

Kesan Parameter Pemprosesan dan Bahan Tambah Terhadap Pengendapan Elektroforetik Filem LSCF6428 (Effects of Processing Parameters and Additives on Electrophoretic Deposited LSCF6428 Films)

HAMIMAH ABD. RAHMAN, ANDANASTUTI MUCHTAR*, SYAHARIZAN HARON,
NORHAMIDI MUHAMAD & HUDA ABDULLAH

ABSTRAK

Kaedah pengendapan elektroforetik (EPD) semakin mendapat perhatian dalam pembentukan komponen sel fuel oksida pepejal (SOFC). Kaedah EPD menggunakan pelarut organik atau pelarut bukan akueus banyak diaplikasikan terutamanya untuk penghasilan komponen elektrolit SOFC. Dalam kajian ini, filem LSCF6428 telah dihasilkan melalui kaedah EPD yang menggunakan air ternyahion sebagai pelarut akueus. Sebagai permulaan, serbuk LSCF6428 sebanyak 1% berat (1 wt%) diampaiakan di dalam air ternyahion. Seterusnya, ampaiakan dengan nilai pH3 digunakan untuk proses EPD. Peningkatan nilai voltan kenaan (3-7 V) dan tempoh pengendapan (3-10 min) didapati telah menyumbang kepada penambahan amaun filem LSCF6428 yang diendapkan. Penggunaan kanji sebagai bahan tambah didapati berjaya membantu meningkatkan kualiti filem endapan dengan merujuk kepada berat endapan yang lebih tinggi dan endapan yang sekata. Pemilihan voltan kenaan dan proses pengeringan yang sesuai perlu diambil berat bagi mengelakkan keretakan filem endapan. Hasil kajian menunjukkan bahawa morfologi dan berat filem LSCF6428 yang diendapkan sangat bergantung kepada voltan kenaan, masa pengendapan dan penggunaan bahan tambah bagi proses EPD.

Kata kunci: Filem LSCF6428; kanji; pelarut akueus; pengendapan elektroforetik (EPD)

ABSTRACT

The application of electrophoretic deposition (EPD) method in the fabrication of solid oxide fuel cell (SOFC) components has attracted interest. The EPD method frequently employs organic or non-aqueous solvent for the fabrication of SOFC components especially electrolyte. In this study, the LSCF6428 film was developed via the EPD method using an aqueous solvent. To begin with, 1 wt% of LSCF6428 powder was suspended in deionised water. The EPD process was then applied on the suspension with pH3. An increase in the applied voltage (3-7 V) and deposition time (3-10 min) was found to contribute to the increased amount of the deposited LSCF6428 films. With reference to the higher amount and uniform deposition of films, the use of starch as an additive material has been shown to successfully improve the quality of the deposited films. The applied voltage and drying conditions must be carefully selected in order to avoid cracking of the deposited films. The results showed strong dependence of the morphology and weight of the LSCF6428 films on the applied voltage, deposition time and the use of additive materials in the EPD process.

Keywords: Aqueous solvent; electrophoretic deposition (EPD); LSCF6428 film; starch

PENGENALAN

Kaedah pemprosesan bahan, mikrostruktur dan sifat bahan yang dihasilkan merupakan faktor yang saling berkait rapat dalam menentukan prestasi sistem SOFC yang dibangunkan. Selain itu, terdapat satu lagi faktor yang perlu diambil berat dalam pembangunan SOFC iaitu kaedah pemprosesan komponen SOFC yang terdiri daripada elektrod dan elektrolit. Struktur sistem SOFC yang pelbagai seperti elektrod (anod dan katod) komposit, elektrod dan elektrolit multilapisan dan lain-lain memerlukan beberapa kaedah pemprosesan diguna pakai untuk fabrikasi struktur-struktur SOFC tersebut (Fergus 2007; Wincewicz & Cooper 2005).

Kaedah pengendapan elektroforetik (*electrophoretic deposition*, EPD) semakin mendapat perhatian sebagai

kaedah yang efektif bagi penghasilan filem nipis untuk komponen SOFC. Negishi et al. (2000) telah merumuskan beberapa kelebihan aplikasi EPD bagi SOFC di antaranya (1) salutan boleh dibuat dalam berbagai bentuk, (2) masa pemprosesan yang singkat, (3) salutan berliang bagi elektrod dan salutan padat untuk elektrolit boleh dihasilkan dengan mengawal keadaan pengendapan dan (4) berpotensi untuk pengeluaran secara pukal. Lazimnya, kaedah EPD dalam aplikasi SOFC banyak digunakan untuk penghasilan filem elektrolit tumpat (Besra et al. 2006; Ishihara et al. 1996; Negishi et al. 2005; Sora et al. 2006). Sejak kebelakangan ini, kaedah EPD telah mula diguna pakai bagi pembentukan filem katod berliang, namun masih terlalu sedikit hasil kajian yang dilaporkan. Asamoto et al. (2009) dan Santillán et al. (2009) merupakan antara

penyelidik awal yang melaporkan penghasilan fiem nipis berliang bagi katod. Kesemua kaedah EPD yang dinyatakan ini menggunakan pelarut organik bagi mengelakkan elektrolisis dan mendapatkan filem yang bebas gelembung. Kualiti filem yang diendapkan melalui proses EPD ini dipengaruhi oleh banyak faktor iaitu (1) parameter yang berkaitan ampaian EPD (seperti keupayaan zeta, kestabilan ampaian, saiz zarah dalam ampaian dan kekonduksian) dan (2) parameter berkaitan proses (seperti masa pengendapan, voltan kenaan, kekonduksian substrat dan kepekatan zarah dalam ampaian) (Besra & Liu 2007).

