

Pencirian Plasmon-Polariton Permukaan Melalui Gandingan Parutan

W. Mahmood Mat Yunus

*Jabatan Fizik
Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar
Universiti Pertanian Malaysia
43400 UPM, Serdang, Selangor, Malaysia*

Received 26 September 1995

ABSTRAK

Mod plasmon polariton permukaan boleh diuja oleh foton dengan menggunakan gandingan parutan untuk mendapatkan tambahan momentum kepada foton yang berkaitan. Pengukuran keterpantulan optik pada jarak gelombang 632.8 nm telah dilakukan untuk tiga lapisan logam emas diatas permukaan parutan. Lapisan logam emas tersebut diendapkan dengan teknik penyejatan vakum keatas permukaan parutan pada tekanan $\sim 10^{-6}$ torr. Putaran parutan, menyebabkan lurah parutan tidak berkeadaan tegak dengan satah tuju mengakibatkan sistem tidak simetri dan terjadi pertukaran pengutuban. Pertukaran ini sangat ketara bila mod SPP teruja. Pergantungan pertukaran pengutuban ini kepada sudut tuju dan sudut azimut (sudut putaran parutan relatif kepada satah tuju) dibincangkan dengan terperinci. Pada kedudukan lurah 45° dengan satah tuju, kecekapan pertukaran pengutuban P-S adalah maksimum.

ABSTRACT

Surface plasmon polariton mode may be excited by photons using grating coupling to provide the necessary extra momentum. Reflectivity measurements at 632.8 nm were carried out on three modulated grating gold films. The gold films were deposited by vacuum evaporation on a silica grating at base pressure $\sim 10^{-6}$ torr. By rotating the grating in azimuth angle direction, where the grooves of the grating are no longer perpendicular to the plane of incidence, the symmetry of the system is broken and polarization conversion phenomenon is introduced. This conversion is strongly enhanced when SPP mode is excited. The dependence of this conversion on angle of incidence and azimuthal angle is discussed in detail. When the grooves are at about 45° to the plane of incidence, maximum conversion is observed.

Kata kunci: parutan, plasmon-polariton permukaan, keterpantulan optik, pertukaran pengutuban

PENDAHULUAN

Plasmon-polariton permukaan atau lebih dikenali dengan sebutan SPP adalah resonan permukaan yang dapat diperhatikan bila alur cahaya terkutub P disinarkan kepada satu parutan (Raether 1988). Mod SPP adalah resonan ketumpatan cas melintang pada antara muka logam dengan dielektrik, oleh itu ianya boleh digandingkan dengan alur cahaya terkutub P melalui tambahan momentum parutan (Pockrand 1976). Resonan plasmon-polariton telah dikenali pasti sensitif kepada pemalar dielektrik antaramuka dielektrik-logam. Oleh yang demikian fenomena SPP berkeupayaan dan mampu digunakan sebagai penduga dan sensor optik (Dougherty 1993; Jory *et al.* 1994). Akhir-akhir ini teori mengenai parutan telah dikembang maju dan boleh menjelaskan medan elektromagnet pada antaramuka parutan berbentuk sinusoidal dengan baik (Pockrand and Raether 1977; Chandezon *et al.* 1982). Untuk parutan yang mempunyai tempoh λ_g , resonan plasmon-polariton, θ_{SPP} , boleh ditulis sebagai

$$k_{SPP} = k_0 \sin \theta_{SPP} \pm mk_g \quad (1)$$

$$m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

k_{SPP} dan k_0 adalah komponen vektor plasmon-polariton permukaan dan vektor gelombang foton dalam ruang bebas. m ialah angka genap dan k_g disebut vektor parutan dan ditulis sebagai, $k_g = 2\pi/\lambda_g$.

