

PENYEDIAAN DAN PENCIRIAN SAPUT TIPIS SnSe BERORIENTASI TUNGGAL

Samsudi Sakrani

Makmal Saput Tipis, Panel Sains Bahan
Jabatan Fizik, Universiti Teknologi Malaysia
Karung Berkunci 791, 80990 Johor Bahru
Malaysia

ABSTRAK

Saput tipis timah selenida telah disediakan dengan menggunakan kaedah tindakbalas keadaan pepejal. Lapisan bertingkat Sn/Se/Sn telah disejatkan keatas substrat kaca pada tekanan 10^{-5} mbar dan ketebalan 150/300/150 nm. Suhu substrat telah ditetapkan antara 200-270°C untuk membolehkan pembentukan sebatian SnSe yang stoikiometri melalui proses tindakbalas kimia. Analisis sinar-X menunjukkan wujudnya struktur polihablur berdasarkan kepada puncak-puncak belauan yang terdapat pada sampel 210°C dan 220°C. Satu puncak tunggal yang sangat tinggi dikesan pada sampel 230-270°C mencadangkan pembentukan SnSe berorientasi tunggal pada satah (031). Nilai kerintangan yang diukur dan tenaga pengaktifan yang dikira, masing-masing adalah 15-29 Ω cm dan 0.05 eV. Pengukuran kesan Hall memberikan parameter $R_H = 536.8$ $\text{cm}^3 \text{C}^{-1}$, $\mu_H = 39.5$ $\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{S}^{-1}$ dan konduksi jenis-p dengan kepekatan, $p = 1.2 \times 10^{16}$ cm^{-3} .

ABSTRACT

Tin selenide thin films have been prepared using a method called solid state reactions. Essentially, the Sn/Se/Sn stacked layers were thermally evaporated at a pressure 10^{-5} mbar and film thicknesses 150/300/150 nm. The substrate temperatures were fixed between 200-270°C to enable the formation of stoichiometric SnSe by a chemical reaction process. X-ray results showed the existence of polycrystalline structures observed on the samples prepared at 210°C and 220°C, as revealed by several preferential orientations. A very strong peak observed on the 230-270°C samples suggested the presence of a single-oriented SnSe at (031) plane. The measured resistivity and the calculated activation energy were 15-29 Ω cm and 0.05 eV, respectively. Hall effect measurements resulted in parameters of $R_H = 536.8$ $\text{cm}^3 \text{C}^{-1}$, $\mu_H = 39.5$ $\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{S}^{-1}$ and p-type conduction with concentration, $p = 1.2 \times 10^{16}$ cm^{-3} .

PENGENALAN

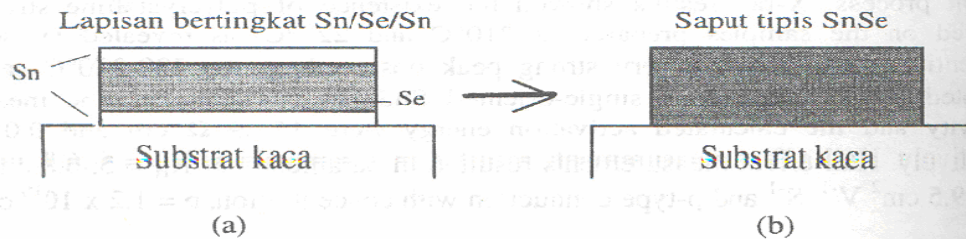
Timah selenida, SnSe adalah sejenis bahan semikonduktor kalkogenida kumpulan IV-VI dalam jadual perkalaan yang pada satu ketika kurang mendapat perhatian. Walau pun sifat tak isotropik dan struktur ortorombiknya kurang menarik jika dibandingkan dengan semikonduktor sebatian yang lain, sifat elektrik dan optiknya menunjukkan ciri yang berpotensi sebagai bahan sel suria dan peranti elektronik seperti diod dan penerima. Kajian bahan ini banyak tertumpu kepada polihablur SnSe yang disediakan secara penyejukan vakum, epitaksi dinding panas, kaedah kimia dan

tindakbalas keadaan pepejal [1-4]. Baru-baru ini satu kaedah yang dikenali penselenidan tertudung tebat [5] berupaya menghasilkan saput tipis SnSe jenis-p dan SnSe₂ jenis-n daripada bahan permulaan Sn dan Se yang disejatkan dalam vakum pada ketebalan tertentu dan menyepuhlandapkan dalam gas Ar pada julat suhu 200-250°C selama tiga jam.

