

Kelakuan Pengesanan Tekanan Bagi Seramik Natrium Bismut Titanat (Pressure Sensing Behaviour of Sodium Bismuth Titanate Ceramics)

MOHAMMAD HAFIZUDDIN HAJI JUMALI*, MOHD RIDUAN MT SAID, NGOI YUNG WEE,
MUHAMMAD YAHAYA & MUHAMMAD MAT SALLEH

ABSTRAK

Satu kajian bagi menentukan kesan suhu ke atas mikrostruktur dan kelakuan pengesanan tekanan seramik $\text{Na}_{0.45}\text{Bi}_{0.55}\text{TiO}_3$ (NBT) sebagai bahan piezoelektrik bebas plumbum telah dilakukan. Seramik NBT disediakan secara tindak balas keadaan pepejal daripada campuran serbuk Na_2CO_3 , Bi_2O_3 dan TiO_2 . Campuran serbuk disinter pada tiga suhu yang berlainan iaitu 1100°C , 1200°C dan 1300°C selama 12 jam. Selepas disinter, serbuk NBT dikisar dan dimampatkan menjadi pelet berdiameter 13 mm diikuti pemanasan selama 2 jam pada 700°C . Mikrostruktur dan morfologi sampel masing-masing dikaji dengan menggunakan XRD dan SEM. Sifat pengesanan tekanan NBT diuji dengan menggunakan kebuk tekanan pneumatik. Analisis pembelauan sinar-X menunjukkan semua sampel mengandungi lebih 70% NBT berstruktur rombohedral sebagai fasa utama dan bakinya merupakan fasa sekunder $\text{Bi}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ (BTO). Kenaikan suhu sinteran didapati meningkatkan kandungan fasa NBT di dalam sampel. Mikrograf SEM menunjukkan saiz butiran dan ketumpatan sampel semakin meningkat dengan pertambahan suhu sinteran. Ujian sifat pengesanan tekanan menunjukkan kesemua sampel memberi sambutan apabila voltan pemula diberikan. Berdasarkan faktor ketumpatan, kestabilan dan keboleholuan sifat pengesanan tekanan, seramik NBT yang disinter pada suhu 1200°C merupakan seramik yang terbaik dan berpotensi digunakan sebagai sensor tekanan.

Kata kunci: Natrium bismut titanat; perovskit; piezoelektrik; sensor tekanan

ABSTRACT

A study to determine the microstructure and pressure sensing behaviour of $\text{Na}_{0.45}\text{Bi}_{0.55}\text{TiO}_3$ (NBT) as lead-free ceramics has been conducted. NBT ceramics were prepared using the solid state reaction technique from stoichiometric mixture of Na_2CO_3 , Bi_2O_3 and TiO_2 powders. The mixture was sintered at three different temperatures namely 1100°C , 1200°C , 1300°C for 12 hours. After sintering, the NBT powders were ground and pressed into pellet with 13 mm diameter and subsequently heated at 700°C for 2 hours. Microstructure and morphology of the samples were determined using XRD and SEM, respectively. Customized pressure chamber using pneumatic load was employed for pressure sensing behaviour of the samples. X-ray diffraction analysis revealed that all samples consist of more than 70% of polycrystalline, rhombohedral NBT phase, with bismuth titanate, $\text{Bi}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ (BTO) as the secondary phase. The increment in sintering temperature has resulted in the formation of higher NBT content in the sample. SEM micrographs showed that grain size and bulk density of the samples increased with the increment of sintering temperature. Pressure sensing test showed that all samples were responsive toward pressure variations only when initial voltage was applied to the ceramics. Based on density, stability and repeatability in pressure sensing behavior, NBT ceramic sintered at 1200°C was the best ceramic with great potential as lead free pressure sensing material.

Keyword: Piezoelectric; pressure sensor; perovskite; sodium bismuth titanate

PENGENALAN

Plumbum titanat (PbTiO_3) dan plumbum zirkonat titanat (PZT) merupakan dua bahan yang banyak digunakan untuk fabrikasi sensor tekanan. Ini adalah kerana bahan tersebut mempunyai sifat ferroelektrik dan piezoelektrik yang baik (Haccart et al. 2002). Walau bagaimanapun, hasil buangan plumbum semasa proses penyediaan seramik ini menyebabkan masalah pencemaran alam sekitar. Justeru, banyak penyelidikan dijalankan bagi mencari bahan seramik piezoelektrik alternatif yang bebas daripada unsur plumbum.

