

Fabrikasi GPS Antena menggunakan Bahan Zink Aluminat Berstruktur Nano didopkan dengan Kobalt

(Fabrication of GPS Antenna using Zinc Aluminate (ZnAl_2O_4) Nanostructured Material Doped with Cobalt)

WAN NASARUDIN WAN JALAL, HUDA ABDULLAH*, MOHD SYAFIQ ZULFAKAR & BADARIAH BAIS

ABSTRAK

Kaedah sol gel digunakan untuk menghasilkan filem nipis $\text{Co}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$ berstruktur nano pada suhu 600°C . Corak pembelauan XRD menunjukkan pembentukan struktur tunggal spinel ZnAl_2O_4 dan CoAl_2O_4 . Saiz hablur dan ketumpatan bahan berkurangan apabila kepekatan bahan dopan Co bertambah, iaitu masing-masing daripada 19.52 kepada 10.39 nm dan 4.609 kepada 4.585 g/cm^3 . Parameter kekisi pula meningkat daripada 8.085 kepada 8.098 Å apabila Co meningkat. Analisis FTIR menunjukkan ikatan ZnO, Co dan Al-O berlaku antara 487 hingga 550 cm^{-1} , manakala ikatan spinel bagi ZnAl_2O_4 dan CoAl_2O_4 pula terbentuk pada 655 cm^{-1} . Imej AFM menunjukkan kekasaran permukaan menurun apabila Co bertambah iaitu daripada 30.21 nm ($\times=0.00$) kepada 14.83 nm ($\times=0.30$). Nilai pemalar dielektrik (ϵ_r) menunjukkan penurunan secara linear apabila Co meningkat iaitu daripada 8.53 kepada 7.31. Seterusnya, GPS antena difabrikasi menggunakan sampel $\text{Co}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$. Prestasi dan frekuensi operasi GPS antena diukur menggunakan penganalisis rangkaian siri PNA pada frekuensi keanaan 1-2 GHz. Analisis mendapati antena beroperasi pada frekuensi 1.570 GHz dengan kerugian pulangan -15.6 hingga -21.2 dB dan lebar jalurnya pula adalah 80 hingga 315 MHz. Kesemua antena yang telah difabrikasi memenuhi keperluan minimum antena untuk beroperasi pada aplikasi GPS.

Kata kunci: Antena GPS; $\text{Co}/\text{ZnAl}_2\text{O}_4$; FTIR; pemalar dielektrik; struktur nano

ABSTRACT

The $\text{Co}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$ thin films was synthesized by the sol-gel method at 600°C . The XRD patterns displayed the characteristic peaks of the solid spinel structure and were observed as ZnAl_2O_4 or CoAl_2O_4 system. The addition of Co decreased the crystallite size and ceramic density from 19.52 to 10.39 nm and 4.609 to 4.585 g/cm^3 , respectively. The lattice parameter increase initially from 8.085 to 8.098 Å, as Co increased. The FTIR analysis showed that the formation of ZnO, Co and Al-O occurred at 487 and 550 cm^{-1} , while ZnAl_2O_4 and CoAl_2O_4 spinel bonds occurred at 655 cm^{-1} . The AFM images showed the surface roughness decreased as Co increased, from 30.21 nm ($\times=0.00$) to 14.83 nm ($\times=0.30$). As the Co content increased, the dielectric constant (ϵ_r) values decreased linearly from 8.53 to 7.31. Finally, GPS patch antennae were successfully fabricated using the $\text{Co}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$ material. The performance and operating frequencies of GPS patch antennae were determined from frequencies of 1-2 GHz using PNA series network analyzer. The results showed that the patch antenna resonates at frequency of 1.570 GHz and produces a return loss bandwidth between -15.6 and -21.2 dB, while their bandwidth between 80 to 315 MHz to ensure full functionality. The all fabricated antennae meet the minimum requirements of GPS applications.

Keywords: $\text{Co}/\text{ZnAl}_2\text{O}_4$; dielectric constant; FTIR; GPS antennas; nanostructures

PENGENALAN

Semenjak beberapa dekad yang lalu, antena tampal mikrojalur telah digunakan secara meluas dalam teknologi telekomunikasi kerana mempunyai profil yang kecil, ringan dan nipis (Abdelaziz & Nashaat 2007; James & Hall 1989). Antena jenis ini digunakan pada kebanyakan sistem komunikasi seperti jaringan tanpa wayar berkelajuan tinggi, sistem rangkaian setempat (LAN) tanpa wayar, sistem penghantaran pintar (ITS) dan Sistem Kedudukan Global (GPS) (Breed 2009). Perubahan teknologi menyebabkan antena tampal mikrojalur yang semakin kecil dan ringan amat diperlukan. Pengecilan antena tampal mikrojalur perlu dikesalkan untuk disesuaikan dengan teknologi GPS terkini yang serba canggih dan bersifat mudah

alih. Pengecilan peranti GPS memerlukan komponen, peranti terminal dan substrat yang akan digunakan juga dikesalkan. Namun, pengecilan antena tampal mikrojalur untuk digunakan dalam aplikasi GPS telah menjadi isu utama kerana frekuensi operasi GPS telah diperluaskan ke teknologi gelombang milimeter (Bian et al. 2009, 2008; Huang et al. 2010), iaitu berada antara 1.226 GHz (bagi jalur rendah) dan 1.575 GHz (bagi jalur tinggi) (Abdelaziz & Nashaat 2007).

Kajian oleh penyelidik terdahulu (Huang et al. 2010, 2008; James & Hall 1989) mendapati pengecilan antena tampal mikrojalur boleh dilakukan melalui penggunaan bahan tampalan yang mempunyai pemalar dielektrik, $\epsilon_r > 4$. Selain itu, pengecilan juga boleh dilakukan melalui

pelbagai corak reka bentuk. Pengecilan antena tampalan amat penting kerana ianya menentukan saiz sebenar antena tampal mikrojalur untuk aplikasi GPS (antena GPS). Namun, pengecilan berdasarkan corak reka bentuk adalah amat terhad dan tidak memberikan penurunan saiz dengan ketara. Pengecilan melalui penggunaan bahan sedia ada seperti tembaga, perak dan lain-lain logam untuk $\epsilon_r < 4$ tidak dapat memenuhi keperluan industri kerana hanya mempunyai ϵ_r antara 2 hingga 4 dan tidak mampu memenuhi keperluan pengecilan saiz tampalan. Oleh itu, bahan yang mempunyai pemalar dielektrik yang lebih tinggi ($\epsilon_r > 4$) seperti bahan gelombang mikro dielektrik seramik boleh digunakan sebagai bahan alternatif untuk menghasilkan antena yang lebih kecil (Wan Jalal et al. 2013; Wu et al. 2011).

Pada masa kini, beberapa kajian telah membuktikan bahan zink aluminat (ZnAl_2O_4) berasaskan bahan gelombang mikro dielektrik seramik (MDC) mempunyai nilai pemalar dielektrik yang tinggi ($\epsilon_r \sim 8$) dan boleh difabrikasi sebagai antena GPS (Wang et al. 2009; Wu et al. 2011). Namun kajian juga mendapati kebanyakan penyelidik menghasilkan bahan ZnAl_2O_4 menggunakan kaedah gel leburan berair dan keadaan pepejal (Surendran et al. 2004; Wu et al. 2011). Kedua-dua kaedah ini melibatkan suhu penyediaan yang tinggi iaitu $> 1,350^\circ\text{C}$. Penggunaan suhu yang tinggi akan menyebabkan kos penghasilan juga tinggi dan ianya tidak efektif untuk industri komunikasi semasa yang menekankan aspek mengurangkan kos, ringan, nipis dan mengurangkan kekasaran bahan. Oleh yang demikian, penghasilan bahan seramik berstruktur nano dan pada suhu yang rendah ($< 1000^\circ\text{C}$) dengan menggunakan kaedah kos rendah adalah amat diperlukan. Pada masa yang sama, kajian tentang bahan ZnAl_2O_4 didopkan dengan Co sebagai bahan MDC adalah teramat kurang dilakukan. Kebanyakan penyelidik menghasilkan bahan ZnAl_2O_4 dan Co untuk digunakan sebagai pigmen biru (Souza et al. 2009; Visinescu et al. 2010). Oleh yang demikian, pemalar dielektrik apabila kedua-dua bahan ini didopkan masih belum diketahui.