Pemilihan skop kajian ini adalah berdasarkan kepada ruang kajian yang masih terbuka luas dalam penggunaan kaedah EPD terutamanya bagi pembangunan komponen SOFC. Oleh itu, kajian ini mengaplikasi teknik EPD dengan menggunakan pelarut berakueus. Bahan katod SOFC iaitu lantanum strontium kobalt ferit 6428 (LSCF6428) yang dilihat berpotensi dan semakin berkembang penggunaannya (Andanastuti et al. 2010; Leng et al. 2004; NoorAshrina et al. 2009) dipilih sebagai komponen yang akan diendapkan. Tumpuan kajian adalah untuk melihat perkaitan di antara parameter EPD (masa pengendapan dan voltan kenaan) dan penggunaan bahan tambah kanji terhadap hasil endapan filem LSCF6428.

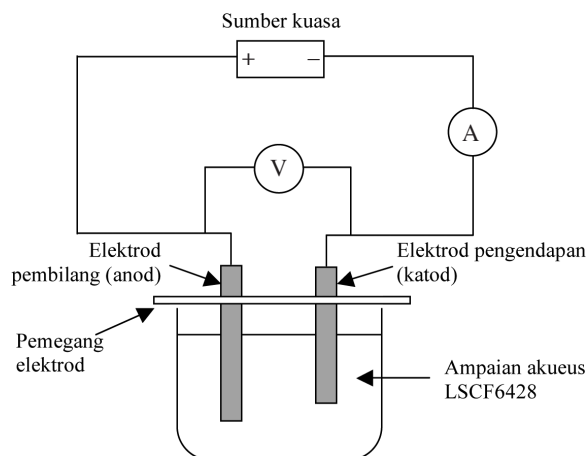
BAHAN DAN KAEDAH

Zarah yang digunakan adalah serbuk komersil katod LSCF6428 bersaiz 0.3-0.6 μm (Sigma-Aldrich Sdn. Bhd., Selangor, Malaysia). Air ternyahion berfungsi sebagai pelarut akueus bagi ampaian EPD. Pengubah suai pH adalah asid nitrik, HNO_3 (65%) dan ammonium hidroksida, NH_4OH (30%) daripada R & M Chemicals masing-masing digunakan bagi ampaian berkeadaan asid dan alkali. Plat keluli tahan karat (SUS 304) digunakan sebagai elektrod. Luas permukaan kawasan endapan pada katod adalah 1.5 cm^2 .

Ampaian EPD disediakan dengan mencampurkan sebanyak 1 wt% serbuk LSCF6428 ke dalam air ternyahion. Kemudian, nilai pH ampaian diubah suai dengan menggunakan HNO_3 dan NH_4OH bagi mendapatkan ampaian dalam keadaan berasid dan beralkali. Ampaian EPD disonifikasi selama 15 min untuk mendapat serakan zarah yang baik sebelum proses pengendapan dilakukan. Selepas sonifikasi, pH ampaian diperiksa semula dan diubahsuai jika perlu.

Pengendapan zarah LSCF6428 dijalankan pada suhu bilik ke atas elektrod SUS 304 yang telah digilap dan dicuci dengan etanol. Kedua-dua elektrod EPD diletakkan pada pemegang dan jarak di antaranya ditetapkan pada kedudukan 10 mm. Rajah skematik bagi sel elektrolitik EPD adalah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1. Nilai voltan kenaan yang digunakan adalah di antara 3-7 V dengan tempoh pengendapan selama 3-10 min. Filem LSCF6428 dikeringkan pada suhu bilik selepas selesai proses pengendapan dan kemudian disinter. Proses EPD dijalankan juga bagi ampaian yang mengandungi bahan tambah iaitu kanji, sebanyak 1 wt% bahan tambah

dimasukkan ke dalam ampaian. Contohnya, jika 0.4 g serbuk LSCF6428 diampaiakan dalam ampaian EPD, maka ampaian kanji yang perlu dimasukkan ke dalam ampaian adalah 0.004 g. Jadual 1 menunjukkan parameter yang digunakan bagi proses EPD untuk kajian ini.



RAJAH 1. Skematik menunjukkan konfigurasi sel bagi proses EPD LSCF6428 ke atas substrat SUS 304

JADUAL 1. Parameter proses EPD

Parameter	Nilai
Kepekatan serbuk LSCF6428 (g/L)	10
Kepekatan bahan tambah (wt%)	1
Nilai pH	3
Jarak elektrod (mm)	10
Voltan kenaan (V)	3-7
Masa pengendapan (min)	3-10

Nilai keupayaan zeta bagi ampaian EPD dari pH2 hingga pH11 diukur dengan menggunakan Zetasizer nano ZS (Malvern, UK). Berat filem endapan diukur dengan menimbang substrat sebelum dan selepas proses pengendapan. Mikrograf filem LSCF6428 dianalisis dengan menggunakan Jeol JSM 6360 LA mikroskop elektron imbasan (SEM) dan spektroskopi penyerakan sinar-X (EDS).

