Board.

* Prof. T. Tsurumi of Tokyo Institute of Technology has been proposed and recommended by the Japanese community to replace Prof. T. Shiosaki as an Executive Board Member for Japan. If any board member has objection, please feel free to contact or email any one of us. If the objection ratio is less than 1/3 by about at the end of this year, Prof. Tsurumi will be confirmed his membership in AFA's Executive Board.

Thanks, have a nice weekend and with our best wishes,

T. TAKENAKA
Weiguang ZHU
Chair
Chair-Elect

YAO Xi
Immediate-Past-Chair

Professor ZHU Weiguang
School of Electrical & Electronic Engineering
BLK S2, B2a-03
Nanyang Technological University
50 Nanyang Avenue
Tel: (65) 6790 4541
Fax: (65) 6792 0415
Email: ewzhu@ntu.edu.sg

[Download this as a file](#)

เอกสารหมายเลข 4.2

Dear Prof. Tawee Tunkasiri,

The manuscript titled

High Curie Temperature Perovskite $\text{BiInO}_{3-x}\text{PbTiO}_3$ Ceramics

by

1) Robert Speyer 2) Runrun Duan 3) Edward Alberta 4) Thomas Shrout

has been submitted to Journal of Materials Research. I would like to ask you to serve as reviewer on this paper. In an effort to expedite the review process, please respond to this request by e-mail (reply) as soon as possible (within 1 to 2 working days). I hope that you will agree to review this paper, in which case you will be notified by e-mail within 3 calendar days about how to access the complete manuscript through our online review system. You will receive a personalized UserID and password with which to access the manuscript. I know that our expert reviewers greatly contribute to the high standards of the Journal, and I thank you in advance for accepting this request. If you are unable to review the manuscript, I would greatly appreciate your recommending another expert reviewer.

Sincerely,

Doh-Yeon Kim
JMR Principal Editor

JMR-2004-0123

High Curie Temperature Perovskite $\text{BiInO}_{3-x}\text{PbTiO}_3$ Ceramics

Corresponding Author: Prof. Robert Speyer

Contributing Authors: 1) Robert Speyer 2) Runrun Duan 3) Edward Alberta 4) Thomas Shrout

The extent of BiInO_{3-x} substitution in the perovskite system $\text{BiInO}_{3-x}(1-x)\text{PbTiO}_3$ and the corresponding raise in the Curie temperature were investigated using thermal analysis, X-ray diffraction and electron microscopy. Maximum tetragonal perovskite distortion ($c/a = 1.082$) was obtained for $x = 0.20$, with a corresponding Curie temperature of 582[deg]C. Phase-pure tetragonal perovskite was obtained for $x \leq 0.25$. Compound formation after calcining mixed oxide powders resulted in agglomerated cube-shaped tetragonal perovskite particles, which could be fired to 94.7% of theoretical density (TD) by crushing after calcining, dry pressing and firing. Sol-gel fabrication resulted in nano-sized tetragonal or pseudo-cubic perovskite particles, which after two-step firing, resulted in a tetragonal perovskite microstructure at as high as ($x = 0.25$) 98.2% of TD.

เอกสารหมายเลข 4.3

PLEASE ACKNOWLEDGE RECEIPT OF THIS MANUSCRIPT FOR YOUR REVIEW.
We need a review as soon as possible.

Manuscript No.: P5-2843

Title: Phase transitions of natural corals monitored by ESR spectroscopy

Author(s): V. Vongsavat, P. Winotai and S. Meejoo

Dear Professor T. Tunkasiri,

The enclosed manuscript (.PDF) has been submitted quite some time ago for publication in NIM B: Beam Interactions with Materials and Atoms. I seem to be unable to locate a suitable referee. I hope that you will consent to review it for us.

It is essential that a timely and careful review be given to all manuscripts in order to maintain a high quality for the Journal. Please consider the originality, quality of presentation, and scientific merit in your review. If you know at the outset that you will be unable to review this manuscript within the next two weeks, please inform our office and suggest another reviewer if possible. You may refer this manuscript to a qualified colleague at your laboratory for review if you wish. You may e-mail (e-mail is preferred), fax or mail your reply to the listed information below.

Your help is greatly appreciated.

Sincerely,

Lynn E. Rehn, Editor, NIMB

Dr. Lynn E. Rehn
Editor, NIMB
Building 223, MS7, Room S-231
Argonne National Laboratory
9700 South Cass Avenue
Argonne, IL 60439 USA

Phone: 630-252-9297 / Fax: 630-252-3308
E-mail: nimb@anj.gov

เอกสารหมายเลข 5

เอกสารหมายเลข 5.1

ผลการประเมินแบบสอบถามการประชุมวิชาการทางฟิสิกส์
เรื่อง "เพียโซอิเล็กทริกเซรามิกที่อุณหภูมิซินเตอร์ต่ำ"

Low Sintering Temperature Ceramics

16 กรกฎาคม 2546

ณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

จากการประเมินผู้เข้าร่วมสัมมนาทั้งหมด 60 คน มีผู้ส่งแบบสอบถามจำนวน 58 ชุด แบ่งเป็นเพศชาย 31.0 เปอร์เซ็นต์ เพศหญิง 69.0 เปอร์เซ็นต์ โดยมีอาชีพเป็นอาจารย์ ข้าราชการ และพนักงาน คิดเป็น 62.1 เปอร์เซ็นต์ นักศึกษา 34.5 เปอร์เซ็นต์ และบริษัทเอกชน 3.4 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1 ความน่าสนใจของเนื้อหาสาระของแต่ละหัวข้อบรรยายคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

หัวข้อบรรยาย	ดีมาก	ดี	ปานกลาง	พอใช้	รวม
1. Low Sintering Temperature Ceramics	41.4	41.4	17.2	0	100
2. High Permittivity Ceramics	13.8	72.4	13.8	0	100
3. Barium-Strontium Titanate Ceramics	13.8	75.9	6.9	3.4	100
4. Piezo-pyroelectric and thermal effects	10.3	69.0	13.8	3.9	100
5. PZT thin films prepared by spin coating	27.6	62.1	10.3	0	100
6. Low Temperature Firing PZT (54/46)	31.0	51.7	17.2	0	100
7. Particle Size Measurement by XRD	6.9	55.2	20.7	17.2	100
8. BNT Ceramics	13.8	72.4	13.8	0	100
9. Chemical Synthesis of $\text{BaTi}_5\text{O}_{11}$ Powders	24.1	62.1	13.8	0	100
10. Spray Pyrolysis	13.8	75.9	10.3	0	100

ตารางที่ 2 วิธีการนำเสนอของแต่ละหัวข้อบรรยายคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

หัวข้อบรรยาย	ดีมาก	ดี	ปานกลาง	พอใช้	รวม
1. Low Sintering Temperature Ceramics	31.0	69.0	0	0	100
2. High Permittivity Ceramics	20.7	72.4	6.9	0	100
3. Barium-Strontium Titanate Ceramics	27.6	65.5	6.9	0	100
4. Piezo-pyroelectric and thermal effects	17.2	72.4	10.3	0	100
5. PZT thin films prepared by spin coating	31.0	69.0	0	0	100
6. Low Temperature Firing PZT (54/46)	27.6	69.0	3.4	0	100
7. Particle Size Measurement by XRD	10.3	55.2	34.5	0	100
8. BNT Ceramics	17.2	82.8	0	0	100
9. Chemical Synthesis of $\text{BaTi}_5\text{O}_{11}$ Powders	13.8	75.9	10.3	0	100
10. Spray Pyrolysis	24.1	72.4	3.4	0	100

ส่วนความคิดเห็นเรื่องอื่นๆ ผู้เข้าร่วมสัมมนาให้ความเห็นว่าน่าจะมีการจัดประชุมอย่างนี้อีกทุกปี โดยให้เพิ่มจำนวนวันประชุมให้มากขึ้น และควรจัดให้มีการเยี่ยมชมห้องปฏิบัติการด้วย