Antara bahan yang menjadi tumpuan ialah $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$ (NBT) kerana ia menunjukkan beberapa ciri yang menarik seperti sifat ferroelektrik yang baik, suhu Curie dan penguatbaki yang tinggi (Xu et al. 2008; Wenwei et al. 2007). Bahan perovskit ini wujud dalam dua jenis kekisi iaitu rombohedron atau tetragon yang tidak simetri manakala penguatbaki dan medan paksa masing-masing $38 \mu\text{cm}^2$ dan 74kV cm^{-1} (Pengpat et al. 2008; Xiuji et al. 2005).

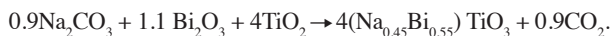
Seramik NBT boleh disediakan melalui beberapa teknik, antaranya persinteran keadaan pepejal (Xu et al.

2005), hidroterma (Ho et al. 2006) dan teknik kimia basah (Remondiere et al. 2007; 2008). Teknik tindak balas keadaan pepejal sering digunakan sama ada bagi penyediaan sampel NBT berhablur tunggal (Babu et al. 2008; Wenwei et al. 2008), polihablur (Xu et al. 2005; 2008) mahupun filem nipis (Remondiere et al. 2007; 2008).

Kebelakangan ini usaha giat dilakukan bagi menghasilkan NBT yang lebih hampir kepada sempadan fasa morfotropik (MPB) iaitu seramik dengan ketetragonalan yang lebih baik. Antara usaha yang diambil adalah dengan mengubah komposisi bahan ini sama ada dengan menambahkan unsur-unsur lain seperti K (Xiujie et al. 2005), Mn (Wenwei et al. 2007) dan Fe (Watcharapasorn et al. 2007) ataupun sebatian seperti BaTiO₃ (Wenwei et al. 2008) dan Eu₂O₃ (Lin et al. 2003). Pengubahsuaian nisbah Na/Bi dalam NBT juga merupakan satu pendekatan yang boleh diteroka kerana saiz ion Bi yang lebih besar dijangka akan mempertingkatkan lagi ketetragonalan hablur NBT. Kajian ini bertujuan untuk menguji kesan suhu sinter ke atas mikrostruktur dan sifat pengesanan tekanan seramik Na_{0.45}Bi_{0.55}TiO₃ yang dihasilkan melalui kaedah persinteran keadaan pepejal. Kesan voltan pemula ke atas magnitud voltan sambutan dan corak sambutan turut dikaji.

KAEDAH KAJIAN

Seramik NBT untuk kajian ini disediakan menggunakan tiga bahan pelopor asas iaitu Na₂CO₃ (BDH > 99.50%), Bi₂O₃ (Aldrich > 99.90%) dan TiO₂ (Aldrich > 99.90%) berdasarkan persamaan berikut:



Campuran serbuk dikisar menggunakan pengisar bebola selama 24 jam dan kemudiannya disinter pada tiga suhu yang berlainan iaitu 1100°C (NBT1), 1200°C (NBT2) dan 1300°C (NBT3) selama 12 jam. Seramik yang terhasil dikisar semula sehingga menjadi halus dan dimampatkan menjadi pelet berdiameter 13 mm sebelum dibakar pada suhu 700°C selama 2 jam.

Ketumpatan bagi sampel ditentukan berdasarkan maklumat jisim, diameter dan ketebalan pelet. Mikrostruktur dan morfologi sampel masing-masing ditentukan menggunakan XRD (Bruker, model D8 Advance) dan SEM (Leo, model 1438VP). Analisis semi-kuantitatif

berdasarkan keamatan tiga puncak utama fasa primer dan sekunder daripada difraktogram sinar-x digunakan bagi menentukan peratusan kehadiran NBT di dalam setiap sampel. Kaedah beban pneumatik dengan tekanan pada 300 kPa pula digunakan bagi menentukan kelakuan pengesanan tekanan seramik NBT (Rajah 1). Voltan sambutan yang terjana daripada proses elektromekanikal ini diukur menggunakan sistem elektrometer (Keithley model 6514). Di samping itu juga, kesan voltan pemula ke atas sifat pengesanan tekanan NBT turut dikaji dengan mengenakan 4 voltan yang berbeza iaitu 0 V, 5 V, 10 V dan 15 V selama 15 minit ke atas setiap sampel. Pengukuran dilakukan sebanyak 3 kitaran pada tekanan 300 kPa untuk menentukan ciri kesensitifan, kestabilan dan keboleholuan seramik ini.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