Penghasilan saput hablur tunggal biasanya menggunakan peralatan yang mahal dan prosesnya agak rumit seperti dalam kaedah angkutan wap langsung [6]. Satu kaedah yang disesuaikan daripada kaedah tindakbalas keadaan pepejal [4] berupaya menghasilkan saput tipis SnSe yang menghampiri struktur hablur tunggal atau saput tipis berorientasi tunggal. Kertas kerja ini akan melaporkan tentang penyediaan dan pengukuran pencirikan bahan yang dihasilkan melalui kaedah ini.

EKSPERIMEN

Sampel telah disediakan daripada bahan permulaan, iaitu timah (Sn) dan selenium (Se) masing-masing dengan ketulinan 5N dan dibekalkan oleh Balzers Company, Switzerland. Pada peringkat awal, kedua-dua Sn dan Se telah disejatkan keatas slid kaca natrium pada tekanan 10^{-5} mbar dan ketebalan tertentu untuk membentuk struktur bertingkat Sn/Se/Sn. Kadar penyejatan telah ditetapkan kepada 0.2 nm s^{-1} . Dalam masa yang sama (peringkat kedua) suhu substrat ditetapkan dan dikawal pada suhu 210, 220, 230, 240, 250 and 270°C untuk membolehkan tindakbalas kimia berlaku. Ketebalan saput, Sn=150/Se=300/Sn=150 nm telah digunakan untuk penyediaan SnSe dan diukur dengan menggunakan FTM-5 digital monitor. Ini memberikan nisbah ketebalan SnSe=1:1 yang diperlukan dalam proses tindakbalas kimia supaya kehilangan nyahserapan atom Se dapat dikurangkan. Takat lebur Se yang sangat rendah berbanding Sn boleh menyebabkan kehilangan atom Se yang berterusan semasa pemanasan pada suhu tinggi, jadi kelebihan atom Se boleh mengekalkan pembentukan sebatian SnSe yang stoikiometri. Rajah 1 menunjukkan peringkat pembentukan saput tipis SnSe yang dimaksudkan.



Rajah 1. Kaedah tindakbalas keadaan pepejal; a) lapisan bertingkat dan b) pembentukan SnSe yang stoikiometri pada suhu 230-270°C.

Analisis belauan sinar-X (XRD) telah dilakukan di Institut Teknologi Nuklear Malaysia (MINT), Bangi Selangor. Pengukuran sifat elektrik (kerintangan dan kesan Hall) telah dilakukan keatas sampel berbentuk bulat dengan ukuran garispusat 1 cm. Pengukuran kerintangan elektrik kemudiannya dilakukan pada suhu bilik di dalam

bilik gelap. Bagi pengukurannya pada suhu tinggi sampel telah dimasukkan di dalam relau tertutup yang dipanaskan dari 30 hingga 200°C.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Rajah 2 menunjukkan corak belauan sinar-X bagi sampel yang disediakan pada suhu substrat yang berbeza. Mula-mula pada suhu substrat 210°C puncak SnSe yang lemah pada satah (111) dan (101) telah dikesan. Bilangan puncak ini kemudiannya didapati bertambah kepada sekurang-kurangnya empat puncak SnSe yang berlainan pada suhu substrat 220°C, termasuk puncak (101) dan (111) yang jelas dan dua puncak yang lemah, iaitu (120) dan (041). Pada suhu substrat 230°C pula timbul satu puncak tunggal yang sangat tinggi keamatannya iaitu (031) dan sifat yang sama dapat diperhatikan pada sampel 240, 250 and 270°C. Keputusan ini menunjukkan bahawa SnSe adalah berstruktur polihablur dan terbentuk pada suhu substrat kurang daripada 230°C, manakala SnSe berorientasi tunggal (031) terbentuk pada julat suhu substrat 230-270°C. Kesan pembentukan SnSe₂ telah dikesan pada suhu substrat melebihi 270°C. Quan [4] dalam kajiannya menggunakan kaedah dan bahan yang sama tidak pernah mendapati puncak tunggal sepertimana yang diperolehi dalam ujikaji ini tetapi beliau telah dapat mengesan lima orientasi utama SnSe termasuk satu puncak yang paling tinggi pada satah (041).