Teori parutan boleh dibandingkan dengan data ujikaji untuk menentukan profil dan pemalar dielektrik parutan yang berkaitan. Bryan-Brown *et al.* (1993) telah menggunakan fungsi empirikal

$$f(x) = h \left[\left(\frac{\sin(k_g x + 1)}{2} \right)^\gamma - \frac{1}{2} \right] \quad (2)$$

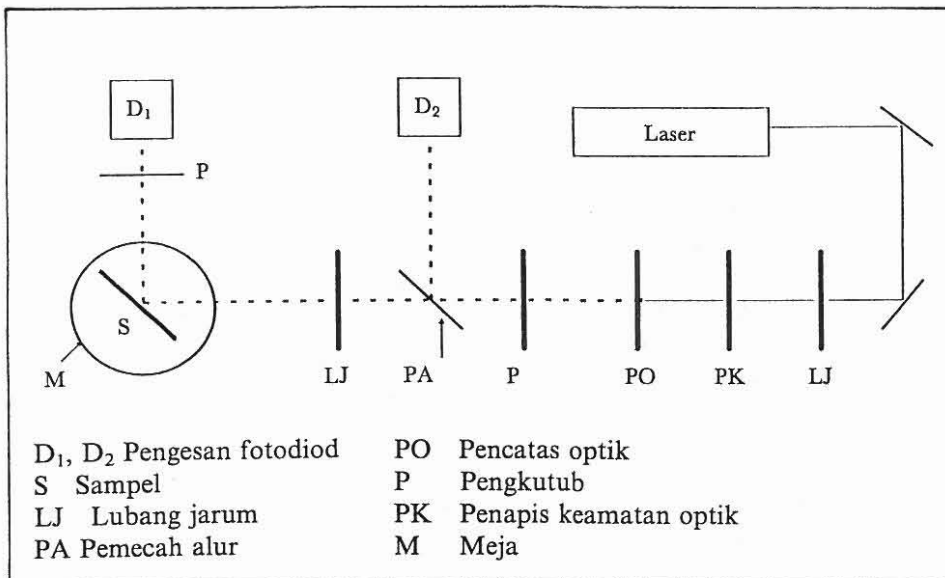
untuk menjelaskan profil parutan. h adalah dalaman lurah parutan, $k_g = 2\pi/\lambda_g$ (λ_g ialah tempoh parutan) dan γ adalah ukuran kesempurnaan parutan. $\gamma = 1$ menjelaskan profil parutan berbentuk sinusoidal sempurna. Kaitan (2) didapati tidak memenuhi semua nilai jarak gelombang sinar nampak. Sebagai contoh pada $\lambda = 550$ nm kaitan tersebut gagal menjelaskan hasil ujikaji bersesuaian dengan ramalan teori. Wood *et al.* (1995) telah menggunakan fungsi Fourier untuk menggantikan kaitan (2) di atas. Fungsi Fourier tersebut ditulis sebagai

$$a(x) = a_0 \sin(k_g x + \phi_0) + a_1 \sin(2k_g x + \phi_1) + a_2 \sin(3k_g x + \phi_2) + \dots \quad (3)$$

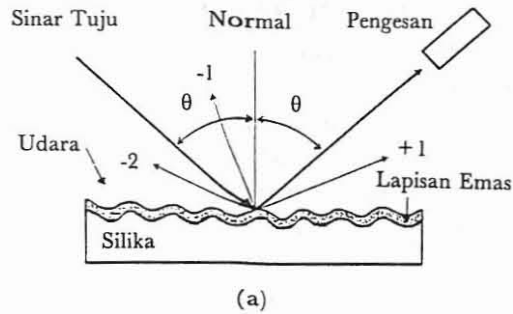
a_0 , a_1 , dan a_2 ialah amplitud fungsi Fourier.