Kertas ini bertujuan untuk mensintesis larutan zink aluminat (ZnAl_2O_4) yang didopkan dengan kobalt (Co) berdasarkan formula $\text{Co}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$ ($x = 0.00, 0.10, 0.20$ dan 0.30) dengan menggunakan kaedah sol gel pada suhu 600°C . Filem nipis ini seterusnya dikaji sifat struktur, morfologi permukaan, kimia dan dielektrik menggunakan pembelauan sinar-X (XRD), spektroskopi transformasi Fourier inframerah (FTIR), mikroskop daya atom (AFM) dan LCR spektrometer. Antena GPS yang dihasilkan dikaji kecekapannya dengan menggunakan penganalisis rangkaian siri PNA.

PROSEDUR EKSPERIMEN

Serbuk zink asetat dihidrat ($\text{Zn}(\text{O}_2\text{CCH}_3)_2$), aluminum nitrat nonahidrat ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) dan kobalt (II) asetat tetrahidrat ($\text{Co}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) digunakan untuk menghasilkan $\text{Co}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$ melalui kaedah

sol gel. Kuantiti serbuk yang digunakan bergantung kepada nilai x . Proses sintesis ini dimulakan dengan melarutkan serbuk $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ di dalam etanol asli ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) berisi padu 60 mL di atas pemanas digital bersuhu 75°C . Seterusnya, 0.5 mL Ethylene glycol (EG) yang berfungsi sebagai agen pemangkin dimasukkan ke dalam larutan dan diikuti dengan serbuk $\text{Zn}(\text{O}_2\text{CCH}_3)_2$, $\text{Co}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dan 0.36 mL asid nitrik. Larutan ini dipanaskan sambil dikacau selama 2 jam pada suhu yang sama untuk memastikan tindak balas kimia terhasil sepenuhnya. Campuran ini seterusnya dikacau tanpa dikenakan suhu selama 4 jam untuk tujuan kestabilan larutan. Seterusnya, larutan ini dipanaskan semula pada suhu 180°C selama 0.5 jam untuk menghasilkan larutan yang likat dan stabil.

Filem nipis berstruktur nano dihasilkan melalui teknik teknik salutan putaran menggunakan larutan yang likat di atas substrak FTO. Kemudiannya, filem nipis yang dihasilkan dikeringkan selama 10 minit pada suhu 80°C di atas pemanas digital. Langkah ini diulangi sepuluh kali untuk mendapatkan ketebalan filem nipis yang baik bagi tujuan pencirian dan juga untuk membuang bahan organik. Seterusnya, lapisan filem nipis ini dikeringkan selama 1 jam di atas pemanas digital. Akhir sekali filem nipis dimasukkan ke dalam relau pembakaran untuk proses sepuh lindap pada suhu 600°C selama 1 jam. Proses sepuh lindap dilakukan untuk membebaskan kandungan air dan juga untuk membuang baki bahan organik daripada filem nipis.

Filem nipis ini seterusnya dikaji sifat struktur, morfologi permukaan, kimia dan dielektrik melalui pembelauan sinar-X (XRD) pada radiasi CuK_α , $\lambda = 1.540600 \text{ \AA}$ (XRD, Siemens D-500), spektroskopi transformasi Fourier inframerah (FTIR), mikroskop daya atom (AFM) dan LCR spektrometer. Pencirian filem nipis berstruktur nano $\text{Co}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$ dilakukan dengan menggunakan pembelauan sinar-X (XRD) pada radiasi CuK_α $\text{WL1} = 1.541 \text{ \AA}$, $\text{WL2} = 1.544 \text{ \AA}$ dan $\text{WL3} = 1.392 \text{ \AA}$ (XRD, Siemens D-500). Kajian tentang morfologi permukaan filem nipis dan sifat kimia dijalankan dengan menggunakan mikroskop daya atom (AFM, NTEGRA Prima) dan spektroskopi transformasi Fourier inframerah (FTIR). LCR spektrometer pula digunakan untuk mengukur nilai pemalar dielektrik pada frekuensi keamatan 20 Hz hingga 1 MHz pada suhu bilik. Akhir sekali, antena model difabrikasi di atas permukaan substrak FTO dengan menggunakan bahan $\text{Co}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$ dan prestasinya diukur menggunakan penganalisis rangkaian siri PNA.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

ANALISIS XRD

Struktur filem nipis $\text{Co}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$ pada kadar $x = 0.00, 0.10, 0.20$ dan 0.30 telah dikaji menggunakan pembelauan sinar-X (XRD). Rajah 1 menunjukkan corak pembelauan daripada analisis XRD filem nipis $\text{Co}_x\text{Zn}_{(1-x)}$

Al_2O_3 yang disepuhlandap pada suhu 600°C selama 1 jam. Corak pembelauan XRD dijalankan dalam sudut 2θ antara 20° hingga 60° . Dua struktur spinel ZnAl_2O_4 dan CoAl_2O_4 terbentuk apabila ZnAl_2O_4 didopan dengan Co pada kadar kepekatan bahan dopan x yang berbeza. Ini menunjukkan bahawa hanya satu larutan pepejal terhasil apabila dua bahan ini disintesis. Corak pembelauan juga tidak menunjukkan sebarang pembentukan fasa baru selain daripada struktur spinel $\text{Zn/CoAl}_2\text{O}_4$ walaupun kepekatan x berbeza dikenakan. Corak belauan yang terhasil adalah sepadan dengan fail pangkalan data JCPDS No: 00-005-0669 (ZnAl_2O_4) dan JCPDS No: 00-044-0160 (CoAl_2O_4). Kajian oleh penyelidik terdahulu melalui kaedah pelopor polimerik (Souza et al. 2009) dan kaedah laluan sintetik berasaskan kanji. (Visinescu et al. 2010), telah memperolehi struktur spinel $\text{Zn/CoAl}_2\text{O}_4$ apabila kedua-dua bahan ini didopan. Penghasilan struktur spinel ZnAl_2O_4 dan CoAl_2O_4 pada suhu di bawah 700°C melalui kaedah sol gel menunjukkan kaedah ini mempunyai kelebihan daripada segi suhu sepuhlandap yang rendah berbanding kaedah lain. Kajian terdahulu oleh Tsai et al. (2012) bagi menghasilkan struktur CoAl_2O_4 melalui kaedah proses tindak balas pensinteran memerlukan bahan dirawat pada suhu 1475 hingga 1500°C selama 2 hingga 6 jam. Pembentukan puncak ZnAl_2O_4 pula adalah sepadan dengan penemuan oleh Abdullah et al. (2014) dan Jalal et al. 2014a.

Analisis XRD juga menunjukkan struktur jenis muka kubus berpusat (fcc) bagi kedua-dua fasa telah terbentuk. Corak semua puncak pembelauan yang diindekskan kepada satah Indeks Miller dan sepadan dengan bentuk fcc. Puncak yang muncul telah diindekskan kepada satah Indeks Miller (220), (311), (400), (331), (422) dan (511), masing-masing pada sudut 31.57° , 36.28° , 44.80° , 49.07° , 55.65° dan 59.30° untuk kedua-dua fasa ZnAl_2O_4 dan CoAl_2O_4 (Abdullah et al. 2015; Jalal et al. 2014b). Kajian oleh de Souza et al. (2009) melalui kaedah pelopor polimerik juga mendapati keamatan puncaknya menurun semasa menghasilkan pigmen biru. Ini menunjukkan gabungan bahan ZnAl_2O_4 dengan Co memberi kesan kepada saiz hablur.

Selain itu, analisis juga menunjukkan anjakan puncak ke arah sudut yang lebih rendah (kiri) berlaku seiring dengan pertambahan x semasa pembentukan CoAl_2O_4 (Rajah 1). Anjakan ini berlaku disebabkan oleh ketidaksamaan jejari ionik Co^{2+} dan Zn^{2+} (Chen 2011; Huang et al. 2010). Kajian oleh Ivill et al. (2008) mendapati jejari ionik Co^{2+} (0.58 nm) adalah lebih kecil daripada jejari Zn^{2+} (0.74 nm) (Park et al. 2012). Anjakan ke arah sudut yang lebih rendah akan menyebabkan peningkatan pada parameter isi padu sel kerana jumlah sel yang lebih besar meresap masuk ke dalam ZnAl_2O_4 untuk membentuk larutan pepejal (Lei et al. 2009).