เอกสารหมายเลข 5.2

รายงานผลการสัมมนาเรื่อง The International Conference on Smart Materials
(SmartMat-'04) -Smart/Intelligent Materials and Nanotechnology-

ระหว่างวันที่ 1-3 ธันวาคม 2547
ณ โรงแรมอิมพีเรียลแมปปิง จ.เชียงใหม่

จำนวนผู้เข้าร่วมการประชุม 296 คน ดังนี้

	ประเภท	จำนวน
1	Participants	169 คน
2	Students	127 คน

จากสถาบันต่าง ๆ ดังนี้

1. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
2. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
4. มหาวิทยาลัยขอนแก่น
5. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง
6. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
7. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
8. มหาวิทยาลัยมหิดล
9. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
10. มหาวิทยาลัยรามคำแหง
11. มหาวิทยาลัยศิลปากร
12. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
13. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
14. วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี
15. มหาวิทยาลัยทักษิณ
16. มหาวิทยาลัยบูรพา
17. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
18. มหาวิทยาลัยนเรศวร

19. มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
20. มหาวิทยาลัยแม่โจ้
21. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
22. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
23. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
24. มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
25. มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
26. สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร
27. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
28. ศูนย์ศิลปาชีพบางไทรในสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ฯ
29. บริษัท บางกอกโพลีเอททีลีน จำกัด (มหาชน)
30. บริษัท ยูเนี่ยนนิฟโก้ จำกัด
31. บริษัทโอเชียนกลาส จำกัด
32. Asian Institute of Technology / Thailand
33. Aston University / UK
34. Cambridge University / UK
35. Indian Institute of Technology Delhi / India
36. Nanyang Technological University / Singapore
37. National Technology of Singapore / Singapore
38. RMIT University / Australia
39. Shandong University / China
40. Sultan Qaboos University / Oman
41. Tokyo University / Japan
42. University of Bath / UK
43. University of Berscia / Italy
44. University of Bologna / Italy
45. Victoria University of Wellington / New Zealand

จำนวนผู้เข้าร่วมเสนอผลงานการประชุม SmartMat-'04

จำนวน 227 ราย ดังนี้

1	Oral presentation	89 ราย
2	Poster presentation	138 ราย

จำนวน Guest Speakers ของการประชุม SmartMat-'04

จำนวน 18 ราย ดังนี้

3	Plenary Speakers	5 คน
4	Invited Speakers	13 คน

Plenary Speakers

1. Robert E. Newnham
2. Supapan Seraphin
3. Kenji Uchino
4. Anthony K. Cheetham
5. Ron Stevens

Invited Speakers

1. Ram P. Tandon
2. Yao Xi
3. Brian J. Tighe
4. Tawee Tunkasiri
5. John Wang
6. Amar S. Bhalla
7. David P. Cann
8. Derek C. Sinclair
9. Geoffrey R. Mitchell
10. Qi Zhang
11. Weiguang Zhu
12. Ahmad Safari
13. Paul Lawrence

จำนวนผู้เข้าร่วมประชุมการประชุม SmarMat-'04

จำนวน 296 คน แบ่งเป็น

	ประเภท	จำนวน
1	Participants	169 คน
2	Students	127 คน

จำนวน Guest Speakers ในการประชุม SmarMat-'04

จำนวน 19 คน แบ่งเป็น

1	Plenary Speakers	5 คน
2	Invited Speakers	14 คน

จำนวนผู้เข้าร่วมเสนอผลงานประชุมการประชุม SmarMat-'04

จำนวน 227 ราย แบ่งเป็น

1	Oral presentation	89 ราย
2	Poster presentation	138 ราย

บทความบางส่วนที่เผยแพร่ในการประชุม

บทความที่ 1

Progress in Electroceramics in Thailand

Tawee Tunkasiri

Research in Electroceramics in Thailand, has actually started since 1987. Work has been carried out in universities/institutes mainly on property and structure of Piezoelectric ceramics such as barium titanate (BaTiO_3 , BT) and lead zirconate titanate ($\text{Pb}(\text{Zr}_{0.48}\text{Ti}_{0.52})\text{O}_3$, PZT). With high permittivity and rapid change in resistance at Curie temperature, enable BT ceramics to be employed as capacitors and thermistors. Also with appropriate compositions barium based ceramics can be employed in microwave circuits. Many research works have been carried out in a few institutes/universities on PZT compounds. Due to their high planar coupling coefficient enables PZT ceramics to be fabricated in ultrasonic cleaners, igniters, buzzers...etc.

Regarding to the processing, mixed oxides route has been chosen for simplicity. However, chemical route (Co-precipitation, Oxalate...etc.) has been used to obtain smaller particles, higher purity and more precise compositions.

The relation of microstructure and the physical properties of ceramics has been studied, mainly employing electron microscopy (SEM, TEM). X-ray line broadening method has also been used to measure the particle size of the starting powder. In order to bring down some physical properties, the study of composite materials such as piezoceramic (PZT) – polymers (HDPE, Epoxy resin) has been done in some universities. Thin sheets of the PZT-polymer-composite (0-3 type) can be achieved via calendaring method.

Other materials, such as zinc oxide varistors (employed as surge arrestors) and the solar cell group such as thin film of CdS, $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ and $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ have been studied in some universities.