KAEDAH DAN UJIKAJI

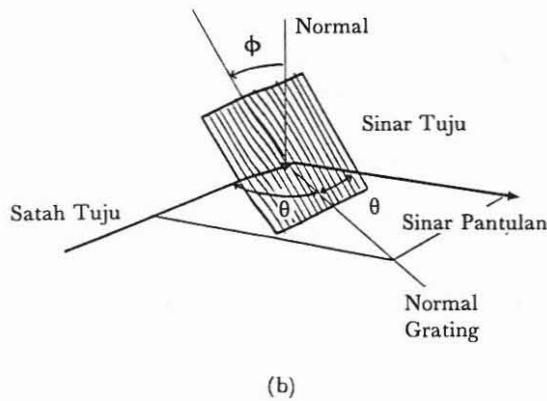
Tiga parutan silika (disebut parutan a, b, dan c dalam ujikaji ini) yang disediakan dengan teknik holografik digunakan dalam kajian ini. Salah satu parutan (parutan c) adalah sama dengan parutan yang digunakan dalam kajian plasmon sebelum ini (Mahmood 1995). Lapisan logam emas disalutkan pada permukaan parutan dengan menggunakan teknik penyejatan vakum \sim tekanan (10^{-6} torr). Lapisan emas dianggarkan dalam julat sekitar 200 nm dengan profil permukaan berbentuk sinusoidal. Walau pun lapisan logam emas disalut dengan teknik yang sama untuk ketiga-tiga parutan, tetapi parameter penyediaan adalah berbeza sedikit sebanyak antara satu sama lain. Parameter tersebut (suhu, tekanan dan kadar endapan) adalah diluar kawalan dan tidak penting untuk kajian ini kerana kajian ini bertujuan untuk mengkaji ciri-ciri resonan plasmon permukaan dan profil permukaan parutan yang disediakan dengan teknik holografik. Sinar alur laser (632.8 nm) terkutub P disinarkan dengan satah tuju tegak dengan permukaan parutan. *Rajah 1* menunjukkan susunan ujikaji dan *Rajah 2b* menjelaskan orientasi kedudukan sampel parutan relatif kepada satah tuju. Struktur parutan silika bersalut lapisan logam emas yang digunakan dalam kajian ini ditunjukkan pada *Rajah 2a*. Ujikaji dilakukan dengan mengukur keterpantulan optik sebagai fungsi kepada sudut tuju, θ untuk nilai ($\phi = 0, 10, 20, 30, 40, 45, 50, \dots, 80^\circ$). Sudut ϕ ialah sudut putaran parutan relatif kepada satah tuju. Untuk setiap ϕ yang



Rajah 1 Susunan alat dan komponen optik



Rajah 2 (a). Struktur parutan silika bersalut lapisan logam emas ~ 200 nm



(b) Putaran kedudukan parutan relatif kepada satah tuju

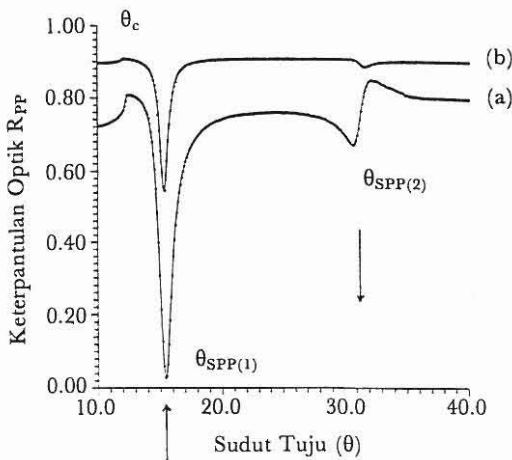
dipilih pencerapan data keterpantulan dilakukan untuk setiap pertambahan $\theta = 0.1^\circ$. Kejituan putaran sudut θ ialah 0.001° . Putaran meja sampel dan pengesan dilakukan dengan kawalan komputer IBM/386. Dalam kes ini pengesan fotodiod berputar dua kali sudut putaran sampel ($\theta - 2\theta$ putaran). Pada $\phi = 0$ vektor parutan, $k_g = 2\pi/\lambda_g$ adalah selari dengan unjuran vektor gelombang foton, $k_x(\text{foton}) = k(\text{foton}) \cdot \sin \theta$. Untuk $\phi \neq 0$, sistem tidak lagi berkeadaan simetri, akibatnya terjadi fenomenon pertukaran pengutuban P - S (Bryan-Brown *et al.* 1991; Elston *et al.* 1991). Pada keadaan ini, k_{SPP} boleh ditulis sebagai