Pembelauan sinar-X juga digunakan untuk mengira saiz hablur (D), parameter kekisi (a) dan ketumpatan ketara bahan $\text{Ca}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$. Saiz hablur (D) dikira daripada puncak utama (311) menggunakan persamaan *Scheerer* (Tian et al. 2009), iaitu:

$$D = \frac{0.94\lambda}{B\cos\theta}, \quad (1)$$

dengan λ ialah panjang gelombang sinar-X (0.15418 nm); B ialah FWHM (*full width half maximum*); dan θ ialah sudut pembelauan *Bragg* pada hkl dominan.

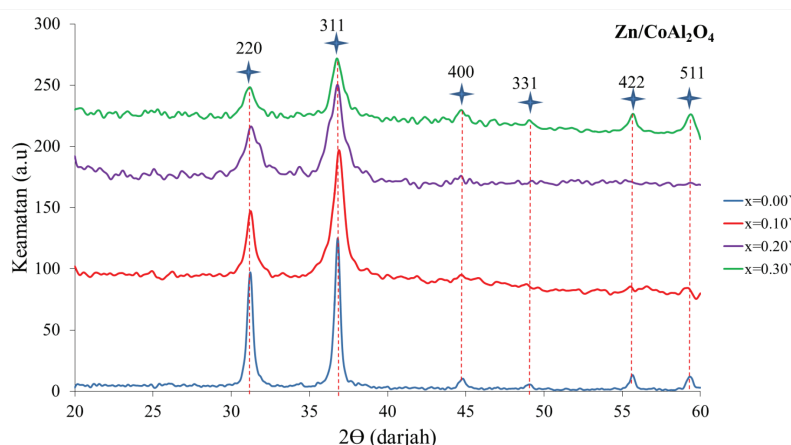
Parameter kekisi (a) pula dikira daripada puncak utama (311) menggunakan formula struktur spinel fcc seperti berikut (Ianoş et al. 2012):

$$a = d_{\text{hkl}}(h^2 + k^2 + l^2), \quad (2)$$

dengan d ialah jarak antara satah; dan hkl ialah indeks Miller pada puncak (311).

Pengiraan ketumpatan ketara dilakukan melalui kaedah Archimedes dengan menggunakan data daripada XRD, iaitu dengan menggunakan persamaan (Iqbal et al. 2011):

$$\rho = \frac{W_c Z}{V_c M_A}, \quad (3)$$



RAJAH 1. Spektrum corak pembelauan sinar-X filem nipis $\text{CO}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$ pada suhu 600°C

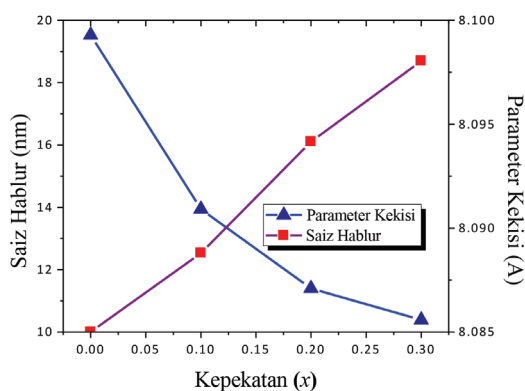
dengan W_a ialah jisim molar atom (183.34 g/mol untuk $ZnAl_2O_4$); Z ialah bilangan molekul dalam unit sel ($Z = 8$ untuk spinel); V_c ialah parameter unit sel (\AA^3); dan N_A ialah nombor Avogadro (0.6022).

Jadual 1 menunjukkan data saiz hablur (D), parameter kekisi (a) dan ketumpatan ketara filem nipis yang diperoleh daripada analisis XRD. Saiz hablur dan ketumpatan bahan semakin berkurangan apabila kepekatan Co bertambah, iaitu masing-masing daripada 19.52 kepada 10.39 nm dan 4.609 kepada 4.585 g/cm³. Nilai a telah meningkat seiring peningkatan kepekatan Co (8.085 kepada 8.098 \AA). Peningkatan nilai a adalah dijangkakan kerana berlakunya anjakan puncak ke arah sudut yang lebih kecil. Selain itu, nilai teori parameter kekisi bagi $CoAl_2O_4$ (8.106 \AA) (Torkian et al. 2013) adalah lebih besar daripada $ZnAl_2O_4$ (8.05 \AA) (de Souza et al. 2009). Nilai parameter kekisi yang diperoleh bagi bahan $ZnAl_2O_4$ pula berada di dalam julat kajian terdahulu oleh Souza et al. (2009) dan Zawadzki et al. (2009) iaitu antara 8.083 hingga 8.095 \AA . Nilai parameter kekisi bagi $ZnAl_2O_4$ yang diperoleh juga bersamaan dengan nilai teori iaitu 8.050 \AA dan nilai daripada fail JCPDS (00-005-0669) iaitu 8.0848 \AA .

Rajah 2 menunjukkan hubungan berlawanan antara D dan a berbanding dengan kepekatan bahan Co. Ini membuktikan bahawa, tiada sebarang pembentukan fasa sekunder yang menghalang pertumbuhan butiran $Co_xZn_{(1-x)}Al_2O_4$ di sempadan butiran yang boleh menjejaskan penurunan saiz hablur (Kumar et al. 2012; Peng et al. 2011).

JADUAL 1. Saiz kehabluran, parameter kekisi dan ketumpatan ketara filem nipis $Co_xZn_{(1-x)}Al_2O_4$

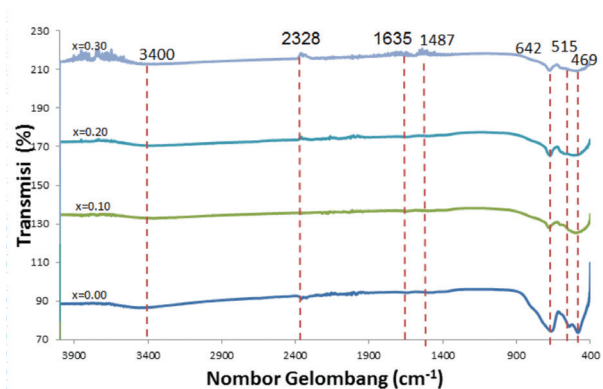
Kadar kenaikan dopan x	Saiz kehabluran (nm)	Parameter kekisi (\AA)	Ketumpatan ketara (g/cm ³)
0.00	19.52	8.0848	4.609
0.10	13.94	8.0892	4.601
0.20	11.39	8.0923	4.596
0.30	10.39	8.0988	4.585



RAJAH 2. Hubungan antara saiz hablur dan parameter kekisi filem nipis $Co_xZn_{(1-x)}Al_2O_4$

ANALISIS FTIR

Rajah 3 menunjukkan spektrum FTIR yang digunakan untuk menganalisis ikatan kimia filem nipis $Co_xZn_{(1-x)}Al_2O_4$ dalam julat 400 hingga 4000 cm^{-1} . Spektrum yang terhasil menunjukkan pembentukan puncak yang luas pada 3400-3900 cm^{-1} dan 1635-2328 cm^{-1} . Pembentukan puncak yang luas antara 3400-3780 cm^{-1} merujuk kepada getaran regangan kumpulan O-H yang disebabkan oleh kandungan air dalam hablur dan berlaku pada semua sampel. Puncak luas yang terbentuk antara 1635-2328 cm^{-1} pula merujuk kepada perubahan bentuk getaran molekul air. Puncak pada nombor gelombang 2328 cm^{-1} disebabkan oleh kehadiran ikatan oksigen dalam fcc atom oksigen. Kehadiran puncak 2328 cm^{-1} ini terjadi dalam semua struktur spinel dan merupakan corak biasa bagi hablur berstruktur spinel (Jamal et al. 2011). Namun begitu, penurunan keamatan pada puncak 2328 cm^{-1} berlaku apabila kadar dopan Co dinaikkan yang disebabkan oleh perubahan struktur spinel $ZnAl_2O_4$ kepada $CoAl_2O_4$. Penurunan keamatan puncak 2328 cm^{-1} dalam analisis FTIR adalah selari dengan penurunan puncak XRD susulan daripada perubahan struktur spinel $ZnAl_2O_4$ kepada $CoAl_2O_4$. Namun begitu, penggantian bahan Co pada tempat Zn di kedudukan tetrahedron di dalam sebatian $ZnAl_2O_4$ masih mengekalkan struktur spinel $Co/ZnAl_2O_4$. Puncak yang terbentuk pada 1610 cm^{-1} pula adalah berkaitan dengan mod lenturan air (El All et al. 2007; Kurajica et al. 2011). Selain itu, semua sampel yang dianalisis menunjukkan pembentukan puncak pada 1487 cm^{-1} yang merujuk kepada regangan getaran Al-O yang mengesahkan kehadiran air (Chandradass &



RAJAH 3. Spektrum infra merah filem nipis $Co_xZn_{(1-x)}Al_2O_4$

Balasubramanian 2005; Chroma et al. 2005; El All et al. 2007).