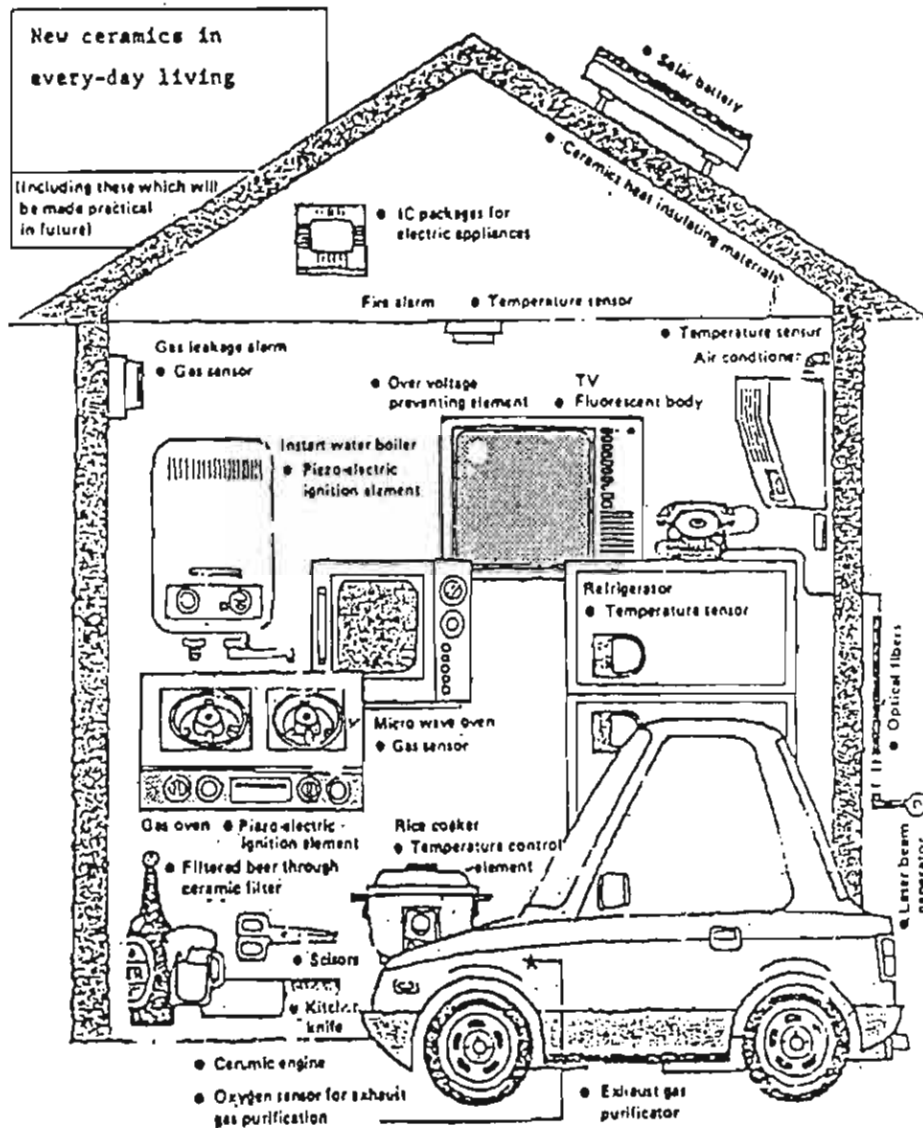
บทความที่ 2

Low Temperature Sintering Piezoelectric Ceramics

ทวี ดันฉศิริ

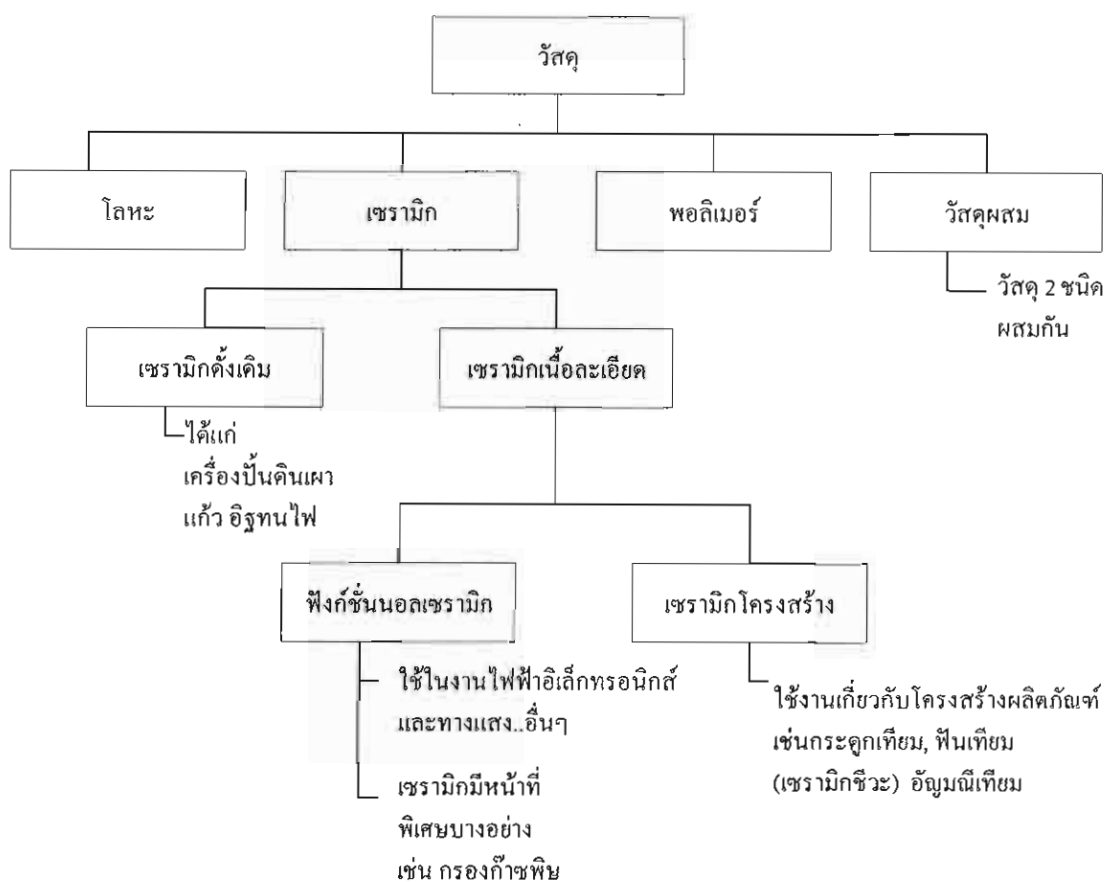
ประโยชน์ของ Piezoelectric Ceramics

ในโลกปัจจุบันเป็นการยากที่จะดำรงชีวิตอยู่โดยไม่พึ่งพาวัสดุที่สร้างขึ้นมา ยกตัวอย่าง เช่น กระดาษ สิ่งที่ทำด้วยไม้ สิ่งที่ทำด้วยโลหะ แก้ว แม้ในร่างกายก็ยังมีวัสดุที่มนุษย์สร้างขึ้นมาอยู่ในร่าง เช่น วัสดุที่อยู่ในฟัน ข้อต่อเซรามิก เลนส์ตา ลิ้นหัวใจ เป็นต้น สิ่งต่างๆ เหล่านี้ถูกสร้างขึ้นเพื่อปฏิบัติการบางสิ่งในร่างกาย เพื่อให้ชีวิตดำรงอยู่ได้ในห้วงอวกาศก็ยังมีดาวเทียมที่มนุษย์สร้างขึ้นวิ่งวนรอบโลก รอบดาวเคราะห์ต่างๆ ในชีวิตประจำวันเราต้องพึ่งพาอุปกรณ์ต่างๆ อย่างมากมาย ดังรูปที่ 1.1 จะเห็นได้ว่าในบ้านเรือนที่อยู่อาศัยเช่น ที่จุดก๊าซ เซลล์สุริยะ อุปกรณ์ในรถยนต์ เป็นต้น อาจจะกล่าวได้ว่ามนุษย์ชาติในโลกปัจจุบันดำรงชีวิตอยู่ในท่ามกลางวัสดุทั้งสิ้น เป็นที่แน่ชัดแล้วว่า วัสดุเป็นสิ่งที่มิใช่ประโยชน์หลายๆ ด้านอย่างมหาศาล สามารถสร้างขึ้นในกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สมบัติต่างๆ ของวัสดุ รวมทั้งโครงสร้างจึงต้องศึกษาและนำสมบัติที่เด่นของวัสดุเหล่านั้นมาใช้ให้เป็นประโยชน์ สมบัติของวัสดุที่สำคัญเช่น ความต้านทานทางไฟฟ้า ไดอิเล็กทริก ความหนาแน่น การขยายตัวเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป ฯลฯ ซึ่งเป็นสมบัติทางฟิสิกส์ทั้งสิ้น ข้อแตกต่างระหว่างนักฟิสิกส์ และนักวัสดุศาสตร์จะแตกต่างกันที่นักวัสดุศาสตร์จะพิจารณาศึกษาโครงสร้างจุลภาค (microstructure) ซึ่งอยู่ในช่วง 10^{-6} ม. หรือในช่วงของไมครอน (micron, μm) แต่ในขณะที่นักฟิสิกส์มักจะสนใจแต่ช่วงของ 10^{-10} ม. หรืออังสตรอม (Angstrom, A) หรือช่วงของ 10^{-9} ม. หรือนาโนมิเตอร์ (nonometer, n)



รูปที่ 1.1 ตัวอย่างการใช้เซรามิกยุคใหม่ในชีวิตประจำวัน

แผนภาพ (diagram) ของวัสดุอาจแบ่งออกได้ตามรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 แผนภาพของวัสดุ (ดัดแปลงจาก [1])