Dari segi struktur, SnSe termasuk dalam kumpulan ruang, D¹⁶_{2h} dengan keadaan strukturnya terherot mengikut jenis kekisi NaCl. Hablur tunggalnya terdiri daripada empat atom Sn dan empat atom Se yang tersusun seperti lapisan yang berselang-seli; atom dalam satu lapisan dihubungkan dengan tiga atom berdekatan oleh ikatan kovalen yang membentuk rangkaian zigzag. Dimensi kekisinya adalah: a=0.444 nm, b=0.415 nm dan c=1.149 nm [7].

Keputusan pengukuran kerintangan bagi sampel yang berkaitan ditunjukkan dalam Rajah 3. Bermula dengan kerintangan yang kecil sekitar 10⁻² Ω cm pada julat suhu substrat 210-220°C, nilai ini bertambah secara mendadak kepada 14 Ω cm pada suhu 230°C. Seterusnya kerintangan bertambah secara perlahan pada suhu substrat yang lebih tinggi. Keadaan ini terjadi kerana perubahan struktur polihablur SnSe pada suhu rendah kepada struktur berorientasi tunggal pada suhu substrat melebihi 230°C. Kekonduksian elektrik bagi sapat tipis SnSe adalah mematuhi persamaan,

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right) \quad (1)$$

dengan σ_0 adalah faktor praeksponen, ΔE tenaga pengaktifan, k pemalar Boltzmann dan T suhu pemanasan. ΔE dikira daripada kecerunan graf $\ln \sigma$ lawan $1/T$ seperti dalam Rajah 4. Bagi SnSe yang disediakan pada suhu 240°C dan 220°C tenaga ΔE yang diperlukan untuk menguja elektron dari jalur valens ke paras penerima, masing-masing adalah 0.05 eV dan 0.16 eV. Julat nilai ini adalah sebanding dengan nilai bagi SnSe hablur tunggal [6] dan SnSe polihablur [8].

Hasil pengukuran kesan Hall disenaraikan dalam Jadual 1 berikut:

Jadual 1. Data pengukuran kesan Hall

Medan magnet (Gauss)	Pekali Hall, R_H ($\text{cm}^3 \text{C}^{-1}$)	Kelincahan Hall μ_H ($\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{S}^{-1}$)	Kepekatan pembawa, p (cm^{-3})	Jenis konduksi
1000	536.8	39.5	1.2×10^{16}	Jenis-p

Hasil kajian mengenai sebelumnya mendapati saput tipis SnSe mempunyai konduksi elektrik jenis-p dan kerintangan dalam julat 0.1-50 Ωcm [8]. Pengukuran Hall bagi bahan pukal SnSe pula mendapati $R_H \approx 700 \text{ cm}^3 \text{C}^{-1}$, $\mu_H = 30\text{-}50 \text{ cm}^2 (\text{Vs})^{-1}$ dan $p \sim 10^{16} - 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ [9]. Jadi, semua nilai yang diukur adalah dalam julat nilai yang telah dikaji sebelum ini walau pun penyediaannya berbeza.

KESIMPULAN

Kajian ini menyimpulkan bahawa saput tipis SnSe berorientasi tunggal terbentuk pada suhu substrat antara 230-270°C melalui kaedah tindakbalas keadaan pepejal. Ia mempunyai komposisi stoikiometri dan orientasinya terarah pada satah (031). Kerintangan SnSe didapati berubah mengikut perubahan komposisi dengan kenaikan pada paras antara 14-28 $\Omega \text{ cm}$. Tenaga pengaktifannya adalah 0.05 eV berbanding dengan 0.16 eV bagi polihablur SnSe yang disediakan pada suhu substrat 220°C. Parameter kesan Hall pula didapati sebanding dengan nilai SnSe pukal.