Analisis seterusnya mendapati terdapat tiga puncak yang terhasil pada spektrum antara $400\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$ iaitu pada 469 , 515 dan 642 cm^{-1} dikaitkan dengan regangan struktur spinel (de Souza et al. 2009; Jamal et al. 2011). Kajian oleh de Souza et al. (2009) dan Dhak dan Pramanik (2006) mendapati regangan struktur spinel yang berlaku pada puncak tersebut adalah disebabkan oleh getaran aluminium-oksigen (AO), logam-oksigen (MO) dan logam-oksigen aluminium (MOA). Secara khususnya, kemunculan puncak 469 , 515 dan 642 cm^{-1} berkait rapat dengan getaran bahan ZnO_4 , CoO_4 dan AlO_6 (Chen et al. 2002). Puncak tersebut terbentuk pada semua sampel dan membentuk struktur spinel (Beier et al. 2009). Analisis ini adalah selari dengan kajian oleh Kim et al. (2004) yang mendapati pembentukan kumpulan AlO_6 berlaku pada puncak sekitar 670 cm^{-1} dan pembentukan spinel pada 469 cm^{-1} .

ANALISIS AFM

Rajah 4 menunjukkan imej AFM yang diperoleh bagi filem nipis $\text{Co}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$. Analisis menunjukkan purata kekasaran permukaan semua sampel filem nipis adalah dalam nanometer (nm). Purata kekasaran permukaan bagi sampel yang didopkan dengan Co menunjukkan penurunan berbanding sampel ZnAl_2O_4 tulen. Nilai purata kekasaran permukaan filem nipis adalah daripada 30.21 nm ($x=0.00$), 25.04 nm ($x=0.10$), 17.64 nm ($x=0.220$) dan 14.83 nm ($x=0.30$). Purata kekasaran permukaan yang tinggi pada ZnAl_2O_4 tulen menunjukkan morfologinya lebih kasar disebabkan saiz hablurnya adalah lebih besar

berbanding saiz CoAl_2O_4 . Analisis ini menunjukkan bahawa penurunan kekasaran permukaan filem nipis adalah selari dengan saiz hablur yang juga semakin berkurangan seperti dalam analisis XRD (Wan Jalal et al. 2013). Zhang et al. (2005) pula menyatakan bahawa penurunan kekasaran permukaan boleh menyebabkan ketumpatan ketara dan ϵ_r yang lebih rendah.

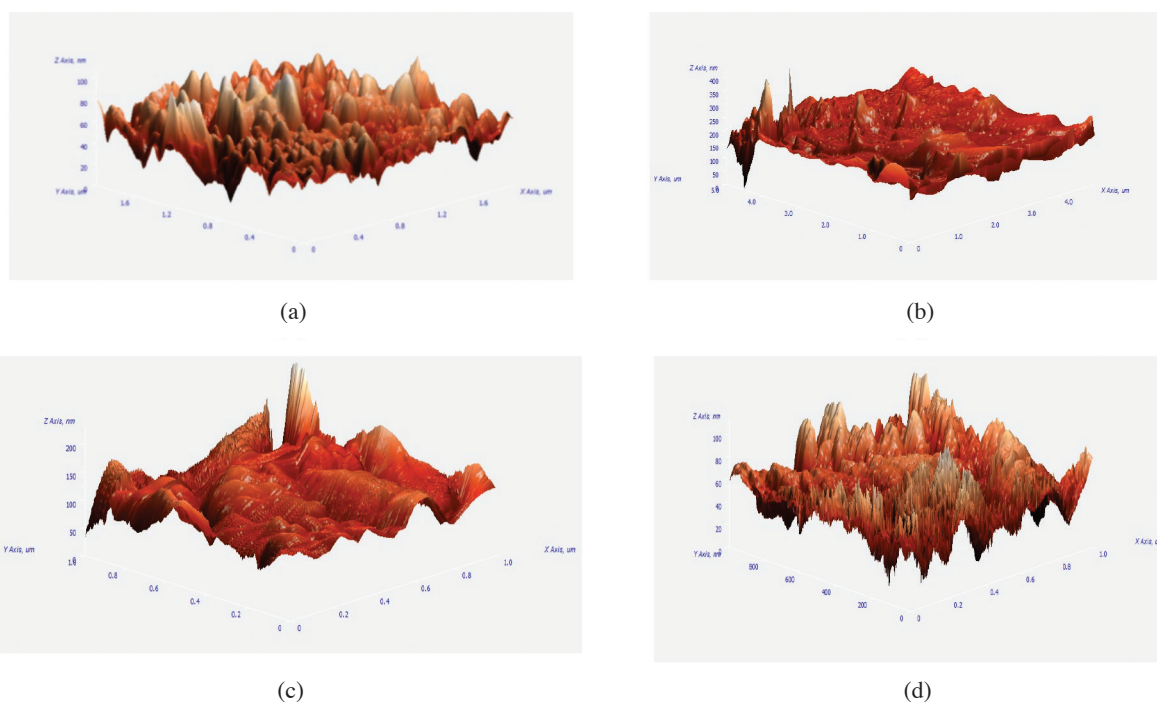
ANALISIS DIELEKTRIK

LCR spektrometer digunakan untuk mengukur nilai kekuatan sebuah pemuat (C) yang terdapat pada filem nipis $\text{Co}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$ yang disepuhlandap pada suhu 600°C . Pengukuran dilakukan pada frekuensi kenaaan antara 20 Hz hingga ke 1 MHz pada suhu bilik. Nilai C yang diperoleh digunakan dalam persamaan berikut ini untuk mendapatkan nilai ϵ_r (Jamal et al. 2011; Tareev 1975):

$$\epsilon_r = Cd / \epsilon_o A, \quad (4)$$

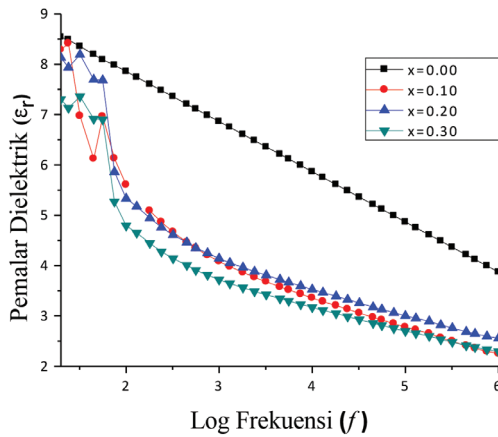
dengan ϵ_r ialah pemalar (ketelusan) dielektrik bahagian nyata; C adalah nilai kekuatan sebuah pemuat yang diperoleh apabila bahan MDC diletakkan antara 2 plat logam; d ialah ketebalan sampel, ϵ_o adalah nilai ketelusan pada ruang bebas ($8.85 \times 10^{-12}\text{ F.m}^{-1}$); dan A ialah keluasan keratan rentas sampel.