$$k_{SPP} - k_g^2 = k^2 \sin^2 \theta - 2kk_g \sin \theta \cos \phi \quad (4)$$

Untuk kes ini keterpantulan optik sebagai fungsi kepada sudut tuju diukur dengan meletakkan satu plat pengkutub didepan pengesan isyarat pantulan (lihat *Rajah 1*). Plat pengkutub ini diputar sehingga medan elektrik alur laser berkeadaan tegak dengan satah tuju. Keadaan ini membenarkan hanya alur cahaya terkutub S sahaja yang dikesan oleh pengesan fotodiod.

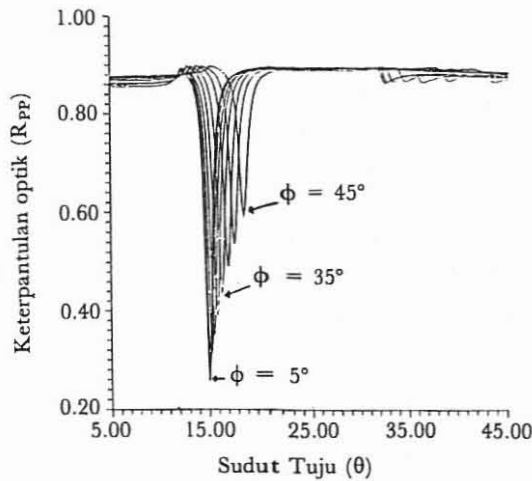
HASIL DAN PERBINCANGAN

Plot keterpantulan optik R_{PP} sebagai fungsi kepada sudut tuju untuk dua dari parutan yang dikaji (parutan a dan parutan b) ditunjukkan pada *Rajah 3*. Kedua-dua parutan tersebut menunjukkan nilai θ_c dan $\theta_{SPP(1)}$ yang hampir sama, dengan $\theta_{SPP(2)}$ yang berbeza satu sama lain. Ini menunjukkan bahawa, kedua parutan tersebut mempunyai λ_g yang hampir sama tetapi berbeza profil permukaan, kerana ciri-ciri θ_c dan $\theta_{SPP(1)}$ masing-masing ditentukan oleh λ_g dan pemalar optik logam emas, $\theta_{SPP(2)}$ pula disamping bergantung kepada pemalar optik logam emas, ciri-cirinya juga ditentukan oleh bentuk profil permukaan parutan.



Rajah 3. Plot keterpantulan optik R_{SPP} sebagai fungsi kepada sudut tuju, θ . Lengkung (a) dan (b) masing-masing merujuk kepada parutan (a) dan parutan (b) pada *Jadual 1*

Rajah 4 ialah hasil ujikaji (parutan c) yang menunjukkan plot keterpantulan optik R_{SPP} sebagai fungsi kepada sudut tuju, θ , dengan sudut putaran parutan dari $\phi = 0$ hingga $\phi = 40^\circ$. Bila sudut tuju θ berubah, komponen vektor gelombang sinar tuju yang selari dengan permukaan parutan, $k_x = (\omega/c) \sin \theta$ juga berubah. k_{SPP} pada antarmuka lapisan logam emas dengan udara ditulis sebagai $k_{SPP} = (\omega/c)[(\epsilon_{Au})/(\epsilon_{Au} + 1)]^{1/2}$ dan teruja bila kaitan (1) dipenuhi. Data ujikaji pada sudut $\phi = 0$ untuk ketiga-tiga parutan dianalisis berdasarkan teori parutan yang dikemukakan oleh Chandezon *et al.* (1982) dengan profil permukaan mengikut fungsi Fourier persamaan (3). Hasil analisis disenaraikan pada *Jadual 1*. Parameter untuk parutan termasuk, kedalaman lurah, jarak lurah dan bentuk profil berbeza disebabkan oleh ketebalan lapisan logam emas yang berbeza. Perbezaan nilai pemalar dielektrik lapisan logam emas untuk setiap grating adalah bermungkinan disebabkan oleh parameter penyediaan sampel yang berbeza antara satu parutan dengan satu