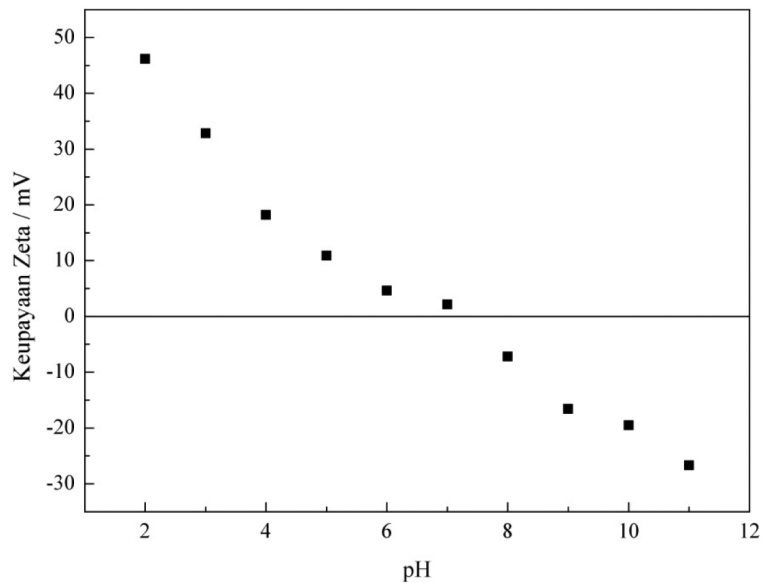
HASIL DAN PERBINCANGAN

KESTABILAN DAN KEUPAYAAN ZETA AMPAIAN LSCF6428
Serbuk LSCF6428 yang terampai di dalam air ternyahion diendapkan secara elektroforetik pada keadaan voltan malar. Kestabilan ampaian dikaji melalui analisis keupayaan zeta. Keupayaan zeta ampaian LSCF6428 berubah daripada nilai positif dalam keadaan berasid kepada nilai negatif dalam keadaan beralkali. Berdasarkan kepada keputusan keupayaan zeta yang telah dijalankan (Rajah 2) dan juga

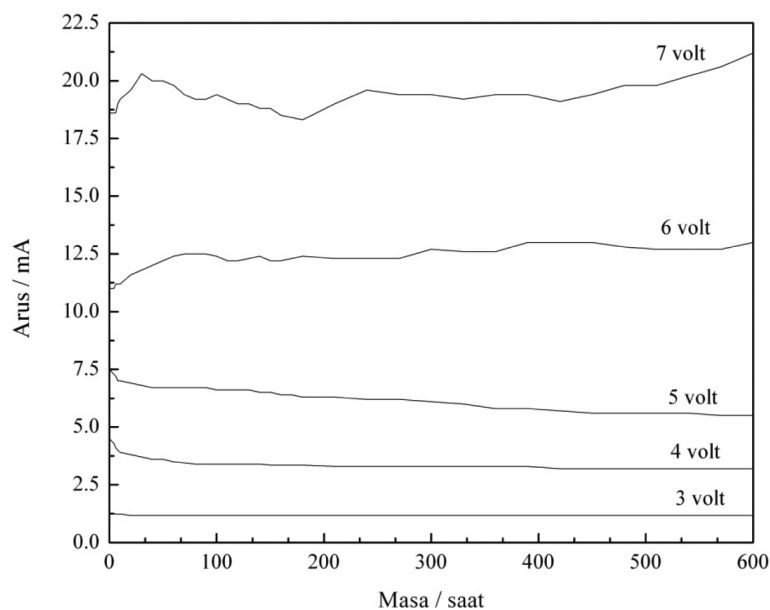
ujian pengendapan yang dikaji sebelum ini (Hamimah Abd. Rahman et al. 2010), nilai pH yang dipilih untuk proses EPD adalah pH3. Pemilihan nilai pH ini merujuk juga kepada pernyataan (Greenwood 2003), yang mana nilai keupayaan zeta melebihi ± 30 mV adalah memadai untuk zarah-zarah terampai dengan stabil (tiada mendapan zarah) di dalam ampaiian. Ampaiian dalam keadaan berasid dengan nilai keupayaan zeta positif bermakna zarah-zarah LSCF6428 bercas positif dan proses pengendapan akan berlaku pada substrat katod.

Proses EPD bagi filem LSCF6428 tanpa bahan tambah telah dijalankan pada voltan kenaan 3 V hingga 7 V. Hubungan di antara arus dan masa pengendapan pada

voltan kenaan berbeza ditunjukkan dalam Rajah 3. Arus berkadar terus dengan nilai voltan kenaan. Selepas 2 minit sistem beroperasi, keadaan arus mulai stabil. Walau bagaimanapun, keadaan arus cenderung menjadi kurang stabil pada voltan yang tinggi. Pada kebiasaannya, arus yang kurang stabil boleh mempengaruhi kualiti filem endapan (Besra & Liu 2007). Ketumpatan arus yang rendah dapat diperhatikan pada voltan kenaan yang rendah. Fenomena yang diperoleh ini sejajar dengan hasil kajian (Yaseen et al. 2007) yang juga mengaplikasikan sistem EPD akueus. Oleh itu, dicadangkan voltan kenaan untuk proses EPD bagi sistem ampaiian akueus ini adalah tidak melebihi 5 V.