Nilai ϵ_r dan hubungan dengan frekuensi kenaaan (f) filem nipis $\text{Co}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$ ditunjukkan dalam Rajah 5. Graf ini diplotkan sebagai graf semi log bagi frekuensi (f) pada paksi- x dan nilai ϵ_r pada paksi- y . Analisis menunjukkan nilai ϵ_r yang diperoleh semakin berkurangan dengan setiap kenaikan frekuensi kenaaan. Penurunan ini disebabkan oleh



RAJAH 4. Imej AFM untuk filem nipis $\text{Co}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$ yang disepuhlandap pada suhu 600°C ; (a) $x=0.00$, (b) $x=0.10$, (c) $x=0.20$ dan (d) $x=0.30$

berlakunya pengutuban antara muka oleh ketidaksemaan struktur bahan yang telah diperjelaskan melalui teori fenomenologi Koop's (Koops 1951) dan model Maxwell-Wagner (Wagner 1913). Penurunan dalam nilai ϵ_r telah menjadi perlahan apabila frekuensi keaan >100 KHz. Ini kerana pengutuban yang berlaku semakin berkurangan disebabkan kegagalan dwikutub untuk mengikuti perubahan medan dielektrik pada frekuensi >100 KHz dan seterusnya menghasilkan nilai malar (Iqbal et al. 2011).

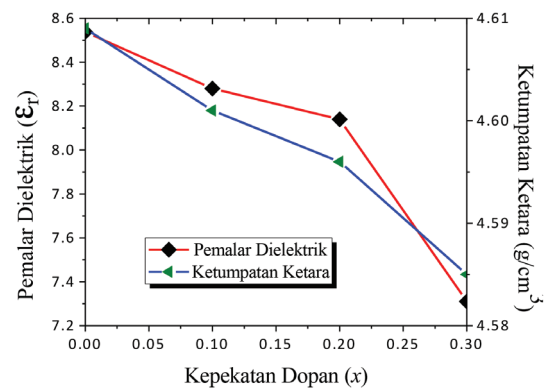


RAJAH 5. Pemalar dielektrik (ϵ_r) filem nipis $\text{Co}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$

Analisis menunjukkan nilai ϵ_r menurun apabila kadar bahan dopan x ditingkatkan, iaitu daripada 8.53 ($x = 0.00$), 8.29 ($x = 0.10$), 8.13 ($x = 0.20$) dan 7.31 ($x = 0.30$). Nilai ϵ_r bagi ZnAl_2O_4 tulen adalah selari dengan kajian terdahulu iaitu sekitar 8.5 (Abdullah et al. 2015; Surendran et al. 2004; Wan Jalal et al. 2014). Penurunan ini telah dijangkakan, ekoran daripada penurunan dalam saiz hablur dan kekasaran permukaan seperti dalam analisis XRD dan AFM. Selain itu, penurunan ϵ_r juga berlaku disebabkan oleh lapisan mati antara muka butiran dan sisa strain akibat daripada ketidaksesuaian kekisi atau pekali pengembangan haba yang berbeza (Iqbal et al. 2011). Penurunan nilai ϵ_r adalah selari dengan kajian oleh Tsai et al. (2012) semasa menghasilkan gelombang mikro spinel $\text{MgAl}_2\text{O}_4\text{-CoAl}_2\text{O}_4$ ($\text{Mg}_{1-x}\text{Co}_x\text{Al}_2\text{O}_4$) dan beliau mendapati nilai ϵ_r pada kadar bahan dopan $x = 1.0$ ialah 7.15 (CoAl_2O_4). Kajian oleh Tsai et al. (2012) ini membuktikan bahawa pertambahan kuantiti bahan Co telah mengurangkan nilai ϵ_r . Sementara itu, kajian oleh Ummartyotin et al. (2013) pula mendapati nilai ϵ_r bagi CoAl_2O_4 adalah sekitar 500 pada frekuensi keaan 1MHz. Nilai $\epsilon_r \sim 500$ tidak boleh digambarkan sebagai nilai sebenar ϵ_r bagi CoAl_2O_4 kerana bacaan diperoleh pada frekuensi keaan yang terlalu tinggi. Walau bagaimanapun, nilai ϵ_r yang lebih rendah diperoleh dalam kajian ini boleh mengurangkan gandingan silang dengan konduktor dan juga mengurangkan masa peralihan isyarat elektronik (Huang et al. 2009; Tsai et al. 2012).

Nilai ϵ_r dan ketumpatan ketara filem nipis $\text{Co}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$ berbanding kadar bahan dopan Co ditunjukkan dalam Rajah 6. Hubungan antara nilai ϵ_r dan kandungan

Co menunjukkan aliran yang sama antara ketumpatan ketara dan kandungan Co. Apabila nilai x dinaikkan, nilai ϵ_r dan ketumpatan ketara telah menurun. Penurunan nilai ϵ_r bahan seramik dielektrik disebabkan oleh penurunan nilai ketumpatan ketara (Chen 2011; Jalal et al. 2015). Penurunan nilai ketumpatan ketara pula disebabkan oleh keluasan liang antara butiran meningkat dan seterusnya mengurangkan nilai ϵ_r . Faktor lain yang boleh menjejaskan ketumpatan ketara adalah keadaan rawatan haba, saiz butiran, susun atur butiran dan kecacatan parameter (Chen 2011). Fenomena yang juga berlaku ini juga ada kaitan dengan persamaan Clausius-Mosotti dan kaedah penyediaan dopan (Lei et al. 2011).



RAJAH 6. Nilai ϵ_r dan ketumpatan ketara filem nipis $\text{Co}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$ berbanding kadar bahan dopan

KAJIAN FABRIKASI GPS ANTENA

Antena GPS telah difabrikasi menggunakan sampel $\text{Co}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$ berdasarkan ϵ_r yang diperoleh. Pengiraan saiz model antena GPS yang dibangunkan adalah berdasarkan teori gelombang mikro (Balanis 2005). Pengiraan saiz antena adalah khusus untuk mendapatkan saiz tampalan yang akan digunakan. Pada dasarnya saiz antena melibatkan parameter asas seperti lebar (W), panjang (L) dan frekuensi resonan (f_0) GPS. Frekuensi resonan bagi antena ini telah ditetapkan pada 1.575 GHz. Oleh yang demikian, penentuan akhir saiz antena bergantung kepada panjang (L) dan lebar (W). Sankaralingam dan Gupta (2010) pula menyatakan lebar (W) tampalan hanya mempunyai kesan kecil terhadap frekuensi resonan, tetapi mempunyai kesan terhadap prestasi kuasa, galangan dan lebar jalur antena yang ingin dihasilkan. Parameter W diperoleh dengan menggunakan formula berikut (Balanis 2005):

$$W = C \frac{\sqrt{2/(\epsilon_r + 1)}}{2f_0}, \quad (5)$$

dengan C adalah kelajuan cahaya dalam ruang bebas ($3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$); dan ϵ_r ialah pemalar dielektrik bahan. Parameter L pula dianggap sebagai satu parameter penting dalam reka bentuk antena kerana boleh mempengaruhi

frekuensi resonan (f_o) dan menyebabkan terhasilnya lebar jalur sempit. Nilai ini dikira melalui (6) (Balanis 2005):

$$L = \frac{C}{2f_o\sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta L. \quad (6)$$

Dalam (6), parameter L dipengaruhi oleh pemalar dielektrik relatif berkesan (ϵ_r) dan panjang garisan tambahan (ΔL) yang terletak pada kedua-dua hujung tampalan. ϵ_{eff} terhasil disebabkan oleh tampalan mikrojalur yang terletak antara udara dan pemalar dielektrik, manakala ΔL pula disebabkan oleh kesan medan pinggiran (Lo & Lee 1993). Nilai ϵ_{eff} dan ΔL dikira melalui persamaan berikut (Lo & Lee 1993):

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2\sqrt{(1+10h/w)}}, \quad (7)$$

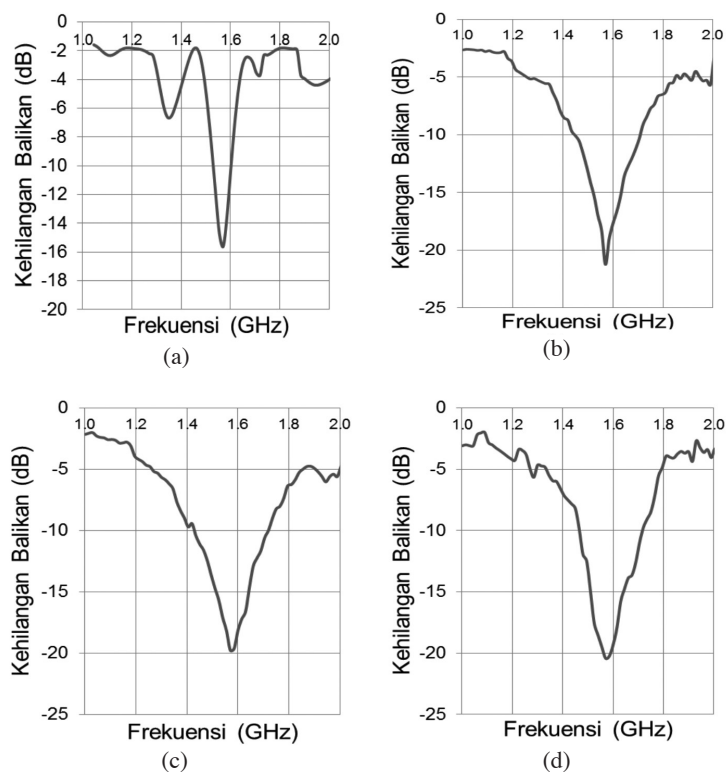
$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3)(\frac{w}{h} + 0.262)}{(\epsilon_{eff} - 0.258)(\frac{w}{h} + 0.813)}, \quad (8)$$

dengan h ialah ketinggian substrat.