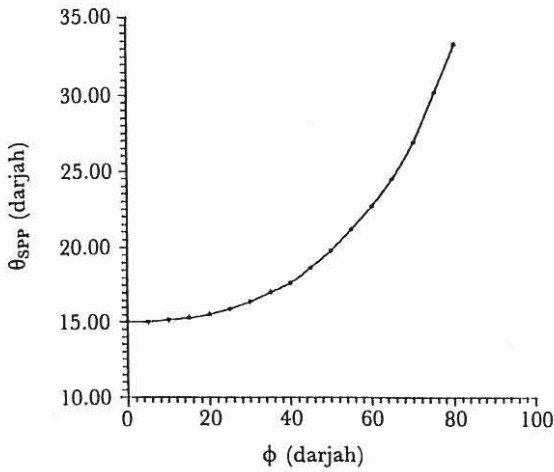
Rajah 4. Keterpantulan optik R_{SPP} parutan (c) sebagai fungsi kepada sudut tuju θ untuk sudut putaran $\phi = 5^\circ$ hingga 45°

JADUAL 1

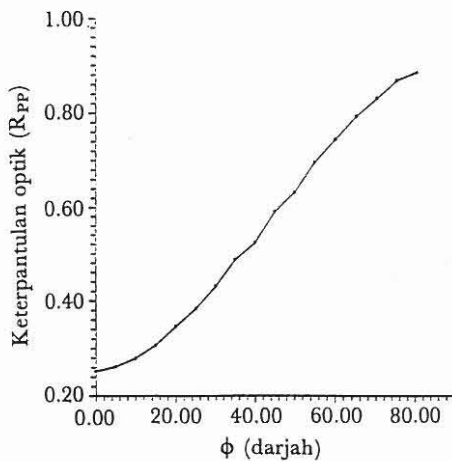
Nilai parameter parutan dan pemalar dielektrik logam emas yang diperolehi dari hasil "fitting" data ujikaji dengan teori parutan

Parameter	λ_g (nm)	ϵ_r	ϵ_i	a_0	a_1	a_2
a	800.6	-11.261	1.423	10.27×10^{-8}	-1.08×10^{-9}	-9.09×10^{-11}
b	806.0	-11.782	1.274	2.97×10^{-8}	3.08×10^{-9}	-3.63×10^{-9}
c	800.0	-10.592	1.034	1.88×10^{-8}	-1.16×10^{-9}	1.61×10^{-9}

parutan yang lain. Dari *Rajah 4* dapat diperhatikan bahawa $\theta_{SPP(1)}$ dan $\theta_{SPP(2)}$ berganjak kepada sudut θ yang lebih besar apabila sudut ϕ bertambah. Fenomena ini telah pun disahkan oleh kajian sebelum ini (Inagaki *et al.* 1983; Grygier *et al.* 1986; Fernandez *et al.* 1993). Nilai keterpantulan optik, $R_{\theta(SPP)}$ juga turut bertambah dengan pertambahan nilai sudut ϕ . Kedua-dua pertambahan ini (θ_{SPP} dan $R_{\theta(SPP)}$) terhadap sudut ϕ dijelaskan oleh plot *Rajah 5* dan *6*. Kedua-duanya tidak bersifat linear dengan pertambahan sudut ϕ . Pertambahan $\theta_{SPP(1)}$ terhadap perubahan sudut putaran parutan, ϕ adalah serupa dengan pertambahan $\theta_{SPP(1)}$ terhadap pertambahan kedalaman lurah parutan yang dilaporkan oleh Pockrand (1976) dan Pockrand dan Raether (1977). Bila $\phi > 0$, terjadi fenomenon pertukaran pengutuban sinar yang dipantulkan oleh permukaan parutan. *Rajah 7* menjelaskan keterpantulan optik untuk pertukaran pengutuban P kepada S sebagai fungsi kepada sudut tuju, θ ,