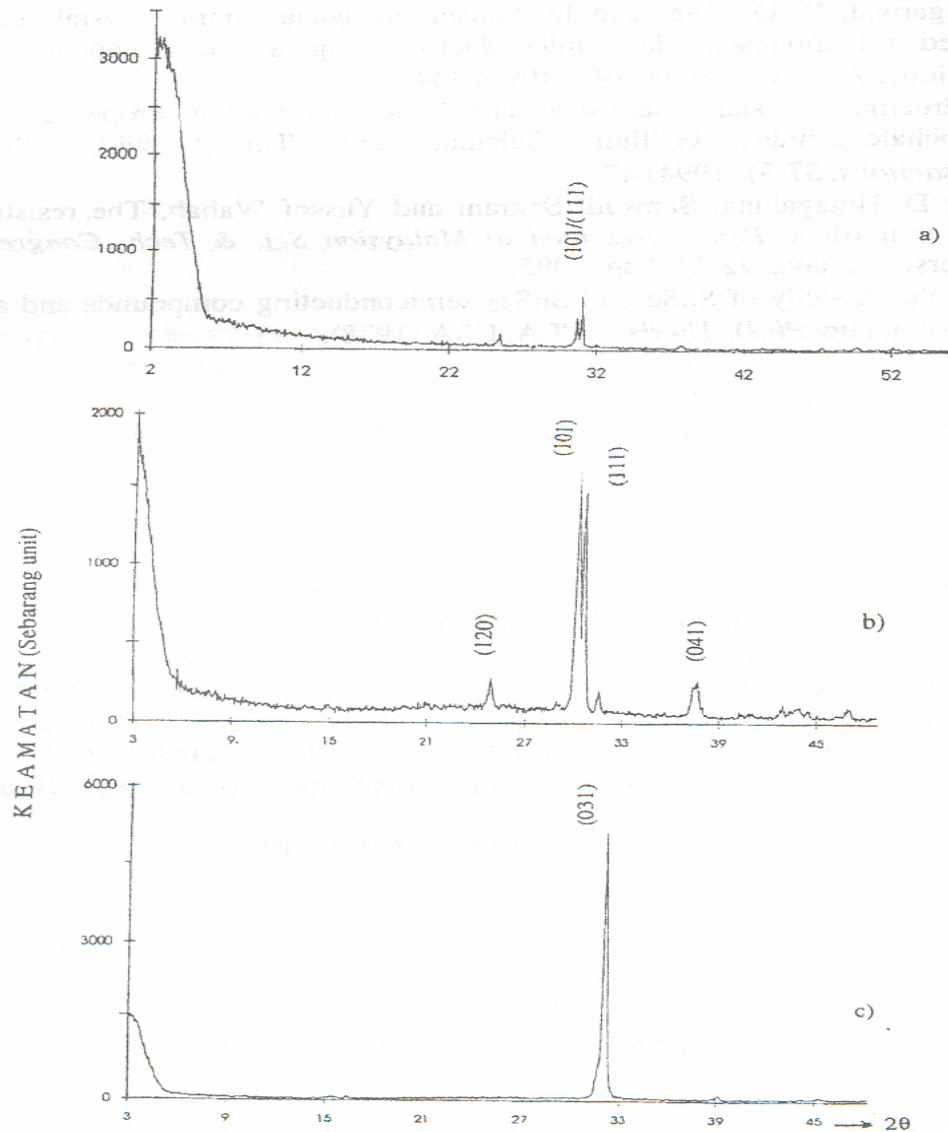
PENGHARGAAN

Penulis amat menghargai sumbangan peruntukan IRPA 1994/95, No.vot 2-07-07-046 daripada Kementerian Sains & Teknologi dan Alam Sekitar, Malaysia. Sokongan berterusan daripada Unit Penyelidikan dan Pembangunan, UTM. Tidak lupa juga kepada semua kakitangan makmal dan Kumpulan Penyelidikan Saput Tipis, Jabatan Fizik, Universiti Teknologi Malaysia dan individu yang turut menjayakan projek ini.