Analisis mendapati antenna yang difabrikasi menggunakan bahan $\text{Co}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$ telah menyebabkan saiz antenna bertambah disebabkan nilai ϵ_r yang semakin mengecil. Saiz antenna ($L \times W$) yang dihasilkan adalah

12.51 cm² ($x=0.00$), 12.91 cm² ($x=0.10$), 13.16 cm² ($x=0.20$) dan 14.62 cm² ($x=0.30$). Analisis ini dapat merumuskan bahawa, saiz antenna berkadar songsang dengan nilai ϵ_r yang diperoleh dan merupakan faktor terpenting dalam menentukan saiz antenna. Model antenna GPS telah direka dan dibentuk di atas permukaan substrak FTO. Permukaan GPS antenna tampal disalut dengan perak setebal 200 nm untuk meningkatkan sentuhan ohm menggunakan teknik magnetron pemercikan (Abdullah et al. 2014; Jalal et al. 2014a). Satah bumi substrat antenna juga disaluti dengan perak menggunakan pemercikan magnetron dengan ketebalan 200 nm. Wee et al. (2011) pada dua-dua permukaan antenna tata susunan dibuat daripada seramik barium strontium titanat (BST) juga disalut dengan cat konduktif perak untuk meningkatkan sentuhan ohm. Suapan tunggal penyambung sepaksi SMA telah disambungkan ke dalam model antenna tampal melalui suapan tunggal menggunakan teknik pematerian.

Rajah 7 menunjukkan frekuensi operasi dan kehilangan balikan GPS antenna yang dibangunkan dengan menggunakan sampel $\text{Co}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$. Pengukuran mendapati semua antenna beroperasi pada 1.570 GHz. Ini menunjukkan terdapat sedikit sisihan iaitu 0.32% antara pengukuran (1.570 GHz) dan frekuensi resonan (1.575 GHz) yang disebabkan oleh had-terima semasa proses fabrikasi. Frekuensi operasi yang diukur mendapati, semua antenna yang telah dibangunkan mencapai kehilangan balikan < -10 dB. Kehilangan balikan < -10 dB diperlukan



RAJAH 7. Frekuensi operasi dan kehilangan balikan antenna GPS bagi sampel $\text{Co}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$; (a) $x = 0.00$, (b) $x = 0.10$, (c) $x = 0.20$ dan (d) $x = 0.30$

JADUAL 2. Perbandingan Antena GPS dari segi prestasi dan kaedah

Bahan	Kehilangan balikan (dB)	Lebar jalur (MHz)	Kaedah
$(1-x)(0.79\text{ZnAl}_2\text{O}_4-0.21\text{Mg}_2\text{TiO}_4)-x\text{SrTiO}_3$	-12.5	50	keadaan pepejal (Wang et al. 2009)
$0.75\text{ZnAl}_2\text{O}_4-0.25\text{TiO}_2-\text{MgTiO}_3$	-30.0	50	<i>aqueous gelcasting</i> (Wu et al. 2011)
$\text{Co}_{0.10}\text{Zn}_{0.90}\text{Al}_2\text{O}_4$	-21.2	280	sol gel (kajian ini)
$\text{Co}_{0.20}\text{Zn}_{0.80}\text{Al}_2\text{O}_4$	-19.8	315	sol gel (kajian ini)
$\text{Co}_{0.30}\text{Zn}_{0.70}\text{Al}_2\text{O}_4$	-20.4	255	sol gel (kajian ini)

untuk memastikan antena berfungsi secara berkesan untuk aplikasi GPS (Li et al. 2007). Nilai kehilangan balikan dan lebar jalur bagi GPS antena yang menggunakan sampel ZnAl_2O_4 adalah -15.6 dB dan 80 MHz. Pengukuran sampel $\text{Co}_{0.10}\text{Zn}_{0.90}\text{Al}_2\text{O}_4$, $\text{Co}_{0.20}\text{Zn}_{0.80}\text{Al}_2\text{O}_4$ dan $\text{Co}_{0.30}\text{Zn}_{0.70}\text{Al}_2\text{O}_4$ memberikan kehilangan balik sebanyak -21.2, -19.8 dan -20.4 dB, manakala lebar jalurnya pula adalah 280, 315 dan 255 MHz. Analisis ini menunjukkan bahawa, walaupun saiz antena semakin bertambah, namun nilai kehilangan balikan dan lebar jalurnya adalah lebih baik berbanding antena yang dihasilkan menggunakan sampel ZnAl_2O_4 tulen. Pendapat ini disokong oleh Sotoudeh et al. (2009), yang melaporkan antena dengan lebar jalur yang lebih besar daripada spesifikasi GPS minimum > 2.046 MHz dapat memastikan kefungsi penuh antena. Analisis ini dapat dirumuskan bahawa kobalt merupakan bahan dopan berkesan untuk didopkan dengan ZnAl_2O_4 bagi menghasilkan GPS antena.

Analisis seterusnya menunjukkan GPS antena yang difabrikasi menggunakan bahan $\text{Co}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$ menunjukkan prestasi yang lebih baik daripada segi lebar jalur. Jadual 2 menunjukkan perbandingan antara GPS antena yang difabrikasi menggunakan $\text{Co}_{0.10}\text{Zn}_{0.90}\text{Al}_2\text{O}_4$, $\text{Co}_{0.20}\text{Zn}_{0.80}\text{Al}_2\text{O}_4$ dan $\text{Co}_{0.30}\text{Zn}_{0.70}\text{Al}_2\text{O}_4$ dalam kajian ini dengan GPS antena yang telah difabrikasi dengan menggunakan bahan $(1-x)(0.79\text{ZnAl}_2\text{O}_4-0.21\text{Mg}_2\text{TiO}_4)-x\text{SrTiO}_3$ (Wang et al. 2009) dan $0.75\text{ZnAl}_2\text{O}_4-0.25\text{TiO}_2-\text{MgTiO}_3$ (Wu et al. 2011). Kajian ini juga membuktikan bahawa kaedah sol gel yang berkos rendah boleh digunakan untuk menghasilkan antena GPS yang boleh beroperasi melebihi keperluan minimum antena.

KESIMPULAN

Filem nipis berstruktur nano $\text{Co}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$ telah disintesis menggunakan kaedah sol gel. Corak XRD yang diperolehi mengesahkan bahawa formasi berstruktur spinel ZnAl_2O_4 dan CoAl_2O_4 telah terbentuk. Penggantian tempat Zn dengan Co di dalam kerangka ZnAl_2O_4 telah menyebabkan saiz hablur, kekasaran permukaan dan ketumpatan bahan telah menurun, manakala parameter kekisi pula meningkat. Perubahan yang berlaku ini telah menyebabkan nilai pemalar dielektrik (ϵ_r) juga telah berubah daripada 8.53 kepada 7.31. Penurunan nilai ϵ_r telah menyebabkan saiz antena semakin bertambah berbanding antena yang difabrikasi menggunakan sampel ZnAl_2O_4 tulen. Namun

begitu, pengukuran GPS antena menggunakan penganalisis rangkaian siri PNA pada frekuensi keaan 1-2 GHz, menunjukkan antena yang difabrikasi menggunakan sampel yang didopkan dengan bahan Co memberikan prestasi yang lebih baik berbanding penggunaan sampel ZnAl_2O_4 tulen. Semua antena yang dihasilkan telah beroperasi frekuensi 1.570 GHz. Ini menunjukkan terdapat sedikit sisihan iaitu 0.32% antara pengukuran (1.570 GHz) dan frekuensi resonan (1.575 GHz) yang disebabkan oleh had-terima semasa proses fabrikasi. Secara keseluruhannya, kerugian pulangan dan lebar jalur pada frekuensi 1.57 GHz memberikan nilai antara -15.6 hingga -21.2 dB dan 80 hingga 315 MHz. Analisis seterusnya juga mendapati kesemua antena yang telah difabrikasi memenuhi keperluan untuk beroperasi pada aplikasi GPS. Oleh yang demikian, dapat disimpulkan bahawa bahan $\text{Co}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$ berstruktur nano boleh digunakan sebagai bahan alternatif untuk fabrikasi antena GPS.