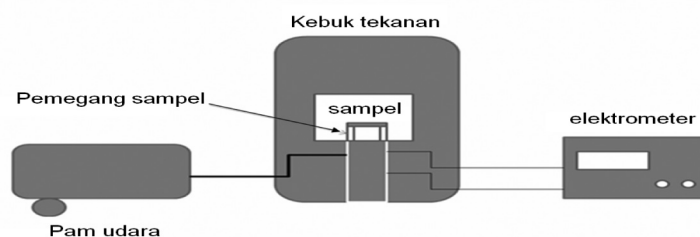
Ketumpatan sampel didapati bertambah dengan peningkatan suhu sinter (Jadual 1). Nilai ketumpatan NBT yang diperolehi daripada kajian ini didapati hampir 20% lebih rendah daripada nilai ketumpatan tertinggi yang dilaporkan setakat ini iaitu $5.85 \pm 0.05 \text{ g cm}^{-3}$ (Pengpat et al. (2008)).

Rajah 2 menunjukkan difraktogram sinar-x bagi ketiga-tiga seramik NBT selepas disinter. Peningkatan suhu sinter didapati telah menghasilkan puncak-puncak tajam dengan nisbah keamatan puncak terhadap sinar latar belakang yang tinggi menandakan hanya fasa hablur yang wujud di dalam sampel. Analisis pengecaman fasa ke atas semua puncak-puncak menunjukkan bahan ini terdiri daripada Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO₃ (ICDD Powder Diffraction File: 036-0340) sebagai fasa primer dan selebihnya Bi₂Ti₂O₇ sebagai fasa sekunder (ICDD Powder Diffraction File: 032-0118). NBT yang terhasil didapati berstruktur rombohedral berpadanan dengan hasil yang dilaporkan oleh Wenwei et al. (2007) dan Yu et al. (2007).

Peningkatan suhu sinter juga telah merangsang penghasilan lebih banyak NBT di dalam sampel (Jadual 1). Peningkatan peratus kehadiran fasa NBT di dalam sampel ditentukan berdasarkan formula:

$$\% \text{ NBT} = \frac{\text{Keamatan NBT}}{\text{Keamatan NBT} + \text{Keamatan BTO}}$$

Dengan keamatan NBT diperolehi daripada puncak (100), (110), (111) sementara keamatan Bi₂Ti₂O₇ dikira



RAJAH 1. Pengeesanan tekanan dengan kaedah pneumatik beban

JADUAL 1. Ketumpatan bagi setiap sampel selepas disinter

Kod	Suhu sinter (°C)	Ketumpatan, ρ ($\pm 0.05 \text{ gcm}^{-3}$)	Peratus ketumpatan piawai	Peratusan NBT
NBT1	1100	4.36	74.52 %	72.80%
NBT2	1200	4.70	80.03 %	73.30%
NBT3	1300	4.74	81.02 %	84.29%