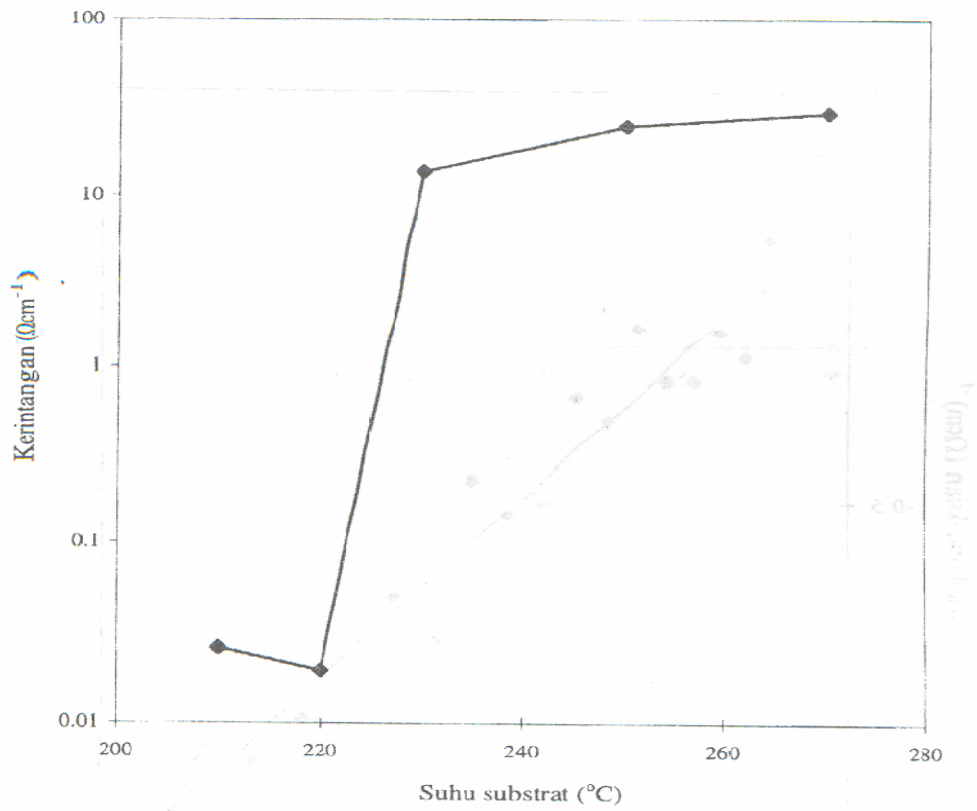
RUJUKAN

1. K.J. John, B. Pradeep and E. Mathai, Tin Selenide (SnSe) Thin Film Preparation by Ractive Evaporation, *J. Mat. Sci.*, **29** (1994), 1581.
2. J.P. Singh and R.K. Bedi, Thin Selenide Films Grown by Hot Wall Epitaxy, *J. Appl. Phys.*, **68**(6) (1990), 2776.
3. P. Pramanik and S. Bhattacharya, A Chemical Method for Deposition of Tin (II) Selenide Thin Films, *J. Mat. Sci. Lett.*, **7** (1988), 305.
4. D. T. Quan, SnSe Thin Films Synthesized by Solid State Reactions, *Thin Solid Films*, **149** (1987), 197.