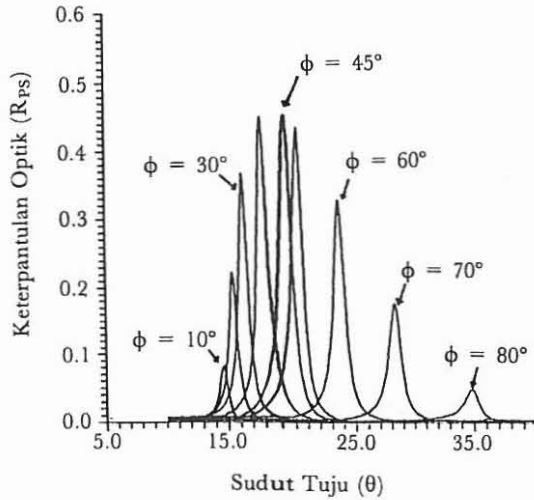


Rajah 5. Plot sudut resonan minimum Rajah 4 sebagai fungsi kepada sudut putaran parutan

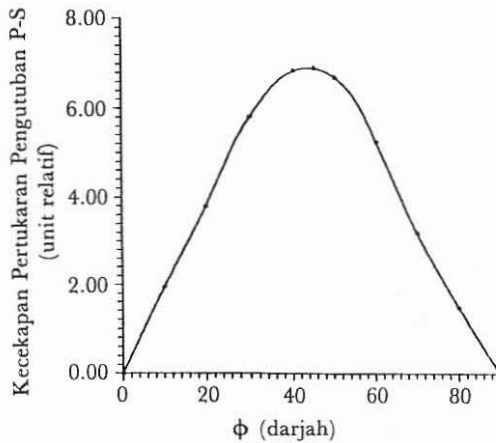


Rajah 6. Keterpantulan optik R_{SPP} parutan (c) sebagai fungsi kepada sudut putaran parutan

untuk nilai $\phi = 10, 20, 30, 40, 45, 50, 60, 70$ dan 80° . Kecekapan maksimum terhasil disekitar sudut $\phi = (40 - 45)^\circ$, ini serupa dengan hasil yang dilaporkan sebelum ini oleh Elston *et al.* (1991). Kecekapan pertukaran pengutuban P - S (dalam unit relatif) diplotkan terhadap sudut ϕ , dan ditunjukkan oleh Rajah 8. Rajah 9 menunjukkan satu contoh plot keterpantulan optik (R_{PP} dan R_{PS}) untuk alur pengutuban P-P dan P-S pada nilai $\phi = 45^\circ$. Dapat diperhatikan bahawa plot R_{PP} melawan sudut tuju θ menghasilkan resonan minimum, manakala plot R_{PS} sebagai

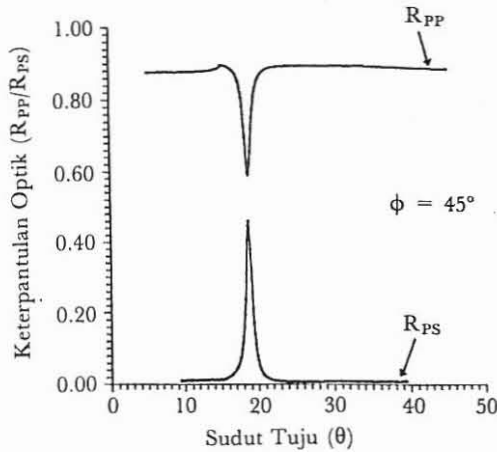


Rajah 7. Keterpantulan optik, R_{SP} parutan (c) sebagai fungsi kepada sudut tuju, θ untuk sudut putaran $\theta = 10^\circ$ hingga 80° . $\phi = 45^\circ$ memberikan nilai pertukaran pengutuban P-S yang maksimum



Rajah 8. Kecekapan pertukaran pengutuban P-S parutan silika bersalut logam emas sebagai fungsi kepada sudut putaran parutan, ϕ

fungsi kepada sudut tuju, θ menghasilkan resonan maksimum. Kedua-dua fenomena ini berlaku pada sudut tuju, $\theta = 18.70^\circ$, iaitu sudut resonan plasmon permukaan untuk parutan yang berkenaan.