PENGHARGAAN

Kajian ini telah dilakukan di Institut Kejuruteraan Mikro dan Nanoteknologi (IMEN), Universiti Kebangsaan Malaysia di bawah geran penyelidikan FRGS/2/2013/TK06/UKM/02/3 dan ERGS/1/2012/STG05/UKM/02/5.

RUJUKAN

- Abdelaziz, A.A. & Nashaat, D.M. 2007. Compact GPS microstrip patch antenna. *MILCOM*, Orlando, Florida, 29-31 October.
- Abdullah, H., Jalal, W., Zulfakar, M., Islam, M., Bais, B. & Shaari, S. 2015. Characterization of $\text{Ti}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$ thin films by sol-gel method for GPS patch antennae. *Journal of the Korean Physical Society* 66(1): 41-45.
- Abdullah, H., Jalal, W. & Zulfakar, M. 2014. Miniaturization of GPS patch antennas based on novel dielectric ceramics $\text{Zn}_{(1-x)}\text{Mg}_x\text{Al}_2\text{O}_4$ by sol-gel method. *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 69(2): 429-440.
- Abdullah, H., Zulfakar, M.S., Jalal, W.N.W., Islam, M.T. & Shaari, S. 2014. Synthesis and fabrication of $(1-x)\text{ZnAl}_2\text{O}_4-x\text{SiO}_2$ thin films to be applied as patch antennas. *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 69(1): 183-192.
- Balanis, C.A. 2005. *Antenna Theory Analysis and Design*. 3rd. ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Beier, M.J., Hansen, T.W. & Grunwaldt, J.D. 2009. Selective liquid-phase oxidation of alcohols catalyzed by a silver-based catalyst promoted by the presence of Ceria. *Journal of Catalysis* 266(2): 320-330.

- Bian, J., Wang, L. & Yuan, L. 2009. Microwave dielectric properties of $\text{Li}_2\text{XTi}_{1-4x}\text{Nb}_3\text{O}_3$ ($0 \leq X \leq 0.1$). *Materials Science and Engineering: B* 164(2): 96-100.
- Bian, J.J., Yan, K. & Dong, Y.F. 2008. Microwave dielectric properties of $\text{A}_{1-3x/2}\text{La}_x(\text{Mg}_{1/2}\text{W}_{1/2})\text{O}_3$ ($a = \text{Ba, Sr, Ca}$; $0.0 \leq X \leq 0.05$) double Perovskites. *Materials Science and Engineering: B* 147(1): 27-34.
- Breed, G. 2009. The fundamentals of patch antenna design and performance. *High Frequency Electronics* 8(3): 48-52.
- Chandradass, J. & Balasubramanian, M. 2005. Sol-gel processing of alumina-zirconia minispheres. *Ceramics International* 31(5): 743-748.
- Chen, Y.C. 2011. Microwave dielectric properties of $(\text{Mg}(1-X)\text{Co}_x)_2\text{SnO}_4$ ceramics for application in dual-band inverted-E-shaped monopole antenna. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control* 58(12): 2531-2538.
- Chen, Z., Shi, E., Li, W., Zheng, Y. & Zhong, W. 2002. Hydrothermal synthesis and optical property of nano-sized coal 2O4 pigment. *Materials Letters* 55(5): 281-284.
- Chroma, M., Pinkas, J., Pakutinskiene, I., Beganskiene, A. & Kareiva, A. 2005. Processing and characterization of sol-gel fabricated mixed metal aluminates. *Ceramics International* 31(8): 1123-1130.
- de Souza, L.K.C., Zamian, J.R., da Rocha Filho, G.N., Soledade, L.E.B., Dos Santos, I.M.G., Souza, A.G., Scheller, T., Angélica, R.S. & Da Costa, C.E.F. 2009. Blue pigments based on $\text{Co}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$ spinels synthesized by the polymeric precursor method. *Dyes and Pigments* 81(3): 187-192.
- Dhak, D. & Pramanik, P. 2006. Particle size comparison of soft-chemically prepared transition metal (Co, Ni, Cu, Zn) aluminate spinels. *Journal of the American Ceramic Society* 89(3): 1014-1021.
- El All, S.A., Fawzy, Y. & Radwan, R. 2007. Study on the structure and electrical behaviour of zinc aluminate ceramics irradiated with gamma radiation. *Journal of Physics D: Applied Physics* 40(18): 5707.
- Huang, C.L., Chen, J.Y. & Tseng, Y.W. 2010. High-dielectric-constant and low-loss microwave dielectric in the $\text{Ca}(\text{Mg}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})\text{O}_3\text{-(Ca}_{0.8}\text{Sr}_{0.2})\text{Tio}_3$ solid solution system. *Materials Science and Engineering B* 167: 142-146.
- Huang, C.L., Tseng, C.F., Yang, W.R. & Yang, T.J. 2008. High dielectric constant and low loss microwave dielectric in the $(1-X)\text{Nd}(\text{Zn}_{1/2}\text{Ti}_{1/2})\text{O}_3\text{-XsrTi}_3$ system with a zero temperature coefficient of resonant frequency. *Journal of the American Ceramic Society* 91(7): 2201-2204.
- Huang, C.L., Yang, T.J. & Huang, C.C. 2009. Low dielectric loss ceramics in the $\text{ZnAl}_2\text{O}_4\text{-TiO}_2$ system as a Tf compensator. *Journal of the American Ceramic Society* 92(1): 119-124.
- Ianoş, R., Lazău, R., Lazău, I. & Păcurariu, C. 2012. Chemical oxidation of residual carbon from ZnAl_2O_4 powders prepared by combustion synthesis. *Journal of the European Ceramic Society* 32(8): 1605-1611.
- Iqbal, M. J., Ismail, B., Rentenberger, C. & Ipsier, H. 2011. Modification of the Physical Properties of Semiconducting MgAl_2O_4 by Doping with a Binary Mixture of Co and Zn Ions. *Materials Research Bulletin* 46(12): 2271-2277.
- Ivill, M., Pearton, S., Rawal, S., Leu, L., Sadik, P., Das, R., Hebard, A., Chisholm, M., Budai, J. D. & Norton, D.P. 2008. Structure and magnetism of cobalt-doped ZnO thin films. *New Journal of Physics* 10(6): 065002.
- Jalal, W., Abdullah, H., Zulfakar, M., Islam, M., Shaari, S. & Bais, B. 2015. Synthesis and fabrication of GPS patch antennas by using $\text{Zn}_{(1-x)}\text{TiXAl}_2\text{O}_4$ thin films. *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 74(2): 566-574.
- Jalal, W., Abdullah, H., Zulfakar, M., Islam, M., Bais, B. & Shaari, S. 2014a. GPS patch antenna performance by modification of $\text{Zn}_{(1-x)}\text{Ca}_x\text{Al}_2\text{O}_4$ -based microwave dielectric ceramics. *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 71(3): 477-489.
- Jalal, W.N.W., Abdullah, H., Zulfakar, M.S., Shaari, S., Islam, M. & Bais, B. 2014b. Characteristics of nanostructured $\text{Ca}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$ thin films prepared by sol-gel method for GPS patch antennas. *Sains Malaysiana* 43(6): 833-842.
- Jamal, E., Kumar, D. & Anantharaman, M.R. 2011. On structural, optical and dielectric properties of zinc aluminate nanoparticles. *Bulletin of Materials Science* 34(2): 251-259.
- James, J.R. & Hall, P.S. 1989. *Handbook of Microstrip Antennas*. London: P. Peregrinus.
- Koops, C.G. 1951. On the dispersion of resistivity and dielectric constant of some semiconductors at audiofrequencies. *Physical Review* 83(1): 121-124.
- Kumar, R.T., Selvam, N.C.S., Ragupathi, C., Kennedy, L.J. & Vijaya, J.J. 2012. Synthesis, characterization and performance of porous Sr(II)-added ZnAl_2O_4 nanomaterials for optical and catalytic applications. *Powder Technology* 224: 147-154.
- Kurajica, S., Tkalčec, E., Gržeta, B., Iveković, D., Mandić, V., Popović, J. & Kranzelić, D. 2011. Evolution of structural and optical properties in the course of thermal evolution of sol-gel derived cobalt-doped Gahnite. *Journal of Alloys and Compounds* 509(7): 3223-3228.
- Lei, W., Lu, W.Z., Liu, D. & Zhu, J.H. 2009. Phase evolution and microwave dielectric properties of $(1-X)\text{ZnAl}_2\text{O}_4\text{-Xmg}_2\text{TiO}_4$ ceramics. *Journal of the American Ceramic Society* 92(1): 105-109.
- Lei, W., Lu, W.Z., Wang, X.H., Liang, F. & Wang, J. 2011. Phase composition and microwave dielectric properties of $\text{ZnAl}_2\text{O}_4\text{-Co}_2\text{TiO}_4$ low-permittivity ceramics with high quality factor. *Journal of the American Ceramic Society* 94(1): 20-23.
- Li, R., Pan, B., Laskar, J. & Tentzeris, M.M. 2007. A compact broadband planar antenna for GPS, Dcs-1800, Imt-2000, and Wlan applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters* 6: 25-27.
- Lo, Y.T. & Lee, S.W. 1993. *Antenna Handbook: Applications*. New York: Chapman & Hall.
- Park, J.H., Nahm, S. & Park, J.G. 2012. Crystal structure and microwave dielectric properties of $(1-X)\text{Zn}_{2}\text{O}_6\text{-Xti}_2\text{O}$ Ceramics. *Journal of Alloys and Compounds* 537: 221-226.
- Peng, Z., Fu, X., Ge, H., Fu, Z., Wang, C., Qi, L. & Miao, H. 2011. Effect of Pr 3+ doping on magnetic and dielectric properties of Ni-Zn ferrites by 'one-step synthesis'. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 323(20): 2513-2518.
- Sankaralingam, S. & Gupta, B. 2010. Development of textile antennas for body wearable applications and investigations on their performance under Bent conditions. *Progress In Electromagnetics Research B* 22: 53-71.
- Sotoudeh, H.H., Joseph, C., Sooseok, O., Ju-Ung, J., Noh-Joon, P. & Dae-Hee, P. 2009. Design of a high performance patch antenna for GPS communication systems. *Journal of Electrical Engineering & Technology* 4(2): 282-286.
- Souza, L.K.C.D., Zamian, J.R., Filho, G.N.D.R., Soledade, L.E.B., Santos, I.M.G.D., Souza, A.G., Scheller, T., Lica, R.M.S.A. & Costa, C.E.F.D. 2009. Blue pigments based on $\text{Co}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Al}_2\text{O}_4$ spinels synthesized by the polymeric precursor method. *Dyes and Pigments* 81: 187-192.
- Surendran, K. P., Santha, N., Mohanan, P. & Sebastian, M. T. 2004. Temperature Stable Low Loss Ceramic Dielectrics in $(1-X)\text{ZnAl}_2\text{O}_4\text{-XTiO}_2$ System for Microwave Substrate Applications. *The European Physical Journal B - Condensed Matter and Complex Systems* 41(3): 301-306.