RAJAH 2. Hubungan di antara nilai keupayaan zeta dan pH bagi ampaiian LSCF6428



RAJAH 3. Perubahan arus terhadap masa ketika voltan endapan malar bagi ampaiian LSCF6428 dengan nilai pH3

BERAT ENDAPAN FILEM LSCF6428

Analisis berat endapan filem dilakukan bagi mengenal pasti pengaruh parameter proses EPD iaitu masa pengendapan dan voltan yang dikenakan serta kesan bahan tambah. Kebergantungan berat endapan terhadap masa pengendapan pada pelbagai voltan yang dikenakan ditunjukkan pada Rajah 4. Kadar pengendapan sangat bergantung kepada tempoh masa pengendapan dan voltan yang digunakan. Peningkatan nilai voltan dan masa pengendapan menyumbang kepada peningkatan amaun berat filem yang diendapkan. Hubungan yang diperoleh ini mematuhi persamaan Hamaker (Besra & Liu 2007; Ishihara et al. 1996) yang menyatakan berat zarah yang terendap berkadar terus dengan nilai voltan kenaan (E) dan masa pengendapan (t). Perkaitan yang dinyatakan dalam persamaan Hamaker ini boleh digunapakai jika jenis pelarut, zarah dan sistem apparatus EPD adalah tetap sepertimana yang dilakukan dalam kajian ini.

Amaun pengendapan filem ke atas substrat juga dipengaruhi oleh keupayaan zarah-zarah yang terampai untuk bergerak ke arah elektrod pengendapan. Keupayaan zarah di dalam ampaiian EPD untuk bergerak adalah merujuk kepada halaju zarah yang dinyatakan dalam persamaan berikut (Negishi et al. 2005):

$$v = \epsilon_r \epsilon_0 \zeta E / \eta, \quad (1)$$

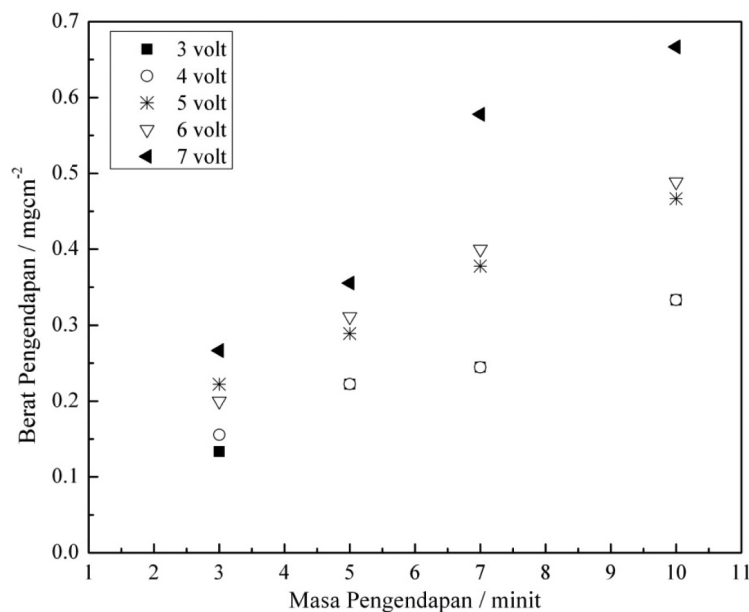
dengan ϵ_r adalah pemalar dielektrik relatif, ϵ_0 ialah pemalar dielektrik dalam keadaan vakum, ζ adalah keupayaan zeta zarah, E merupakan voltan kenaan yang dikenakan dan η ialah kelikatan ampaiian. Persamaan (1) menunjukkan bahawa halaju zarah di dalam ampaiian saling berkait dengan nilai keupayaan zeta dan voltan kenaan yang digunakan semasa proses EPD. Nilai keupayaan zeta

dan voltan kenaan yang tinggi mampu meningkatkan keupayaan zarah untuk bergerak dan terendap di atas substrat. Proses endapan hasil daripada pergerakan zarah ini merupakan fenomena kinetik (Besra & Liu 2007). Keadaan yang serupa diperoleh daripada hasil kajian ini yang mana pada nilai voltan 3 V, hanya sedikit atau hampir tiada endapan yang terbentuk berbanding amaun endapan yang tinggi pada 7 V.