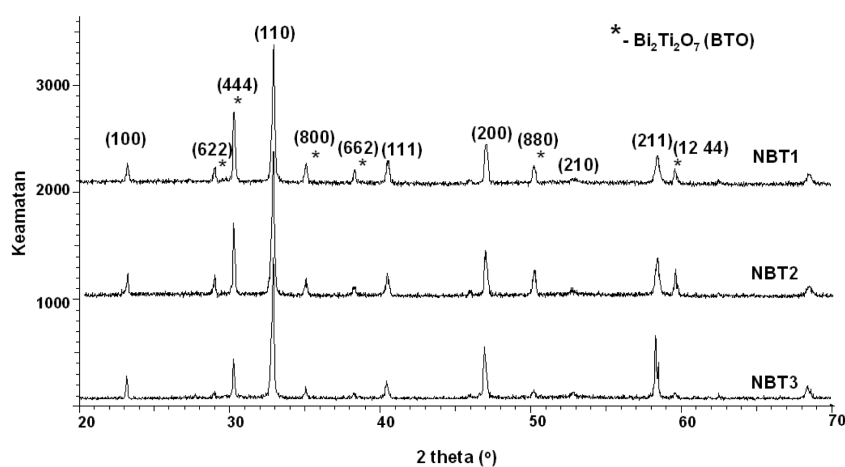
daripada puncak (444), (800) dan (880). Walaupun komposisi pelopor menetapkan $\text{Na}_{0.45}\text{Bi}_{0.45}\text{TiO}_3$ sebagai hasil akhir sinter, penghasilan fasa $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$ berstruktur rombohedron menandakan fasa ini lebih stabil dan menjadi keutamaan dalam gambarajah fasa sistem NBT. Justeru, bagi menyeimbangkan persamaan kimia, lebihan atom bismut, titanium dan oksigen telah digunakan oleh sistem bagi menghasilkan $\text{Bi}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ sebagai fasa sekunder.

Mikrograf SEM untuk ketiga-tiga sampel yang disinter pada suhu 1100, 1200 dan 1300°C ditunjukkan dalam Rajah 3. NBT1 didapati mengandungi banyak liang terbuka dalam pelbagai bentuk dan saiz (Rajah 3(a)). Liang terbuka terbentuk hasil daripada proses penumpatan seramik yang belum selesai akibat kekurangan fasa cecair bagi membantu proses sinter (Xu et al. 2008). Butiran NBT1 didapati kecil dan berbucu tajam dengan julat saiz antara 1 – 2 μm . Peningkatan suhu sinter kepada 1200°C didapati merangsang pertumbuhan butiran ($\sim 4 \mu\text{m}$) dan meningkatkan ketumpatan sampel (Rajah 3(b)). Pada suhu ini, fasa cecair hadir dalam kuantiti yang lebih banyak telah membantu pergerakan dan penyusunan semula zarah selain merangsang proses penggabungan butiran. Keadaan ini menyebabkan terhasilnya butiran dengan saiz yang lebih besar selain liang-liang yang semakin kecil. (Calata 2005; Callister 2007; Xu et al. 2008).

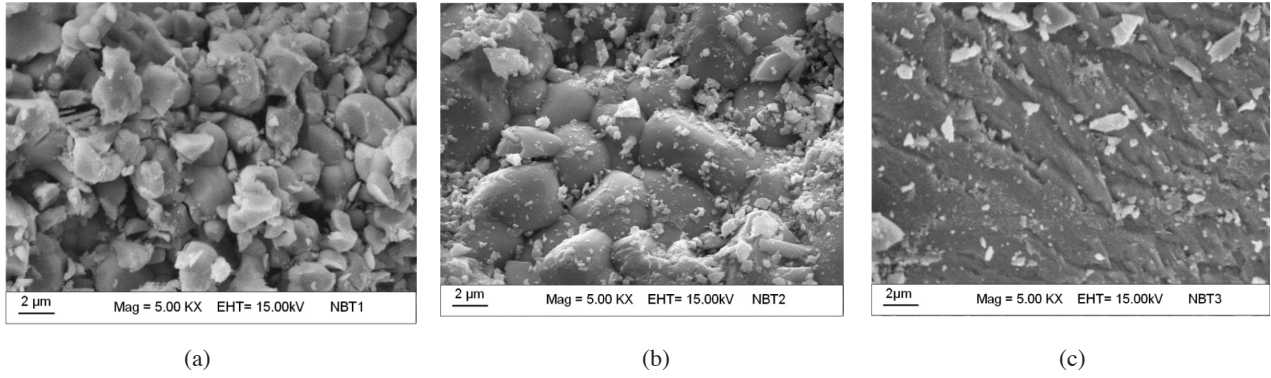
Morfologi butiran yang terhasil pada suhu ini menyerupai morfologi bagi kebanyakan bahan perovskit berasaskan titanat iaitu lebih bulat seperti bentuk batu

sungai (Ramli et al. 2009; Xu et al. 2005; Xu et al. 2008). Peningkatan suhu sinter kepada 1300°C pula telah menyebabkan sempadan antara butiran dalam NBT3 tidak kelihatan. Menurut Xiujie et al. (2005) suhu lebur NBT adalah sekitar 1280°C. Justeru, pada 1300°C, semua bahan pemula telah melebur dan pembentukan hablur NBT hanya berlaku melalui penukleusan semasa proses penyejukan sampel.