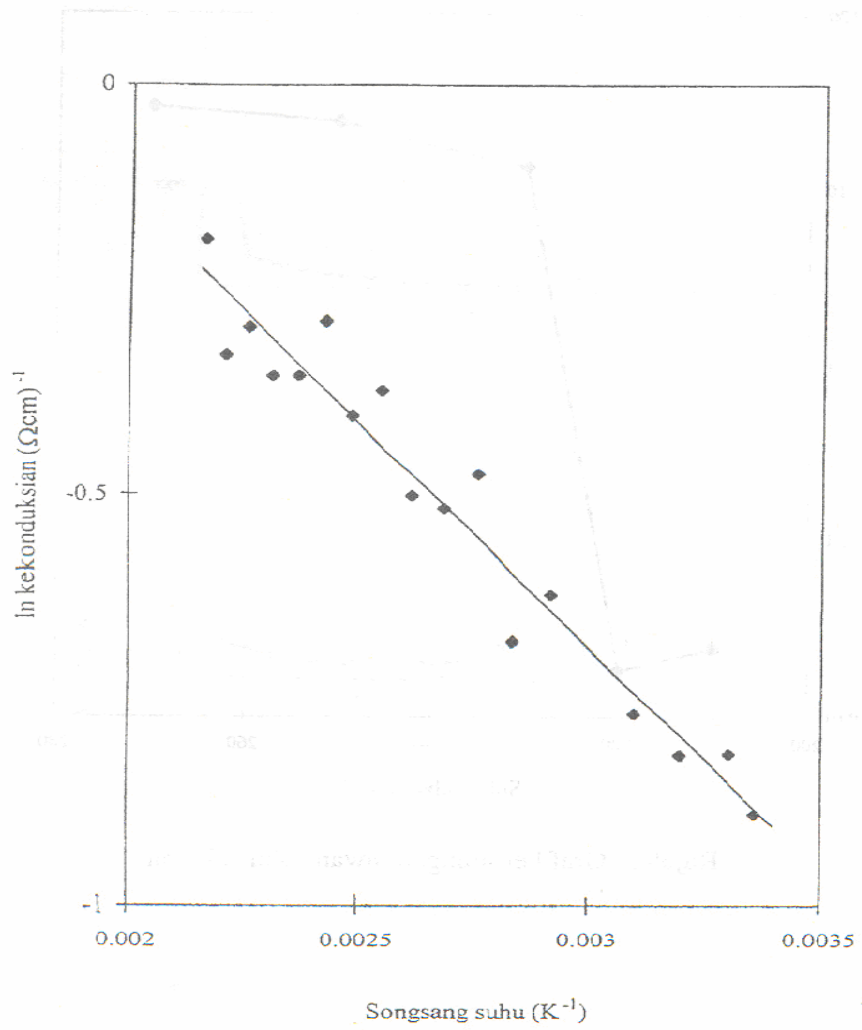
5. Sabar D. Hutagalung, Samsudi Sakrani and Yussof Wahab, Penyediaan sapat tipis SnSe secara penselenidan tertudung tebat, *Proceedings of the Malaysian Sci. & Tech. Congress '94*, vol II (1994) 91.
6. A. Agarwal, P. D. Patel and D. Lakshminarayana, Single crystal growth of layered tin monoselenide semiconductor using a direct vapour transport technique, *J. Crys. Growth*, **142** (1994) 344.
7. A. Erdemir, Crystal Chemistry and Solid Lubricating Properties of The Monochalcogenides Gallium Selenide and Tin Selenide, *Tribology Transactions*, **37**(3) (1994) 471.
8. Sabar D. Hutagalung, Samsudi Sakrani and Yussof Wahab, The resistivity of SnSe thin films, *Paper presented at Malaysian Sci. & Tech. Congress '95*, Universiti Malaya, 22-25 Aug. 1995.
9. J. G. Yu, A study of SnSe and SnSe₂ semiconducting compounds and a SnSe-SnSe₂ eutectic, *Ph.D. Thesis*, UCLA, USA (1978).