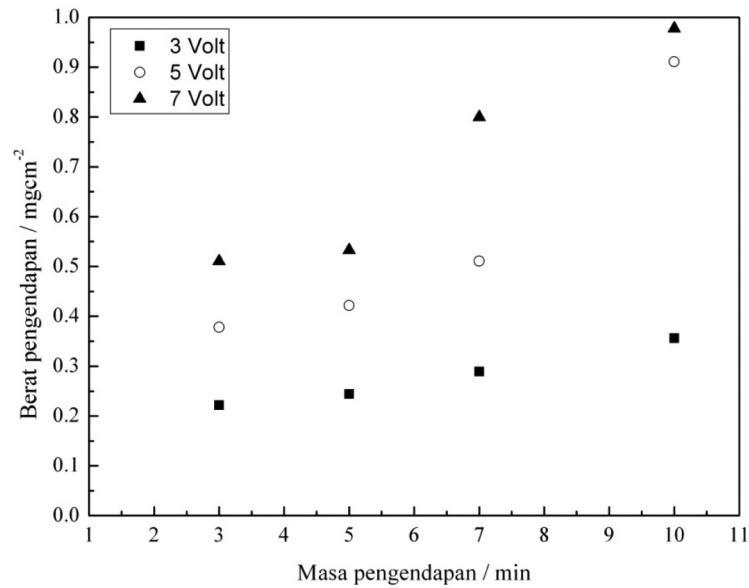
Walaupun bagaimanapun, penggunaan voltan kenaan yang terlalu tinggi boleh menyebabkan kualiti filem endapan menurun (Basu et al. 2001). Perkara ini berlaku kerana voltan kenaan yang tinggi boleh menghasilkan aliran gelora dalam ampaiian yang mengganggu proses serakan zarah semasa pengendapan. Ia juga menjadikan pergerakan zarah terlalu laju sehingga menyebabkan zarah-zarah ini tidak sempat untuk menempatkan diri mereka pada kedudukan yang terbaik bagi membentuk struktur filem endapan yang padat.

Kesan bahan tambah terhadap berat endapan filem LSCF6428 juga ditentukan dalam kajian ini. Rajah 5 memaparkan pertambahan berat endapan dengan peningkatan masa endapan pada voltan kenaan yang berbeza bagi ampaiian yang mengandungi kanji. Pertambahan kanji didapati telah menyumbang kepada peningkatan ketara amaun berat filem yang diendapkan. Perbandingan berat filem yang diendapkan daripada ampaiian tanpa bahan tambah dan yang menggunakan bahan tambah pada voltan kenaan tertentu ditunjukkan dalam Rajah 6.

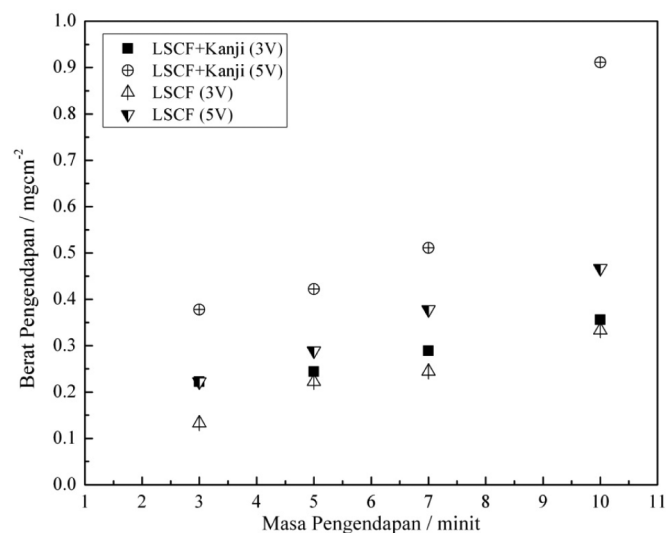
Penggunaan bahan tambah dapat menjadikan keberaliran ampaiian bertambah baik dan cas pada zarah-zarah LSCF6428 menjadi lebih aktif seterusnya membantu pembentukan lebih banyak endapan (Reed 1995; Santillán et al. 2009). Bahan tambah seperti kanji boleh berfungsi sebagai pengikat yang membantu endapan



RAJAH 4. Perubahan berat endapan filem LSCF6428 terhadap masa pengendapan pada voltan kenaan yang berbeza



RAJAH 5. Berat endapan film LSCF6428 yang mengandungi 1% berat kanji terhadap masa pengendapan