- Tareev, B. 1975. *Physics of Dielectric Materials*. Moscow: Mir Publication.
- Tian, X., Wan, L., Pan, K., Tian, C., Fu, H. & Shi, K. 2009. Facile synthesis of mesoporous ZnAl_2O_4 thin films through the evaporation-induced self-assembly method. *Journal of Alloys and Compounds* 488(1): 320-324.
- Torkian, L., Daghighi, M. & Boorboor, Z. 2013. Simple and efficient rout for synthesis of spinel nanopigments. *Journal of Chemistry* 2013: Article ID: 694531.
- Tsai, W.C., Liou, Y.H. & Liou, Y.C. 2012. Microwave dielectric properties of MgAl_2O_4 - CoAl_2O_4 spinel compounds prepared by reaction-sintering process. *Materials Science and Engineering: B* 177(13): 1133-1137.
- Ummartyotin, S., Sangngern, S., Kaewvilai, A., Koonsaeng, N., Manuspiya, H. & Laobuthee, A. 2013. Cobalt aluminate (CoAl_2O_4) derived from Co-Al-Tea complex and its dielectric behaviors. *Journal of Sustainable Energy & Environment* 1(1): 31-37.
- Visinescu, D., Paraschiv, C., Ianculescu, A., Jurca, B., Vasile, B. & Carp, O. 2010. The environmentally benign synthesis of nanosized $\text{Co}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Al}_2\text{O}_4$ blue pigments. *Dyes and Pigments* 87(2): 125-131.
- Wagner, K.W. 1913. Zur theorie der unvollkommenen dielektrika. *Annalen der Physik* 345(5): 817-855.
- Wan Jalal, W.N., Abdullah, H. & Zulfakar, M.S. 2014. Effect of Zn site for Ca substitution on optical and microwave dielectric properties of ZnAl_2O_4 thin films by sol gel method. *Advances in Materials Science and Engineering* 2014: Article ID: 619024.
- Wan Jalal, W.N., Abdullah, H., Zulfakar, M.S., Shaari, S. & Islam, M.T. 2013. Characterization and dielectric properties of novel dielectric ceramics $\text{Ca}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Al}_2\text{O}_4$ for GPS patch antennas. *International Journal of Applied Ceramic Technology* 12(S1): E32-E42.
- Wang, X., Lei, W. & Lu, W. 2009. Novel ZnAl_2O_4 -based microwave dielectric ceramics with machinable property and its application for GPS antenna. *Ferroelectrics* 388(1): 80-87.
- Wee, F.H., Malek, M.F.B.A., Sreekantan, S., Al-Amani, A., Ghani, F. & You, K.Y. 2011. Investigation of the characteristics of barium strontium titanate (Bst) dielectric resonator ceramic loaded on array antennas. *Progress In Electromagnetics Research* 121: 181-213.
- Wu, J.M., Lu, W.Z., Lei, W. & Wang, X.C. 2011. Preparation of ZnAl_2O_4 -based microwave dielectric ceramics and GPS antenna by aqueous gelcasting. *Materials Research Bulletin* 46(9): 1485-1489.
- Zawadzki, M., Staszak, W., López Suárez, F.E., Illán Gómez, M.J. & Bueno López, A. 2009. Preparation, characterisation and catalytic performance for soot oxidation of copper-containing ZnAl_2O_4 spinels. *Applied Catalysis A: General* 371(1-2): 92-98.
- Zhang, H., Fang, L., Elsebrock, R. & Yuan, R.Z. 2005. Crystal structure and microwave dielectric properties of a new A6b5o18-Type cationDeficient Perovskite $\text{Ba}_3\text{la}_3\text{ti}_4\text{nbo}_{18}$. *Materials Chemistry and Physics* 93(2-3): 450-454.

Wan Nasarudin Wan Jalal, Huda Abdullah*, Mohd Syafiq Zulfakar & Badariah Bais
 Department of Electrical, Electronic and System Engineering
 Faculty of Engineering and Built Environment
 Universiti Kebangsaan Malaysia
 43600 Bangi, Selangor Darul Ehsan
 Malaysia

Wan Nasarudin Wan Jalal
 National Dual Training System (NDTS)
 Department of Skills Development
 Level 7 - 8, Block D4, Complex D
 Federal Government Administrative Centre
 62530 Putrajaya, Federal Territory
 Malaysia

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: huda.abdullah@ukm.edu.my

Diserahkan: 20 April 2015
 Diterima: 12 Ogos 2015