จากรูปที่ 1.2 จะเห็นว่าวัสดุอาจแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ โลหะ พอลิเมอร์ เซรามิก และวัสดุผสม เซรามิกยังแบ่งได้เป็น 2 ชนิดหลัก คือ เซรามิกดั้งเดิม (classical ceramics) ซึ่งได้แก่ เครื่องปั้นดินเผา แก้ว ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในบ้าน อีฐต่างๆ และเซรามิกเนื้อละเอียด (fine ceramics) เซรามิกดั้งเดิมสร้างจากวัตถุดิบตามธรรมชาติ เช่น ดินเหนียวแร่ธาตุต่างๆ ขณะที่เซรามิกเนื้อละเอียดสร้างจากสารประกอบทางเคมีที่บริสุทธิ์สูง (> 99.99%) กรรมวิธีการผลิตยุ่งยากซึ่งจะกล่าวภายหลัง เซรามิกเนื้อละเอียด บางที่เรียกว่าเซรามิกยุคใหม่ (new ceramics) ยังแบ่งย่อยออกไปอีกเป็นฟังก์ชัน

นอลเซรามิก (functional ceramics) จะเป็นกลุ่มที่ใช้ประโยชน์ทางไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ทางแสง และหน้าที่พิเศษบางอย่างเช่นที่กรองก๊าซพิษ อีกกลุ่มหนึ่งจะเป็นกลุ่มที่มีหน้าที่เกี่ยวกับโครงสร้าง เรียกเซรามิกโครงสร้าง (structural ceramics) เช่น กลุ่มที่เข้าไปอยู่ในร่างกาย บางทีเรียกเซรามิกชีว (bio ceramics) เช่นกระดูกเทียม ฟันเทียม และกลุ่มอื่น เช่น อัญมณี เป็นต้น ข้อแตกต่างที่สำคัญของ เซรามิกดั้งเดิม และเซรามิกเนื้อละเอียดคือความพรุน (porosity) ในเนื้อผลิตภัณฑ์ เซรามิกเนื้อละเอียด ความพรุนจะน้อยกว่ามาก หรืออยู่ในเนื้อผลิตภัณฑ์มีน้อยกว่า สมบัติต่างๆ ของ เซรามิกเนื้อละเอียดโดยเฉพาะกลุ่มฟังก์ชันนอลจะควบคุมโดยการควบคุมขนาดเกรน (grain size) เส้นขอบเกรน ด้วยกรรมวิธีทางวิทยาศาสตร์ รายละเอียดนี้จะกล่าวในภายหลังด้วยสาเหตุที่ว่า เซรามิกเนื้อละเอียดสร้างจากการผสมของสารประกอบทางเคมี จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ทางด้านนี้มี มากมายหลายชนิดที่ใช้ทำประโยชน์เฉพาะด้านต่างๆ ดังในรูปที่ 1.1 ปัจจุบันมีโรงงานที่ผลิต อุปกรณ์ต่างๆ ทางเซรามิกมากมาย โดยเฉพาะทางด้านไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์เนื่องจากเป็นสิ่งจำเป็น ในวงจรต่างๆ มากมาย หากเราเปิดฝาด้านหลังโทรทัศน์ออกมาจะพบแผ่นวงจรต่างๆ มีชิ้นส่วน เล็กๆ หลายร้อยตัวประกอบอยู่ ชิ้นส่วนต่างๆ เหล่านั้นคือฟังก์ชันนอลเซรามิกทั้งสิ้น ความต้องการ ทางการค้าของชิ้นส่วนเหล่านี้ ค้าขายไปทั่วโลก ฟิชเชอร์ (Fisher) [2] ได้สำรวจและประเมินไว้ว่า ในปี ค.ศ.1983 ความต้องการชิ้นส่วนต่างๆ ด้านนี้ค้าขายกันทั่วโลกอยู่ในระดับ 5,000 ล้านดอลลาร์ ถึง 100,000 ล้านดอลลาร์ (ต่อปี) ขึ้นกับชนิดของอุปกรณ์และจะเพิ่มขึ้นประมาณ 10-20% ต่อปี ในปัจจุบัน ตลาดสหรัฐอเมริกา มูลค่าชิ้นส่วนของ Advanced Ceramics มีค่าประมาณ 5.5 ล้านดอลลาร์สหรัฐ 76% ของมูลค่านี้เป็นชิ้นส่วนของอิเล็กทรอนิกส์เซรามิก และคาดว่าจะมีค่าในปี ค.ศ. 2005 นี้ ถึง 10 หมื่นล้านเหรียญ

จากภาพที่ 1.1 จะพบว่า อุปกรณ์ในชีวิตประจำวันรวมถึงในอุตสาหกรรม จะ ประกอบด้วย Piezoelectric ceramics เช่น ที่จุดก๊าซ, เครื่องทำความสะอาดเหนือเสียง ซึ่งใช้ใน วงการแพทย์ และอุตสาหกรรมทั่วไป ใช้ในโทรศัพท์ ใช้เป็นอุปกรณ์ที่เตือนเมื่อรถถอยหลัง อุปกรณ์โซนาร์ เครื่องสลายนิว เป็นต้น สมบัติของสารเพียโซอิเล็กทริกนี้ อาจอธิบายโดยง่ายว่าเป็น การเปลี่ยนแปลงของพลังงาน 2 ชนิด กล่าวคือ

พลังงานไฟฟ้า เป็น พลังงานกล
พลังงานกล เป็น พลังงานไฟฟ้า

การค้นพบและพัฒนาที่สำคัญ อาจสรุปได้ดังนี้

- 1880-1882 Pierre และ Jacques Curie พบสมบัติเพียโซอิเล็กทริกใน ควอทซ์, Rochelle salts
- 1882-1917 นำไปใช้เป็นทรานสดิวเซอร์ เกิด resonance ที่ 50 Hz. และเกิดการใช้ใน sonar
- 1920-1940 นำไปใช้ในการตรวจรอยแตกในเหล็ก และเกิดการสร้าง actuator ขึ้น
- 1940-1965 นำไปพัฒนาเป็นที่จุดเตาถ้ำ
- ในปัจจุบัน มีการพัฒนาไปมาก โดยเฉพาะในวงการแพทย์ เช่น เครื่องวัดความดัน เครื่องขูดหินปูน เครื่องกระตุ้นหัวใจ เครื่องนวด ultrasound เป็นต้น

สารประกอบที่ใช้ส่วนใหญ่มีตะกั่วเป็นฐาน เช่น

Lead titanate (PbTiO_3)

Lead niobate (PbNb_2O_6)

Lead magnesium niobate (PbMgNbO_3)

เป็นต้น

จะพบว่าส่วนใหญ่แล้วจะใช้สารตะกั่ว ทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ ใช้อุณหภูมิในการ sinter สูง ($> 1350^\circ\text{C}$) ทำให้สิ้นเปลืองอย่างมาก ในงานนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการทำให้สารดังกล่าว มาอุณหภูมิ sinter ต่ำลง

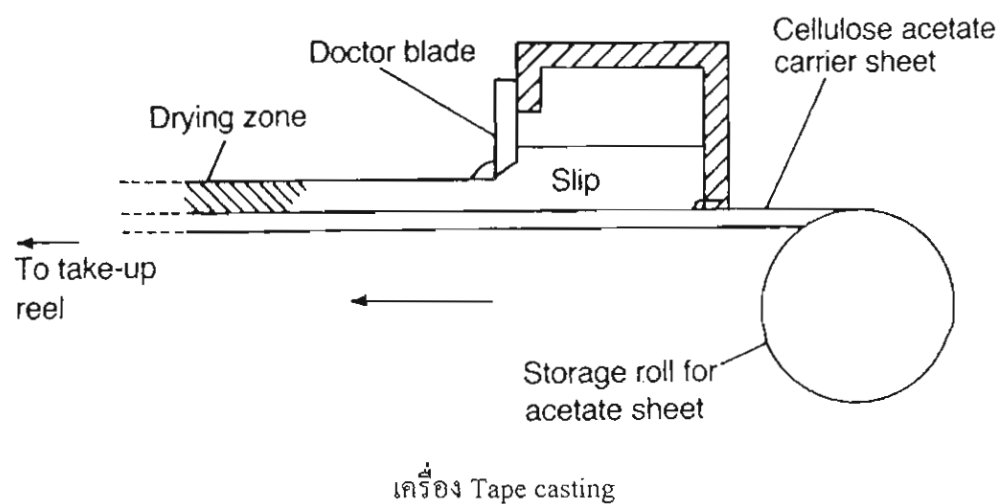
ในโครงการวิจัยนี้มุ่งที่จะทำสาร PZT และ BT เป็นหลัก