Kesan tegasan mekanikal ke atas corak pengesanan tekanan dan magnitud voltan sambutan pada pelbagai nilai voltan pemula ditunjukkan pada Rajah 4 dan Jadual 2. Pada voltan pemula 0 V, kesemua sampel tidak menunjukkan sebarang sambutan terhadap perubahan tekanan (Rajah 4 (a)). Walau bagaimanapun, pada voltan pemula bermagnitud 5 V, didapati kesemua sampel mula menunjukkan corak sambutan yang lebih teratur akibat perubahan tekanan yang dikenakan (Rajah 4 (b)). Seramik NBT1, NBT2 dan NBT3 masing-masing mencatatkan purata magnitud voltan sambutan 0.20 V, 0.07 V dan 0.05 V. Peningkatan magnitud voltan pemula kepada 10 V telah menghasilkan seramik NBT yang lebih sensitif dengan corak sambutan yang lebih baik (Rajah 4c). Purata magnitud voltan sambutan yang dihasil oleh seramik NBT1 didapati menyusut sebanyak 30% kepada 0.12 V. Walau bagaimanapun, peningkatan voltan pemula ini telah menyebabkan seramik NBT2 mencatatkan peningkatan magnitud voltan sambutan sebanyak 57% kepada 0.11 V.



RAJAH 2. Difraktogram sinar-x bagi NBT yang disinter pada 3 suhu yang berlainan



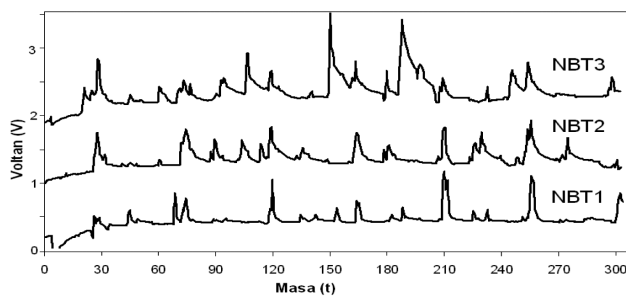
RAJAH 3. Mikrograf SEM bagi NBT yang disinter pada suhu (a) 1100°C, (b) 1200°C dan (c) 1300°C

Kedua-dua seramik ini juga didapati menunjukkan magnitud voltan sambutan yang malar pada setiap kitaran perubahan tekanan menandakan kedua-dua seramik ini mempunyai ciri kestabilan dan kebolehulangan yang semakin baik. Pengurangan voltan sambutan oleh NBT1 ini dipercayai disebabkan oleh kehadiran fasa sekunder yang tinggi dan nilai ketumpatan pukalnya yang lebih rendah berbanding NBT2. Peningkatan voltan pemula ke 10 V didapati tidak memberikan perubahan ke atas NBT3 dari segi magnitud, kestabilan dan kebolehulangan sambutan.

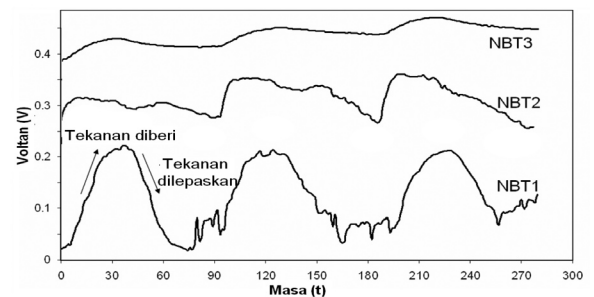
Peningkatan voltan pemula kepada 15 V memberikan pengaruh yang semakin baik ke atas kelakuan pengesanan tekanan bagi seramik NBT1 dan NBT2 (Rajah 4(d)). Kedua-dua seramik NBT1 dan NBT2 menunjukkan ciri kestabilan dan kebolehulangan yang lebih baik berbanding voltan pemula yang lebih rendah. Purata magnitud voltan

sambutan bagi NBT1 hampir tidak berubah sementara NBT2 mencatat peningkatan sebanyak 18% kepada 0.13 V.