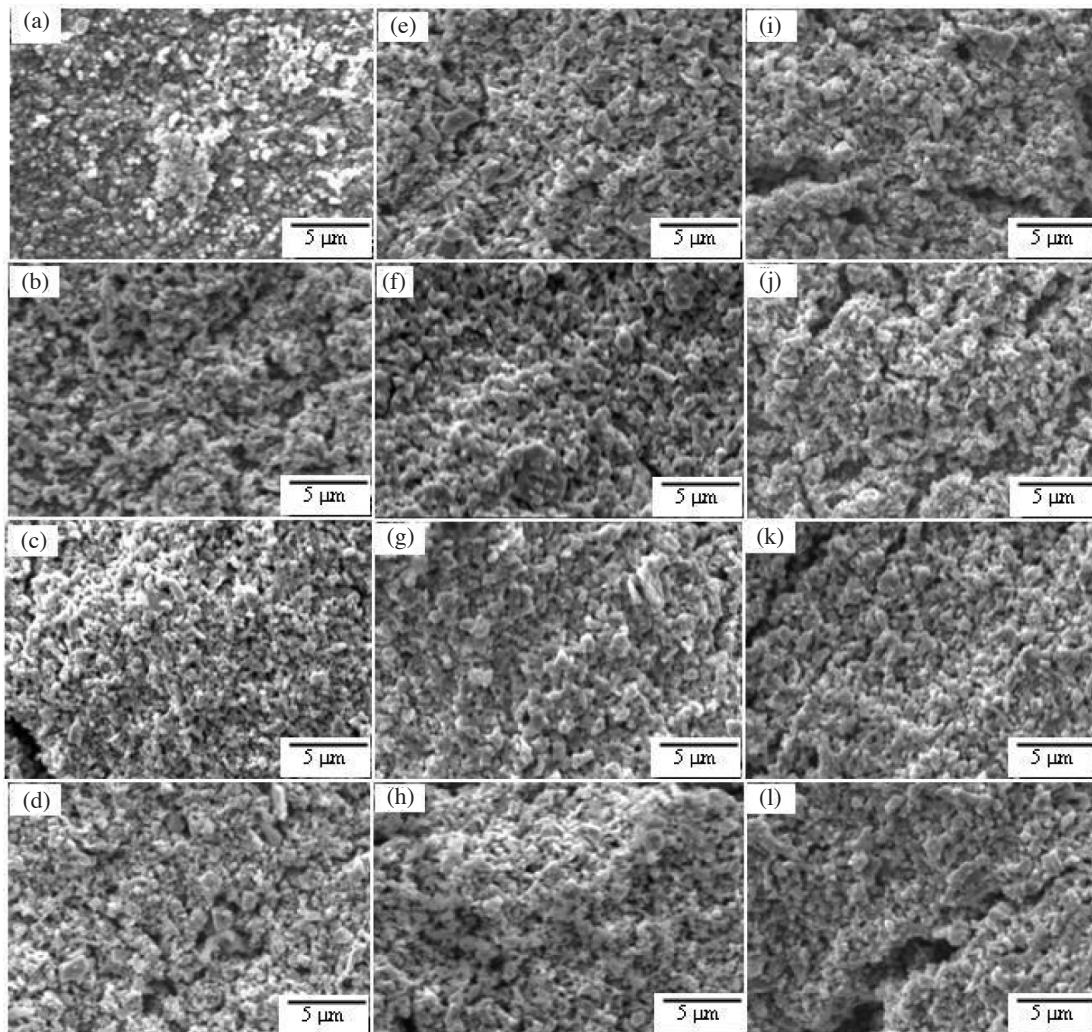
RAJAH 6. Perbandingan berat endapan film daripada ampaian LSCF 6428 tanpa kanji dan mengandungi kanji pada voltan 3 V dan 5 V

berlaku lebih cepat kerana cas-cas zarah bertambah dan menghasilkan endapan yang berkualiti. Dapatan kajian ini telah menunjukkan fenomena yang selari dengan kajian (Santillán et al. 2009) yang memperolehi peningkatan berat film endapan dengan penambahan kanji. Walau bagaimanapun, kajian lanjut perlu dijalankan bagi mengenal pasti amaun optimum kanji bagi ampaian LSCF6428 untuk mendapatkan kualiti film endapan yang dikehendaki

MORFOLOGI FILEM

Perkaitan di antara morfologi film LSCF6428 dengan masa pengendapan dan voltan kenaan ditunjukkan dalam Rajah 7. Peningkatan nilai masa pengendapan dan voltan

kenaan membolehkan lebih banyak zarah yang terendap. Jika diperhatikan pada filem (a) di Rajah 7, pengendapan bagi tempoh masa tiga minit hanya menghasilkan sedikit atau hampir tiada endapan pada substrat. Perkara ini berlaku disebabkan zarah dalam ampaian tidak mempunyai masa yang mencukupi untuk mencari kedudukan terbaik pada permukaan substrat bagi membentuk endapan (Tang et al. 2002). Filem LSCF6428 yang terhasil pada voltan kenaan 5 V dan 7 V memberikan endapan yang lebih sekata pada permukaan substrat. Walau bagaimanapun, dapat dilihat pada Rajah 7 iaitu bagi filem (i) hingga filem (l), terdapat keretakan pada permukaan filem. Retakan ini berlaku semasa proses pengeringan. Tindak balas elektrolisis air yang biasanya berlaku pada voltan melebihi 5 V dan taburan partikel yang kurang baik merupakan

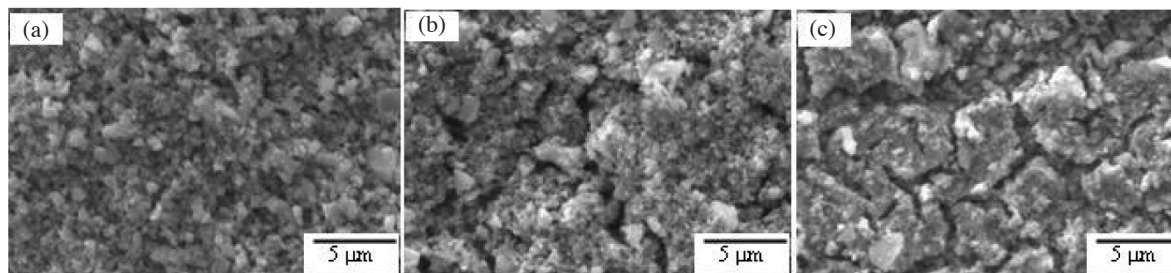


RAJAH 7. Mikrograf SEM filem LSCF6428 selepas disinter. Proses EPD dijalankan pada (a) 3 V, 3 min, (b) 3 V, 5 min, (c) 3 V, 7 min, (d) 3 V, 10 min, (e) 5 V, 3 min, (f) 5 V, 5 min, (g) 5 V, 7 min, (h) 5 V, 10 min, (i) 7 V, 3 min, (j) 7 V, 5 min, (k) 7 V, 7 min dan (l) 7 V, 10 min