1. Thick film ceramics with sintering aids
2. PLZT thin film
3. Composite materials
4. Lead-free piezo compound

Thick film ceramics with sintering aids

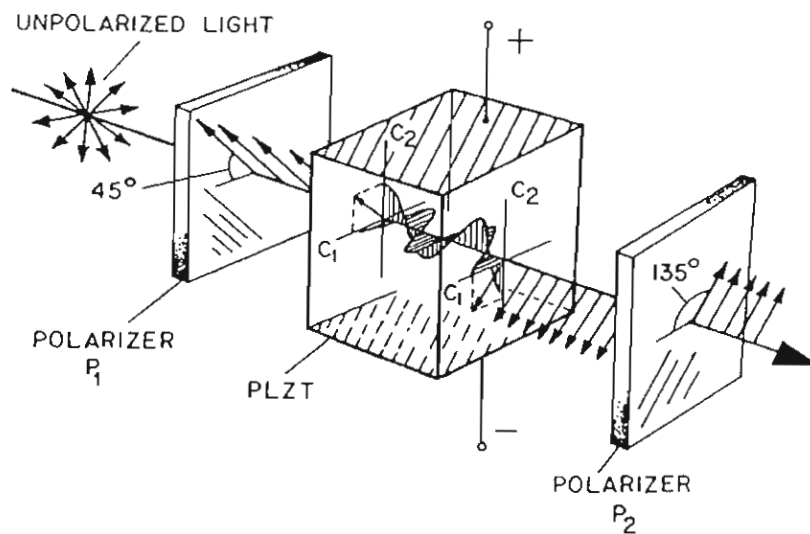
ในการทำฟิล์มเซรามิกหนา 10-10 mm จะต้องใช้ผงเริ่มต้นขนาดเล็กมาก ผงที่มีขนาดเล็กมีแนวโน้มทำให้อุณหภูมิซินเตอร์ลดลง ดังนั้นใน sub project นี้มีขั้นตอนดังนี้

1. สร้างผงเริ่มต้นที่เล็กมากขนาด $< 1 \mu\text{m}$ โดยวิธีต่างๆ เช่น Spray dry techniques
2. สร้างแผ่นฟิล์มบาง (ก่อนนำไปเผา) ด้วย Tape casting หรือ spin coating



PLZT thin film

สาร PZT ที่เจือด้วย lanthanum (La) เป็นสารประกอบที่มีประโยชน์ด้าน Electro-Optics และวงจรรีเลย์ทรอนิกส์อื่นๆ ในโครงการขอยื่นนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะทำแผ่นฟิล์มบาง PLZT โดยวิธี Sol-Gel และ spin coating $\sim 10 \mu\text{m}$



ความหน่วงของออปติกเฟสในอิเล็กโตรออปติกเซรามิกที่ถูกกระตุ้น ในรูปแสดงสถานะเปิดที่ voltage ครึ่งหนึ่งของคลื่น (half-wave) ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมด้าน Electro-optics

Composite materials

บางกรณีสารประกอบบางชนิดมีสมบัติที่ยังไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ดีตามต้องการ ในโครงการนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะทำวัสดุผสม เช่น PZT+ Polymer เป็นต้น เพื่อให้วัสดุมีสมบัติเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ เช่น เป็นตัวกลางให้คลื่นเชิงกลผ่านระหว่างเซรามิก (ความหนาแน่นสูง) เข้าสู่ร่างกายมนุษย์ (ความหนาแน่นต่ำ)

Lead-free piezo compound

จากการที่ PZT จะประกอบด้วยตะกั่วเป็นฐาน ทำให้มีอัตราเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม ในโครงการนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการทำสารที่ไม่มีตะกั่วเป็นหลัก อาจประกอบด้วย BaSrTiO₃ และสารประกอบ cadmium sulphide ที่ใช้ทำเซลล์สุริยะ

บทบาทของวัสดุในอนาคต [3]

ตามที่สหประชาชาติได้คาดคะเนไว้ว่า ในสหัสวรรษใหม่นี้ จำนวนประชากรของโลกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อาจถึงหมื่นล้านคนใน ค.ศ. 2150 ดังนั้นปัญหาที่ตามมาในด้านต่างๆ เช่น การขาดแคลนอาหาร น้ำดื่ม การทำลายป่า ปัญหาด้านเศรษฐกิจ การเมือง เป็นต้น ปัญหาบางชนิดนำมาซึ่งการค้นคว้าวิจัยและพัฒนาเอาวัสดุมาใช้ เช่นต้องสร้างอ่างเก็บน้ำที่ใหญ่ มีการชลประทานเพียงพอ ทำให้วัสดุด้านซีเมนต์ต้องมีคุณภาพยิ่งขึ้น มีความแข็งแรงกว่าซีเมนต์ธรรมดา ที่กรองน้ำเซรามิกก็อาจจะต้องพัฒนาให้กรองเชื้อโรค หรือมีประเภท antibacterials tiles ซึ่งเป็นเซรามิกที่ฉาบด้วยแผ่นฟิล์มของ metal catalyst บางชนิด ที่ทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรียได้

ความก้าวหน้าทางโทรคมนาคมจะไวยิ่งขึ้นทำให้อุตสาหกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ มีมากขึ้น และมีขนาดเล็กลง กำลังการผลิตจะมากยิ่งขึ้น เป็น exponential อุปกรณ์เหล่านี้ได้แก่ กลุ่ม sensors ต่างๆ กลุ่ม composite transducers, thermistors capacitors, multilayer capacitors และ actuators เป็นต้น

ชิ้นส่วนบางอย่างจะต้องมีสมรรถภาพดียิ่งขึ้น เช่น Multilayer capacitors อาจมีขนาดเล็กเพียง 1 มม. หนาเพียง 1 μm กลุ่ม sensors และสารเพียโซอิเล็กทริกเซรามิก (PZT) หรือ composite ระหว่าง PZT และ polymer เช่น ไม่เพียงแต่ sensing ยังวิเคราะห์สัญญาณ ซึ่งบางที่เรียก Smart materials และหากทำหน้าที่ sensing วิเคราะห์สัญญาณที่รับและ respond ทันที กลุ่มเหล่านี้บางที่เรียกว่า Intelligent Materials ซึ่งจะใกล้เคียงกับระบบประสาทของมนุษย์เข้าไปทุกที และในอนาคตวัสดุบางชนิดอาจจะสามารถ respond ให้ถูกต้องตามทำนองคลองธรรมได้ด้วย

ทางด้านอาหารที่บริโภคโดยเฉพาะกลุ่มของสัตว์ทะเล เช่น ปลา จะหายากยิ่งขึ้น ดังนั้นอาจจะต้องมีการทำฟาร์มขนาดใหญ่ที่เลี้ยงปลาทะเล สาร PZT อาจจะถูกนำมาดัดแปลงให้ทำหน้าที่เป็น sonar และสื่อสารกับปลาได้

ทางด้านที่พิกาศัยก็จะพัฒนาให้สะดวกสลายได้ด้วยวัสดุที่มีสมรรถภาพต่างๆ เช่น ควบคุมความชื้น อุณหภูมิให้พอเหมาะ หน้าต่างสามารถเปิดรับแสงอาทิตย์ในตอนเช้า และปิดในตอนกลางวัน

ในด้านสุขภาพอนามัยมนุษย์จะแข็งแรงยิ่งขึ้นด้วยการพัฒนาให้ gene ที่อ่อนแอถูกแทนที่หรือสร้างใหม่ด้วย gene ที่แข็งแรง กลุ่ม robots จะมีมากขึ้น โดยสรุปมนุษย์ในสหภาพจะมีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น มีอายุยืนยาว และกระทำการต่างๆ ถูกต้องตามทำนองคลองธรรม

บรรณานุกรม

1. Cooke, B. and Sang, D. Physics of Materials. The University of Leeds, second edition (1989).
2. Fisher, G. Ceram. Bull. 64(1)(1983)34.
3. Newnham, R. E., Ceramic Focus. 1999. No.2, P.15.