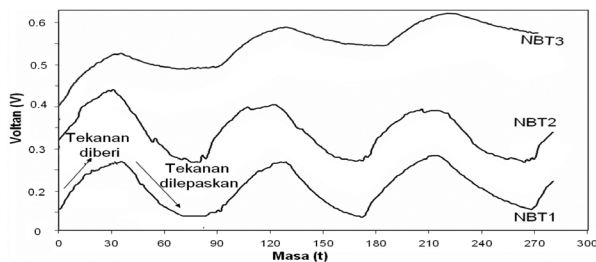
Kesan piezoelektrik hanya berlaku pada kekisi yang tidak simetri. Apabila struktur yang tidak simetri ini dikenakan tekanan, ia akan berubah dan menyebabkan berlakunya anjakan relatif antara cas. Bagi NBT yang berstruktur rombohedron, tekanan yang dikenakan menyebabkan berlaku anjakan relatif cas dan mengubah pusat graviti cas. Walau bagaimanapun, anjakan relatif cas dalam bahan NBT adalah terlalu kecil, menyebabkan kesemua sampel gagal mengesan perubahan tekanan pada 0 V (Rajah 4(a)). Sebagai bahan yang mempunyai medan paksa yang tinggi, keperluan untuk mengenakan medan elektrik luar dalam menghasilkan anjakan relatif cas yang lebih signifikan adalah perlu. Justeru, kesemua NBT yang dihasilkan dapat memberikan sambutan terhadap perubahan tekanan. Berbeza dengan NBT, seramik PZT tidak



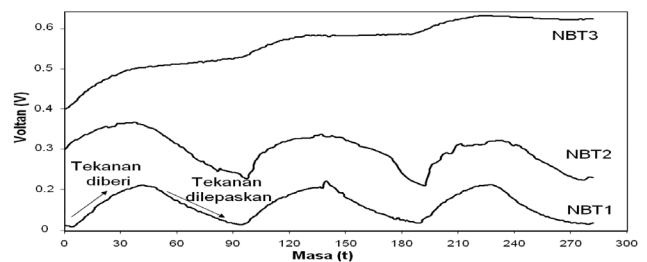
(a)



(b)

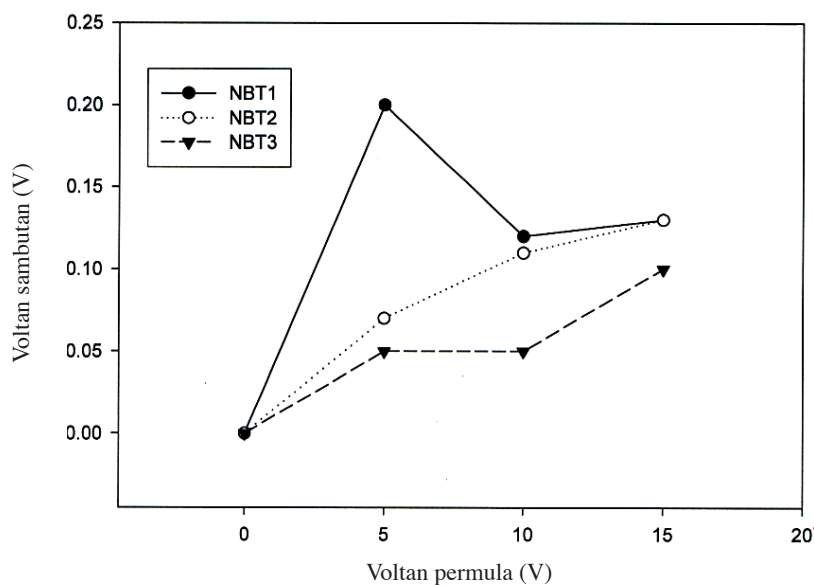


(c)



(d)

RAJAH 4. Respon voltan sambutan sampel NBT apabila tekanan 300 kPa diberikan pada voltan pemula (a) 0 V, (b) 5 V, (c) 10 V dan (d) 15 V



RAJAH 5. Magnitud voltan sambutan pada tekanan 300kPa pada pelbagai nilai voltan pemula

memerlukan medan elektrik luar sebelum boleh digunakan sebagai sensor tekanan (Ramli et al. 2009).