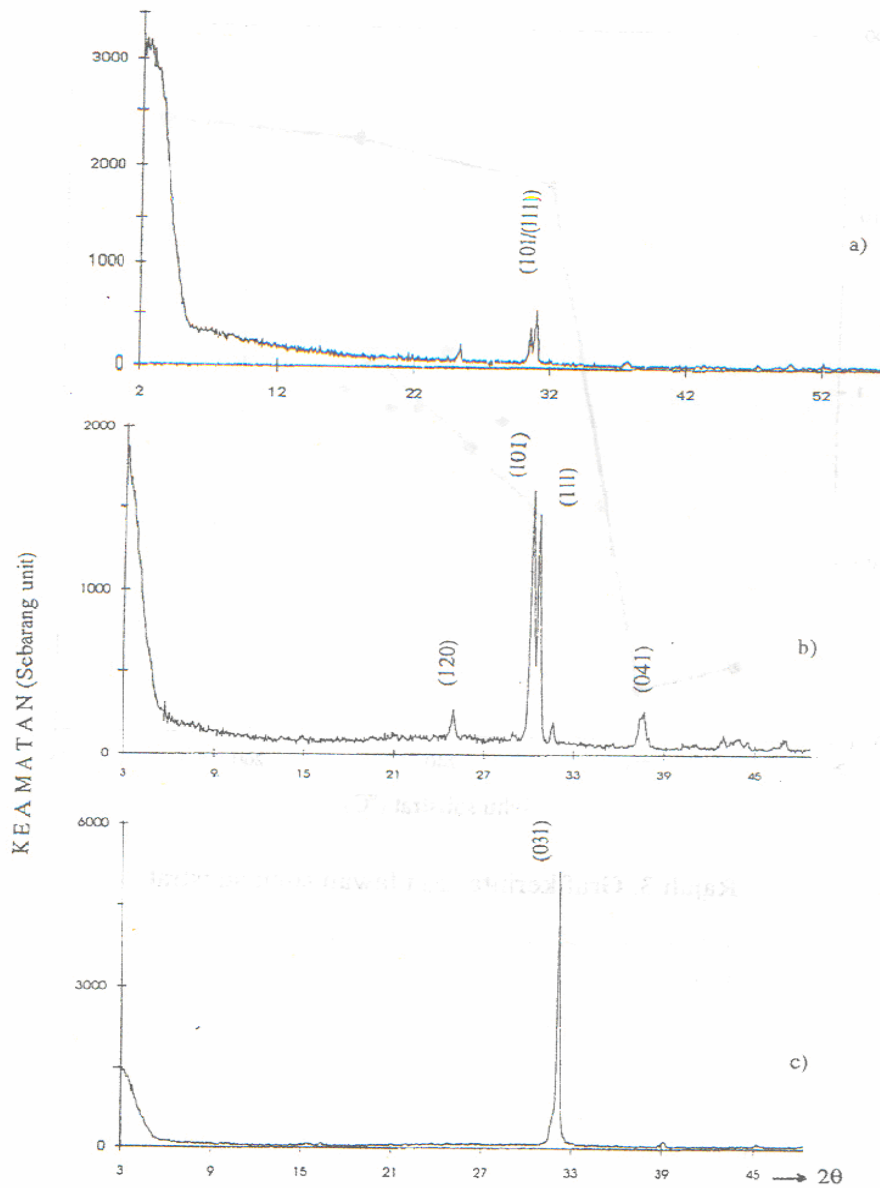
Rajah 2. Corak belauan sinar-X bagi saput tipis SnSe yang disediakan pada suhu substrat berbeza, iaitu a) 210°C, b) 220°C dan c) 230°C.



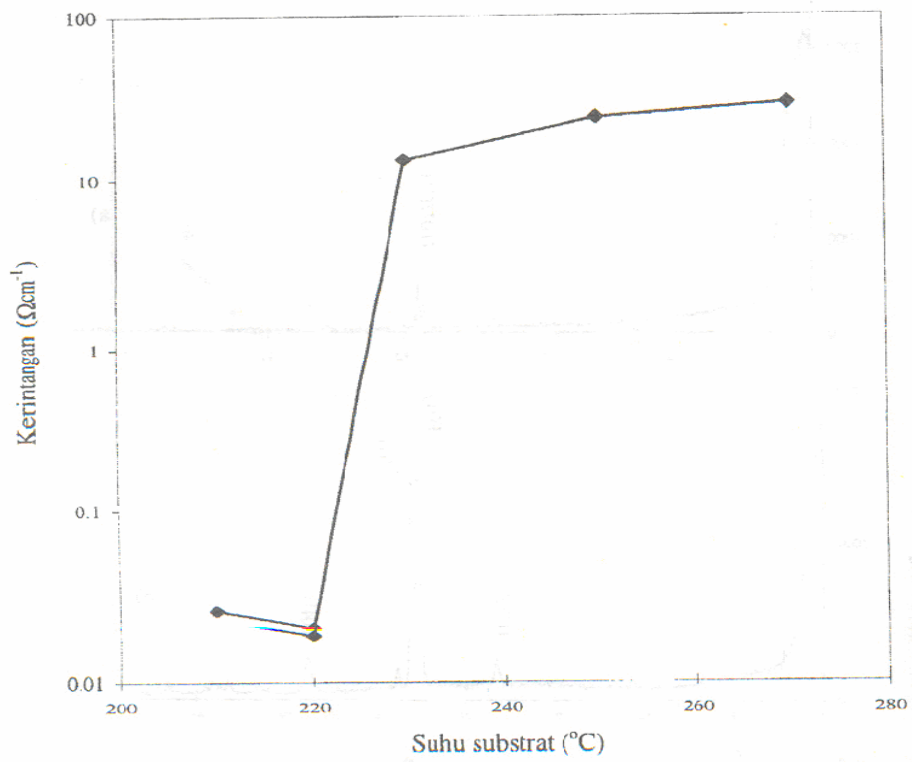
Rajah 3. Graf ketebalan lawan suhu substrat.