บทความที่ 3

High Permittivity Ceramics

จิระพงษ์ ตันตระกูล

ในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังได้รับความสนใจศึกษาและค้นคว้ากันอย่างกว้างขวางเพื่อให้ได้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณภาพดียิ่งขึ้น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เซรามิกเป็นอุปกรณ์ที่มีเซรามิกเป็นองค์ประกอบ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เซรามิกที่มีอยู่ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์เสมอได้แก่ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า (capacitors) และตัวต้านทาน (resistors) ตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่มีสารไดอิเล็กตริก (dielectrics) คั่นอยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองเป็นเซรามิกสัณั้้นมีการผลิตเป็นจำนวนมากในแต่ละปี ไดอิเล็กตริกเซรามิก (dielectric ceramics) ส่วนใหญ่เป็นสารเฟอร์โรอิเล็กตริกเซรามิกส์ (ferroelectric ceramics) เช่น แบเรียมไทเทเนต (BaTiO_3 , BT) เลดแมกนีเซียมไนโอเบต $\{\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$, PMN} และเลดซิงค์ไนโอเบต $\{\text{Pb}(\text{Zn}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$, PZN} เป็นต้น แบเรียมไทเทเนตถูกนำมาใช้เป็้องค์ประกอบของตัวเก็บประจุไฟฟ้ามาตั้งแต่เริ่มต้นที่ค้นพบในปี 1941 มาจนถึงปัจจุบันนี้ และมีแนวโน้มจะมีความสำคัญมากขึ้น เพราะ PMN และ PZN เป็นสารที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมจึงอาจถูกห้ามใช้ในอนาคต

ตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะมีปริมาณของประจุไฟฟ้า (Q) ที่เก็บอยู่ที่แผ่นตัวนำไฟฟ้าแต่ละแผ่นแปรผันโดยตรงกับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) ระหว่างแผ่นตัวนำไฟฟ้าทั้ง 2 นั้น

$$Q = CV \quad (1)$$

โดยที่ C เป็นค่าคงที่เรียกว่า capacitance (C) ซึ่งจะมีค่าขึ้นอยู่กับชนิดของสาร dielectric (ϵ) ที่คั่นอยู่ระหว่างแผ่นตัวนำไฟฟ้าทั้ง 2 ขนาดของพื้นที่ (A) ของแผ่นตัวนำไฟฟ้าและระยะห่าง (d) ระหว่างแผ่นตัวนำไฟฟ้าทั้ง 2

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad (2)$$

ϵ ของสาร dielectric คือค่า permittivity ของสาร dielectric ซึ่ง $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ โดย ϵ_0 คือค่า permittivity ของ free space และ ϵ_r คือค่า relative permittivity หรือ dielectric constant

$$Q = \epsilon_0 \epsilon_r \left(\frac{A}{d} \right) V \quad (3)$$

ปริมาณ volume efficiency ของตัวเก็บประจุไฟฟ้า (B_{eff}) คือค่า capacitance (C) ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของตัวเก็บประจุไฟฟ้านั้น

$$B_{eff} = \frac{C}{vol} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{d^2} \quad (4)$$

จำนวนพลังงานที่เก็บอยู่ในตัวเก็บประจุไฟฟ้า (E)

$$E = \frac{1}{2} CV^2$$

จำนวนพลังงาน E ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของตัวเก็บประจุไฟฟ้านั้น

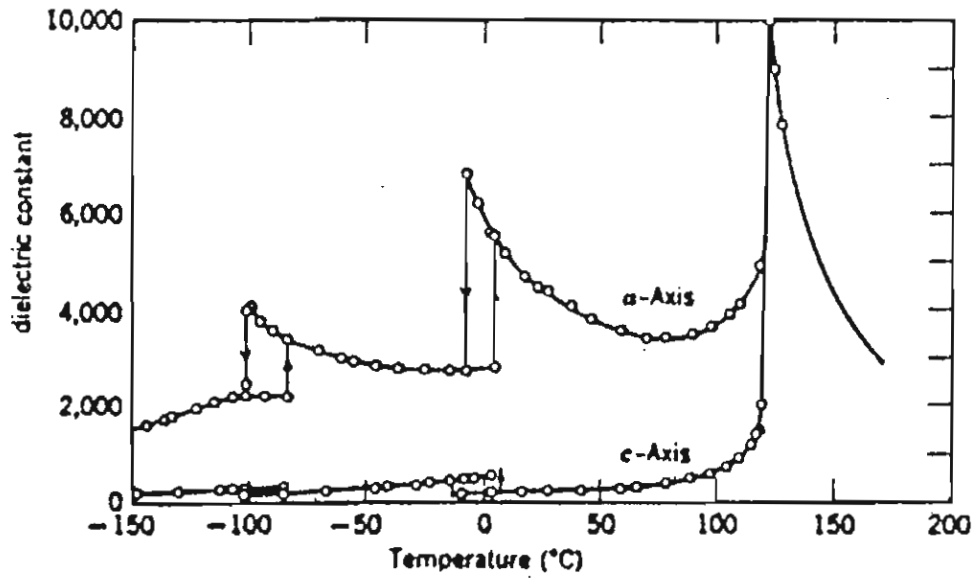
$$U = \frac{E}{vol} = \frac{1}{2} B_{eff} V^2 = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r \left(\frac{V}{d} \right)^2 \quad (5)$$

ผลคูณของ B_{eff} กับ V คือ figure of merit

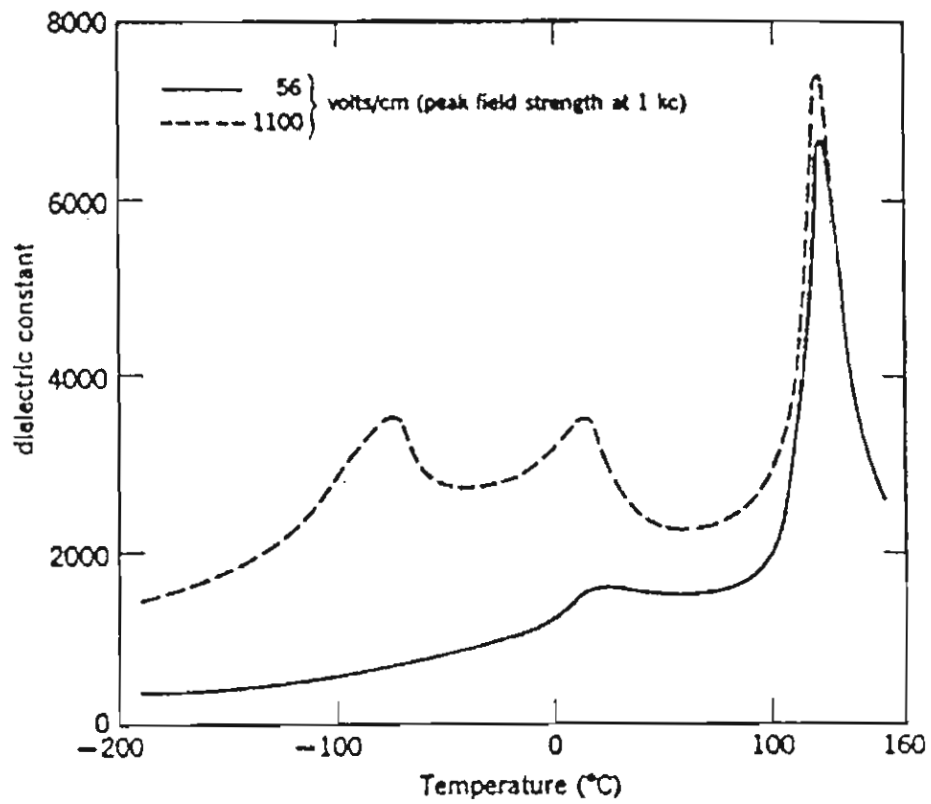
$$\begin{aligned} \text{Figure of merit} &= B_{eff} V \\ &= \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{d^2} V = \frac{Q}{vol} \end{aligned} \quad (6)$$