antara faktor yang boleh menyebabkan berlakunya fenomena retak ini (Cherng et al. 2008). Retakan juga boleh berlaku disebabkan oleh perbezaan tegasan yang berpunca daripada tegangan kapilari dalam zarah semasa pergerakan pelarut atau wap ke dalam liang. Keadaan ini terjadi terutamanya pada endapan filem yang tidak seragam (Randall & Tassel 2001). Merujuk kepada analisis bagi hubungan arus dan voltan kenaikan yang ditunjukkan dalam Rajah 3, dicadangkan voltan yang sesuai bagi sistem ini adalah pada atau kurang daripada 5 V.

Filem LSCF6428 yang diendapkan pada voltan 3 V dan 5 V daripada ampaiian LSCF6428 yang mengandungi kanji (Rajah 8) didapati memberikan morfologi yang lebih baik dengan ampaiian endapan yang lebih banyak dan sekata berbanding filem yang diendapkan daripada ampaiian tanpa kanji. Penambahan kanji juga membantu meningkatkan keliangan dalam filem yang telah disinter. Ini berlaku apabila zarah-zarah kanji di dalam filem endapan telah terurai semasa proses pensinteran dan meninggalkan ruang kosong yang menjadi liang.

Keliangan dalam filem endapan sememangnya diperlukan untuk sesetengah aplikasi seperti elektrod sel fuel oksida pepejal, filem penapis dan sebagainya. Oleh itu, kehadiran liang dalam filem LSCF6428 ini menjadikan ia berpotensi untuk digunapakai sebagai komponen katod sel fuel oksida pepejal (Zhao et al. 2006). Walau bagaimanapun, terdapat retakan pada filem yang diendapkan pada 7 V daripada ampaiian mengandungi kanji. Keadaan arus yang kurang stabil pada voltan melebihi 5 V (Rajah 3) boleh menjadi salah satu punca kepada keretakan ini. Sehubungan itu, masalah endapan tidak sekata dan keretakan filem perlu dikaji dengan lebih terperinci. Penggunaan agen penyerakan zarah telah dikenal pasti boleh membantu pengendapan filem dengan lebih baik (Cherng et al. 2008). Pengubahsuaian jarak kedudukan di antara dua elektrod dan proses pengeringan filem di dalam ketuhar berkelembapan tinggi dicadangkan boleh membantu mengelakkan masalah retakan filem (Besra & Liu 2007). Oleh itu, parameter proses EPD selain daripada masa pengendapan dan voltan kenaikan iaitu



RAJAH 8. Mikrograf SEM filem LSCF6428 daripada ampaian mengandungi kanji diendap pada voltan kenaan (a) 3 V, (b) 5 V dan (c) 7 V dalam tempoh 7 min

seperti jarak kedudukan elektrod, kaedah pengeringan serta penggunaan agen penyerakan perlu juga diberi perhatian untuk kajian lanjut bagi sistem ampaian LSCF6428 ini. Fokus kajian selanjutnya akan menumpu kepada pengoptimuman amaan kanji, kesan penambahan agen penyerakan dan proses pengeringan filem bagi meningkatkan mutu filem endapan.

KESIMPULAN

Kesan voltan, masa pengendapan dan penambahan kanji terhadap pengendapan filem melalui kaedah EPD telah dikenalpasti. Hasil kajian awal ini menunjukkan potensi kaedah EPD dengan penggunaan ampaian akueus untuk penghasilan filem LSCF6428. Voltan di antara 3 V hingga 7 V pada masa pengendapan 3 hingga 10 min telah berupaya mengendapkan filem LSCF6428 di atas substrat keluli tahan karat. Penggunaan voltan kenaan sehingga nilai maksimum 5 V adalah yang paling sesuai dan disarankan untuk sistem ini bagi memperolehi endapan yang seragam. Penambahan kanji ke dalam ampaian EPD dengan penggunaan voltan kenaan yang sesuai juga mampu meningkatkan amaan dan kualiti filem endapan yang dihasilkan.

PENGHARGAAN

Penulis merakamkan penghargaan kepada Universiti Kebangsaan Malaysia di atas tajaan projek ini melalui Geran Penyelidikan Arus Perdana UKM-AP-TK-05-2009. Ucapan terima kasih juga kepada Universiti Tun Hussein Onn Malaysia dan Kementerian Pengajian Tinggi Malaysia di atas pemberian biasiswa pengajian.