Menurut Pengpat et al. 2008 dan Xu et al. 2005, pemalar piezoelektrik NBT dipengaruhi oleh peratusan NBT yang terhasil, morfologi saiz butiran yang seragam serta ketumpatannya. Keupayaan NBT1 dan NBT2 mengesan tekanan dengan kestabilan dan kebolehlungan yang baik dipercayai disebabkan kehadiran butiran seragam yang dipisahkan oleh sempadan yang jelas di samping keporosan yang agak rendah. Walaupun NBT3 mempunyai ketumpatan dan kandungan NBT yang paling tinggi, kegagalan seramik ini untuk mengesan tekanan dengan baik menunjukkan bahawa bahan ini mempunyai pemalar piezoelektrik yang lebih rendah. Keadaan ini berlaku kerana NBT3 tidak mempunyai sempadan butiran yang jelas akibat penghasilan fasa cecair yang terlalu banyak semasa proses persinteran. Selain itu, bahan polihablur NBT yang tidak mempunyai sempadan butiran yang jelas akibat penggunaan suhu sinter yang tinggi (> takat lebur NBT) cenderung untuk mengalami kebocoran arus yang sekaligus merendahkan pemalar piezoelektriknya (Remondiere et al. 2008).

KESIMPULAN

Seramik NBT berstruktur rombohedron sebagai fasa primer melebihi 70% telah dihasilkan. Ketumpatan sampel didapati meningkat dengan suhu sinteran di mana ketumpatan tertinggi adalah melebihi 80% dari nilai ketumpatan tertinggi yang dilaporkan setakat ini. Peningkatan suhu sinteran telah mengubah morfologi dan meningkatkan saiz butiran. Penggunaan voltan pemula yang kecil berjaya meningkatkan kesensitifan, kestabilan dan kebolehlungan sifat pengesanan tekanan seramik NBT. Berdasarkan penilaian ketumpatan, mikrostruktur,

magnitud voltan sambutan dan kelakuan pengesanan tekanan, suhu 1200°C merupakan suhu terbaik untuk menghasilkan seramik NBT yang berpotensi sebagai bahan asas bagi sensor tekanan.

PENGHARGAAN

Ribuan terima kasih diucapkan kepada Kementerian Pendidikan Tinggi di atas pembiayaan melalui geran FRGS UKM-ST-07-FRGS0018-2007.

RUJUKAN

- Babu, B.J., Madheswaran, G., He, M., Zhang, D.F., Chen, X.L. & Dhanasekaran, R. 2008. Inhomogeneity issues in growth of $\text{Na}_{1/2}\text{Bi}_{1/2}\text{TiO}_3\text{-BaTiO}_3$ single crystals. *Journal of Crystal Growth* 310: 467-472.
- Callister, D.W. 2007. *Material Science and Engineering: An Introduction*. New York: John Wiley and Sons.
- Calata, J.N. 2005. Densification behavior of ceramic and crystallizable glass materials constrained on a rigid substrate. *PhD Thesis Virginia Polytechnic Institute and State University*.
- Haccart, T., Cattan, E. & Remiens, D. 2002. Dielectric, ferroelectric and piezoelectric properties of sputtered PZT thin films on Si substrates: Influence of film thickness and orientation. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics* 5(1): 78-88.
- Ho, C.J., Jun, M.Y., Hyeon L.Y., Pyo C.M. & Byung, K. 2006. Piezoelectric ceramic powder synthesis of bismuth-sodium titanate by a hydrothermal process. *Journal of Ceramic Processing Research* 7: 91-94.
- Lin, Y., Zhao, S., Cai, N., Wu, J., Zhou, X. & Nan, C.W. 2003. Effect of Doping Eu_2O_3 on the phase transformation and piezoelectric properties of $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$ -based ceramics. *Material Science and Engineering B* 99: 449-452.
- Pengpat, K., Jarupoom, P., Kantha, P., Eitsayeam, S., Intatha, U., Rujijanagul, G. & Tunkasiri, T. 2008. Phase formation