จากสมการ (6) ต้องการ figure of merit ที่มีค่ามากๆ B_{eff} จะต้องมีค่ามากตามไปด้วย ซึ่งหมายความว่าสาร dielectric ต้องมีค่า ϵ_r มาก และ d น้อยๆ แต่เราไม่สามารถทำให้ค่า d เป็นศูนย์ได้ เพราะ applied voltage (V) จะต้องมีย่านน้อยกว่า breakdown voltage ของสาร dielectrics

แบเรียมไทเทเนต (BT) มีโครงสร้างของผลึกเหมือนกับแร่ perovskite (CaTiO_3) ลักษณะของ unit cell เป็นแบบ cubic เมื่อมีอุณหภูมิสูงกว่า Curie point (ประมาณ 130°C) และเมื่อมีอุณหภูมิต่ำกว่า Curie point จะมีโครงสร้างเปลี่ยนเป็น tetragonal single crystal ของ BT มีค่า ϵ_r ณ อุณหภูมิต่างๆ ดังรูปที่ 1 และ BT ceramics มีค่า ϵ_r ณ อุณหภูมิต่างๆ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 Dielectric constant of Barium titanate ceramic as a function of temperature⁽²⁾



รูปที่ 2 Temperature dependence of dielectric constant⁽¹⁾

จากรูปที่ 1 และ 2 ค่า ϵ_r ของ BT มีค่าสูงเมื่ออุณหภูมิเข้าใกล้ Curie point และมี peak ที่ Curie point และสมบัติของ BT สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้โดยเติม additive ลงไปใน BT ดังตัวอย่างต่อไปนี้

Neirman (3) ได้เตรียมเซรามิกที่มีส่วนผสมของ $(1-x)\text{BaTiO}_3 + (x)\text{BaZrO}_3$ โดย x มีค่าระหว่าง 0.025 ทำการ sintering ที่ 1250-1400 °C ได้ $\epsilon_r > 12,000$ เมื่อ $x = 0.2$

Hennings (4) ได้เตรียมเซรามิกที่มีส่วนประกอบเป็น $\text{Ba}(\text{Ti}_{1-y}\text{Zr}_y)\text{O}_3$ พบว่าเมื่อ $Y = 0.13$ มีค่า $\epsilon_r > 16,000$ แต่ถ้าเติม CaO ลงไป 13 mol% จะได้ $\epsilon_r \approx 3,000$

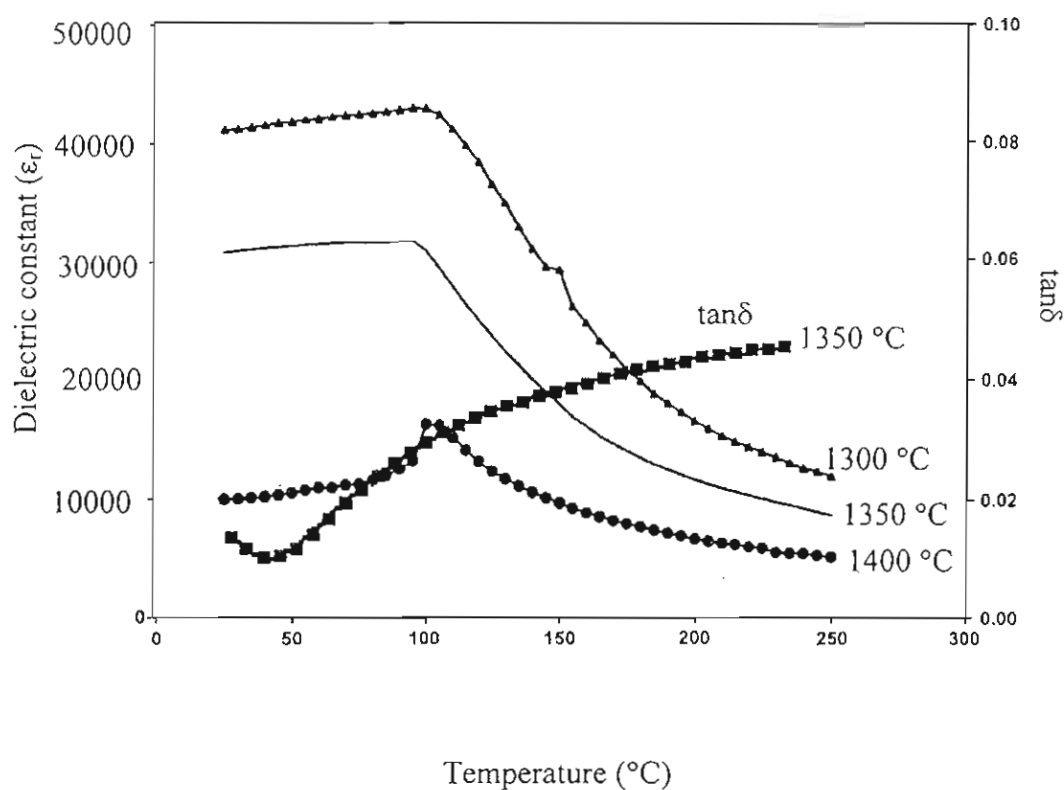
Weill (5) ได้เตรียมเซรามิกที่มีส่วนประกอบเป็น $(1-x)\text{BaTiO}_3 - (x)\text{Ba}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ และ $(1-x)\text{BaTiO}_3 - (x)\text{Ba}(\text{Co}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ เมื่อ X มีค่าระหว่าง 0-0.1 โดยวิธีทางเคมีแล้วนำไป sintering ที่ 1250-1500 °C ได้เซรามิกมีค่า $\epsilon_r \approx 220,000$ เมื่อเติม $\text{Ba}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ ที่มีค่า $X = 0.04$ และ $\epsilon_r \approx 650,000$ เมื่อเติม $\text{Ba}(\text{Co}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ ที่มีค่า $X = 0.03$

จากตัวอย่างที่กล่าวมาข้างบนนี้ Weill สามารถเตรียมเซรามิกได้ ϵ_r สูงมาก จึงได้นำส่วนประกอบของเซรามิก $(1-x)\text{BaTiO}_3 - (x)\text{Ba}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ มาทดลองเตรียมโดยวิธี solid state reaction เมื่อ $0 \leq x \leq 0.06$ ได้เซรามิกมีสมบัติดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 Physical properties of BMN doped BT ceramics. (T_C = Curie temperature)

Sintering Temperature T_s (°C)	Shrinkage (%)	Density (g/cm ³)	x	Dielectric Constant (ϵ_r)	T_C (°C)
1300	13.71	5.84	0.01	9,600	126
1350	13.47	5.84		10,000	119
1400	13.65	5.86		8,500	120
1300	15.81	5.85	0.02	43,000	98
1350	15.72	5.81		32,000	95
1400	15.93	5.80		16,000	103
1400	15.60	5.80	0.03	9,500	74
1450	15.46	5.84		10,000	73
1400	15.95	5.61	0.04	12,000	54
1450	15.90	5.76		14,300	54
1400	15.68	5.81	0.05	21,000	~30
1450	15.62	5.82		15,000	~30
1400	16.27	5.80	0.06	15,000	~30
1450	16.90	5.76		9,300	~30

และกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า ϵ_r และ dissipation factor ($\tan\delta$) ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 Changes of dielectric constant (at 1 kHz) and dissipation factor ($\tan\delta$) against temperature of 2 mol% BMN doped BT ceramics at various sintering temperature.