RUJUKAN

- Andanastuti Muchtar, Noorashrina A. Hamid, Norhamidi Muhamad & Daud, W.R.W. 2010. Sintering effects on LSCF cathodes for intermediate temperature solid oxide fuel cells (IT-SOFCs). *Advanced Materials Research* 139-141: 141-144.
- Asamoto, M., Miyake, S., Yonei, Y., Yamaura, H. & Yahiro, H. 2009. Electrochemical performances of proton-conducting SOFC with La-Sr-Fe-O cathode fabricated by electrophoretic deposition techniques. *Electrochemistry* 77(2): 143-145.
- Basu, R.N., Randall, C.A. & Mayo, M.J. 2001. Fabrication of dense zirconia electrolyte films for tubular solid oxide fuel cells by electrophoretic deposition. *Journal of American Ceramic Society* 84(1): 33-40.
- Besra, L., Compson, C. & Liu, M. 2006. Electrophoretic deposition of YSZ particles on non-conducting porous NiO-YSZ substrates for solid oxide fuel cell applications. *Journal of American Ceramic Society* 89(10): 3003-3009.
- Besra, L. & Liu, M. 2007. A review on fundamentals and applications of electrophoretic deposition (EPD). *Progress in Materials Science* 52: 1-61.
- Cherng, J.S., Sau, J.R. & Chung, C.C. 2008. Aqueous electrophoretic deposition of YSZ electrolyte layers for solid oxide fuel cells. *Journal of Solid State Electrochemistry* 12: 925-933.
- Fergus, J.W. 2007. Overview materials challenges for solid-oxide fuel cells. *Hydrogen Economy*: 56-62.
- Greenwood, R. 2003. Review of the measurement of zeta potentials in concentrated aqueous suspensions using electroacoustics. *Advances in Colloid and Interface Science* 106: 55-81.
- Hamimah Abd.Rahman, Andanastuti Muchtar, Norhamidi Muhamad & Huda Abdullah. 2010. Electrophoretic deposition of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$ cathode film on stainless steel substrates. *Advanced Materials Research* 139-141: 145-148.
- Ishihara, T., Sato, K. & Takita, Y. 1996. Electrophoretic deposition of Y_2O_3 -stabilized ZrO_2 electrolyte films in solid oxide fuel cells. *Journal of the American Ceramic Society* 79: 913-919.
- Leng, Y.J., Chan, S.H., Jiang, S.P. & Khor, K.A. 2004. Low-temperature SOFC with thin film GDC electrolyte prepared in situ by solid-state reaction. *Solid State Ionics* 170: 9-15.
- Negishi, H., Yamaji, K., Imura, T., Kitamoto, D., Ikegami, T. & Yanagishita, H. 2005. Electrophoretic deposition mechanism of YSZ/n-propanol suspension. *Journal of the Electrochemical Society* 152(2): J16-J22.
- NoorAshrina A. Hamid, Andanastuti Muchtar, Wan Ramli Wan Daud & Norhamidi Muhamad. 2009. Pencirian mikrostruktur katod La-Sr-Co-Fe-O bagi sel fuel oksida pejal bersuhu sederhana (IT-SOFC). *Sains Malaysiana* 38(6): 857-861.
- Randall, C. & Tassel, J.V. 2001. Electrophoretic deposition. In *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*. UK: Elsevier Science Ltd.
- Reed, J.S. 1995. *Principles of Ceramic Processing*. Ed. Ke 2. New York: Wiley & Sons.
- Santillán, M.J., Caneiro, A., Quaranta, N. & Boccaccini, A.R. 2009. Electrophoretic deposition of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$ cathodes on $\text{Ce}_{0.9}\text{Gd}_{0.1}\text{O}_{1.95}$ substrates for intermediate

- temperature solid oxide fuel cell (IT-SOFC). *Journal of European Ceramic Society* 29: 1125-1132.
- Sora, I.N., Pelosato, R., Simone, A., Montanaro, L., Maglia, F. & Chiodelli, G. 2006. Characterization of LSGM films obtained by electrophoretic deposition (EPD). *Solid State Ionics* 177: 1985-1989.
- Tang, F., Uchikoshi, T. & Sakka, Y. 2002. Electrophoretic deposition behavior of aqueous nanosized zinc oxide suspensions. *Journal of American Ceramic Society* 85(9): 2161-2165.
- Wincewicz, K.C. & Cooper, J.S. 2005. Taxonomies of SOFC material and manufacturing alternatives. *Journal of Power Sources* 140: 280-296.
- Yaseen, H., Baltianski, S. & Tsur, Y. 2007. Cathodic electrophoretic deposition of barium titanate films from aqueous solution. *Journal of Materials Science* 42: 9679-9683.
- Zhao, J., Wang, X. & Li, L. 2006. Electrophoretic deposition of BaTiO₃ films from aqueous suspensions. *Materials Chemistry and Physics* 99: 350-353.
- Hamimah Abd. Rahman
Institut Sel Fuel
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi, Selangor D.E.
Malaysia
- Andanastuti Muchtar*, Syaharizan Haron, Norhamidi Muhamad & Huda Abdullah
Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi, Selangor D.E.
Malaysia
- *Pengarang untuk surat-menyurat; email: muchtar@eng.ukm.my.
- Diserahkan: 28 Januari 2011
Diterima: 19 Ogos 2011