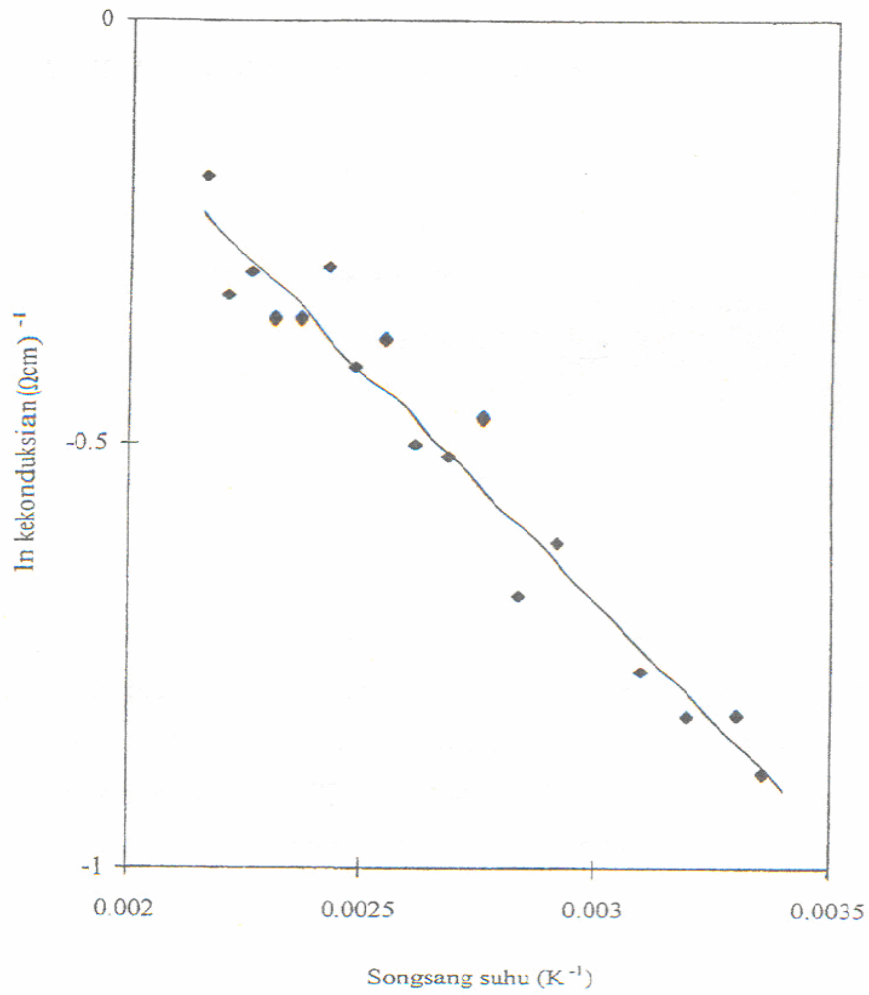
Rajah 4. Graf ln kekonduksian lawan songsang suhu bagi sampel 240°C.



Rajah 2. Corak belauan sinar-X bagi sapat tipis SnSe yang disediakan pada suhu substrat berbeza, iaitu a) 210°C, b) 220°C dan c) 230°C.



Rajah 3. Graf kerintangan lawan suhu substrat.



Rajah 4. Graf ln kekonduksian lawan songsang suhu bagi sampel 240°C.