จากรูปที่ 3 จะเห็นว่าค่า ϵ_r มีค่าประมาณ 43,000 และเกือบจะคงที่ในช่วงอุณหภูมิ 25-100 $^{\circ}\text{C}$ และมีค่า $\tan\delta$ หรือ dielectric loss หรือ dissipation factor ต่ำ จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ทำเป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าสอดคล้องกับความต้องการในปัจจุบันที่ต้องการตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่มีขนาดเล็ก และมีค่า capacitance สูง

เอกสารอ้างอิง

1. D.W. Richerson, *Modern Ceramic Engineering*, Marcel Dekber, New York, 1992.
2. A.J. Moulson and J.M. Herbert, *Electroceramics*, Chapman and Hall, London, 1990.
3. S.M. Neirman, The Curie Point Temperature of $\text{Ba}(\text{Ti}_{1-x}\text{Zr}_x)\text{O}_3$ Solid Solution, *J.Mater.Sci.*, **23**, 3973-3980 (1988).
4. D. Hennings, A.Schnel and G.Simon, Diffuse Ferroelectric Phase Transition in $\text{Ba}(\text{Ti}_{1-y}\text{Zr}_y)\text{O}_3$ Ceramics, *J.Am.Ceram.Soc.*, 65[11], 539-544 (1982).
5. F. Weill, J.L. Rehspringer, P. Poix and J.C. Bernier, *J.Mater.Sci.*, **27**, 2321 (1992).

Based on the DTA and XRD data, it may be concluded that, over a wide range of calcinations conditions, single phase ZrTiO_4 cannot be straightforwardly formed via a solid state mixed oxide synthetic route. Between 1100 and 1150 °C, TiO_2 anatase is transformed into the rutile phase. After 1200 °C, ZrO_2 totally disappeared, yet, up to 1240 °C, TiO_2 is remaining. A large temperature decrease observed at temperature greater than 1275 °C may be attribute to the crystallization of ZrTiO_4 . The experimental work carried out here suggests that the optimal calcination conditions for single phase ZrTiO_4 is 1300 °C for 4 h with heating/cooling rates as fast as 20 °C/min.

The morphological evolution during calcination was investigated by scanning electron microscopy (SEM). Micrographs of ZT powders calcined at various temperatures from 1100 to 1300 °C for 4 h are shown in Fig. 5. In general, the particles are agglomerated and basically irregular in shape, with a substantial variation in particle size, particularly in samples calcined at high temperatures. The range of particle diameter was found to be about 0.2–1.0, 0.2–1.5, 0.3–2.0 and 0.5–3.0 µm for the samples calcined at 1100, 1175, 1200 and 1300 °C for 4 h, respectively. The results indicate that averaged particle size and degree of agglomeration tend to increase with calcination temperature. Moreover, the grain shape tends towards greater sphericity at higher temperatures. Energy dispersive X-ray (EDX) analysis showed the calcined compositions of the powder calcined at 1300 °C for 4 h with heating/cooling rates of 20 °C/min. to be ZrTiO_4 , in agreement with XRD results.

4. Conclusions

Single-phase of zirconium titanate powders may be produced by employing a solid state reaction process using oxides as starting materials. Evidence has been obtained for a 100% yield of an orthorhombic ZrTiO_4 at a calcination temperature of 1300 °C for 4 h with heating/cooling rates of 20 °C/min. The resulting ZT powders consist of agglomerated particles of 0.5 to 3.0 µm in size, which are rounded in morphology.

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the Thailand Research Fund (TRF) for the financial support. One of the authors (R. T.) wishes to thanks the University of Ubon Ratchatanee and The Ministry of University Affair, Thailand for the scholarship.

References

- [1] K. Wakino, K. Minai, H. Tamura, *J. Am. Ceram. Soc.* 67 (1984) 278–281.
- [2] A.J. Moulson, J.M. Herbert, *Electroceramics*, Chapman & Hall, New York, 1990.
- [3] M. Leoni, M. Viviani, G. Battilana, A.M. Fiorello, M. Viticoli, *J. Eur. Ceram. Soc.* 21 (2001) 1739–1741.
- [4] K. Tanabe, *Solid Acids and Bases: Their Catalytic Activity*, Academic Press, New York, 1970.
- [5] F.J. Parker, *J. Am. Ceram. Soc.* 73 (1990) 929–932.
- [6] D.A. Chang, P. Lin, T. Tseng, *J. Appl. Phys.* 77 (1995) 4445–4447.
- [7] M.K. Jain, M.C. Bhatnagar, G.L. Sharma, *Sens. Actuators, B* 55 (1999) 17–25.
- [8] B.V. Coekeram, D.P. Measures, A.J. Mueller, *Thin Solid Films* 355–356 (1999) 17–25.
- [9] R.E. Newnham, *J. Am. Ceram. Soc.* 50 (1967) 216.
- [10] P. Bordet, A. Mehale, A. Santoro, R.S. Roth, *J. Solid State Chem.* 64 (1986) 30–46.
- [11] A. Yamamoto, T. Yamada, H. Ikawa, O. Fukunaga, K. Tanaka, F. Marumo, *Acta Crystallogr. C* 47 (1991) 1588–1591.
- [12] R. Ruh, G.W. Hollenberg, E.G. Chavies, V.A. Pale, *J. Am. Ceram. Soc.* 59 (1976) 495–499.
- [13] S. Hirano, T. Hayashi, A. Hattori, *J. Am. Ceram. Soc.* 74 (1991) 1320–1324.
- [14] J.A. Navio, F.J. Marchena, M. Macias, P.J. Sánchez-Soto, P. Pichat, *J. Mater. Sci.* 27 (1992) 2463–2467.
- [15] A. Bianco, M. Paci, R. Freer, *J. Eur. Ceram. Soc.* 18 (1998) 1235–1243.
- [16] M. Daturi, A. Cremona, F. Milella, G. Busca, E. Vogna, *J. Eur. Ceram. Soc.* 18 (1998) 1079–1087.
- [17] G. Wolfram, H.E. Göbel, *Mater. Res. Bull.* 16 (1981) 1455–1463.
- [18] A.E. Mehale, R.S. Roth, *J. Am. Ceram. Soc.* 66 (1983) C18–C20.
- [19] Y. Park, *J. Am. Ceram. Soc.* 81 (1998) 735–738.
- [20] D. Houiver, J.E. Fallah, J.M. Haussonne, *J. Eur. Ceram. Soc.* 19 (1999) 1095–1099.
- [21] P.J. Sánchez-Soto, M.A. Ariles, G. Colón, M. Macias, J.A. Navio, *Mater. Lett.* 20 (1994) 339.
- [22] C.L. Wang, H.Y. Lee, F. Azough, *J. Mater. Sci.* 32 (1997) 1693–1701.
- [23] F. Azough, R. Freer, J. Peizelt, *J. Mater. Sci.* 28 (1993) 2273–2276.

เอกสารหมายเลข 1.3