- and electrical properties of lead-free bismuth sodium titanate-potassium niobate ceramics. *Current Applied Physics* 8: 241-245.
- Ramli, N., Mat Salleh, M., Yahaya, M. & Hj Jumali, M.H. 2009. Effect of ZrO_2 addition on microstructure, morphology and pressure sensing behaviour of $Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3$ ceramic sintered in Al_2O_3 environment. *Sains Malaysiana* 38: 685-691.
- Remondiere, F., Malic, B., Kosec, M. & Mercurio, J.P. 2007. Synthesis and crystallization pathway of $Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO_3$ thin film obtained by A modified sol-gel route. *Journal of European Ceramic Society* 27: 4363-4366.
- Remondiere, F., Malic, B., Kosec, M. & Mercurio, J.P. 2008. Study of the crystallization pathway of $Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO_3$ thin films obtained by chemical solution deposition. *Journal of Sol-Gel Technology* 46: 117-125.
- Wenwei, G., Hong, L., Xiangyong, Z., Weizhuo, Z., Xiaoming, P., Tianhou, H., Di, L., Haiqing, X., Xiangping, J. & Haosu, L. 2007. Growth, optical and electrical properties of pure and Mn-doped $Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO_3$ Lead-free piezoelectric Crystals. *Journal of Alloy and Compound* 462: 256-261.
- Wenwei, G., Liu, H., Zhao, X., Pan, X., He, T., Lin, D., Xu, H. & Luo, H. 2008. Growth and characterization of $Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO_3$ - $BaTiO_3$ lead-free piezoelectric crystal by the TSSG Method. *Journal of Alloys and Compounds* 456: 503-507.
- Watcharapasorn, A., Jiansirisomboon S. & Tunkasiri, T. 2007. Sintering of Fe-doped $Bi_{0.5}Na_{0.5}TiO_3$ at $<1000^\circ C$. *Material Letters* 61: 2986-2989.
- Xiujie, Y., Huanchu, C., Wenwu, C., Minglei, Z., Dongmei, Y., Guanpeng, M., Changhong, Y. & Jianru, H. 2005. Flux growth and characterization of lead-free piezoelectric single crystal $[Bi_{0.5}(Na_{1-x}K_x)_{0.5}]TiO_3$. *Journal of Crystal Growth* 281: 364-369.
- Xu, Q., Wu, S., Chen, S., Chen, W., Lee, J., Zhou, J., Sun, H. & Li, Y. 2005. Influences of poling condition and sintering temperature on piezoelectric properties of $(Na_{0.5}Bi_{0.5})_{1-x}Ba_xTiO_3$ Ceramics. *Materials Research Bulletin* 40: 373-382.
- Xu, Y., Shan, D. & Song, J. 2005. Effect of a-site substitution on crystal component and dielectric properties in $Bi_{0.5}Na_{0.5}TiO_3$ ceramics. *Materials Science and Engineering B* 121: 148-151.
- Xu, Q., Huang, Y.H., Chen, M., Chen, W., Kim, B.H. & Ahn, B.K. 2008. Effect of bismuth deficiency on structure and electrical properties Of $(Na_{0.5}Bi_{0.5})_{0.93}Ba_{0.07}TiO_3$ Ceramics. *Journal of Physics and Chemistry of Solid* 69: 1996-2003.
- Yu, T., Kwok, K.W. & Chan, H.L.W. 2007. Preparation and properties of sol gel derived $Bi_{0.5}Na_{0.5}TiO_3$ lead free ferroelectric thin film. *Thin Solid Films* 515: 3563-3566.

Mohammad Hafizuddin Haji Jumali*, Mohd Riduan Mt Said
 Ngoi Yung Wee & Muhammad Yahaya
 Pusat Pengajian Fizik Gunaan
 Fakulti Sains dan Teknologi
 Universiti Kebangsaan Malaysia
 43600 UKM Bangi, Selangor D.E.
 Malaysia

Muhammad Mat Salleh
 Institut Kejuruteraan Mikro dan Nanoelektronik (IMEN)
 Universiti Kebangsaan Malaysia
 43600 UKM Bangi, Selangor D.E.
 Malaysia

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: hafizhj@ukm.my

Diserahkan: 16 September 2009

Diterima: 5 Januari 2010