Rajah 9. Contoh plot keterpantulan optik R_{PP} dan R_{PS} pada sudut putaran parutan 45° sebagai fungsi kepada sudut tuju

PENGHARGAAN

Ujikaji ini dilakukan di Jabatan Fizik, University of Exeter, UK di bawah program cuti sabbatical. Pengarang mengucapkan terima kasih kepada Commonwealth Fellowship dan Universiti Pertanian Malaysia kerana membiayai program ini. Pengarang juga ingin merakamkan penghargaan kepada Prof. J.R. Sambles, E.L. Wood dan kumpulan sapat tipis University of Exeter atas segala bantuan berupa teknikal dan program komputer.

RUJUKAN

- BRYAN-BROWN, G.P., S.J. ELSTON and J.R. SAMBLES. 1991. Polarization conversion through the excitation of electromagnetic modes on a grating. In *Int. Conf. on the Application and Theory of Periodic Structure*. SPIE **1545**: 167-178.
- BRYAN-BROWN, G.P., M.C. JORY, S.J. ELSTON and J.R. SAMBLES. 1993. Diffraction grating characterization via the excitation of surface plasmons. *J. Mod. Opt.* **40**: 959-964.
- CHANDEZON, J., M.T. DUPUIS, G. CORNET and D. MAYSTRE. 1982. Multicoated gratings: a differential formalism applicable to the entire optical region. *J. Opt. Soc. Am.* **72**: 839.
- DOUGHERTY, G. 1993. A compact optoelectronic instrument with a disposable sensor based on surface plasmon resonance. *Meas. Sci. Technol.* **4**: 697-699.
- ELSTON, S.J., G.P. BRYAN-BROWN and J.R. SAMBLES. 1991. Polarization conversion from diffraction gratings. *Phys. Rev. B.* **44**: 6393-6400.
- FERNANDEZ, U., T.M. FISCHER and W. KMOLL. 1993. Surface-plasmon microscopy with grating couplers. *Opt. Comm.* **102**: 49-52.

- GRYGIER, R.K., W. KNOLL and H. COUFAL. 1986. Detection of plasmon surface polariton on periodic silver gratings with a pyroelectric calorimeter. *Can. J. Phys.* **64**: 1067-1069.
- INAGAKI, T., M. MOTOSUGA, K. YUMAMORI and E.T. ARAKAWA. 1983. Photoacoustic study of surface plasmon resonance absorption in a diffraction grating. *Phys. Rev. B.* **28**: 1740-1744.
- JORY, M.C., P.S. VUKVIC and J.R. SAMBLES. 1994. Development of a prototype gas sensor using surface plasmon resonance on gratings. *Sensors and Actuators* **B17**: 203-209.
- MAHMOOD MAT YUNUS, W. 1995. Perbandingan fenomena plasmon-polariton permukaan menggunakan kaedah gandingan prisma dan gandingan grating. *J. Fizik Malaysia* [in press].
- POCKRAND, I. 1976. Resonance anomalies in the light intensity reflect at silver gratings with dielectric coating. *J. Phys. D: Appl. Phys.* **9**: 2423-2432.
- POCKRAND, I. and H. RAETHER. 1977. Surface plasma oscillations at sinusoidal silver surfaces. *Appl. Opt.* **16**: 1784-1786.
- RAETHER, H. 1988. *Surface Plasmons on Smooth and Rough Surfaces and on Grating*. Berlin: Springer.
- WOOD, E.L., J.R. SAMBLES, N.P. ROTTER and S.C. KITSON. 1995. Diffraction grating characterization using multiple-wavelength excitation of surface plasmon-polariton. *J. Mod. Opt.* **42**: 1343-1347.