

PENGARUH KETEBALAN LAPISAN ISOLATOR SiO₂ TERHADAP MOBILITAS LUBANG DARI TRANSISTOR EFEK MEDAN ORGANIK PENTACENE

Fadliandi¹, Haris Isyanto², Priyan Gagani³

^{1,2,3}Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Jakarta

Jalan Cempaka Putih Tengah 27 Jakarta Pusat, 10510

E-mail : fadliandi@yahoo.com

ABSTRAK

Saat ini, riset tentang divais elektronik yang memakai bahan organik banyak dilakukan. Divais elektronik organik memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan divais elektronik silikon seperti kelenturan dan lain-lain. Untuk kali ini, akan dijelaskan pengaruh ketebalan lapisan isolator gerbang (G) SiO₂ terhadap karakteristik transfer (I_D-V_G) dan karakteristik penguatan (I_D-V_D) dari transistor efek medan organik yang telah difabrikasi. Pertama, lapisan isolator SiO₂ ditumbuhkan dengan menggunakan metode oksidasi termal dengan ketebalan 100 nm - 500 nm. Selanjutnya, sebagai bahan semikonduktor organik, pentacene dideposisikan dengan ketebalan 50 nm pada suhu ruang dengan metode evaporasi termal pada kevakuman 8×10^{-6} Torr. Terakhir, terminal source dan drain dibentuk dari emas dengan metode evaporasi termal dengan ketebalan 30 nm. Panjang kanal dan lebar kanal dari transistor masing-masing adalah 200 μm dan 500 μm . Hasil pengukuran karakteristik I_D-V_D menunjukkan bahwa mobilitas lubang meningkat dari 0.03 $\text{cm}^2/(\text{Vs})$ ke 0.1 $\text{cm}^2/(\text{Vs})$ seiring berkurangnya ketebalan SiO₂ dari 500 nm ke 100 nm.

Kata kunci: pentacene, semikonduktor, organik, elektronika, transistor film tipis

ABSTRACT

Recently, researches on electronic devices using organic materials have been widely conducted. Organic electronic devices have many advantages such as flexibility, etc compared to silicon electronic devices. This time, the effect of thickness of SiO₂ toward the transfer characteristic (I_D-V_G) and the amplification characteristic (I_D-V_D) of the OFETs will be explained. First, the SiO₂ gate insulator was formed using thermal oxidation method with thickness of 100 nm - 500 nm. After that, as an active layer, pentacene was deposited with thickness of 50 nm using thermal evaporation method at room temperature at vacuum pressure of 8×10^{-6} Torr. Finally, source and drain electrodes were formed from gold using thermal evaporation method with thickness of 30 nm. The channel length and the channel wide of the transistors were 200 μm and 500 μm , respectively. The I_D-V_D characteristic showed that the effective hole mobility increased from 0.03 $\text{cm}^2/(\text{Vs})$ to 0.1 $\text{cm}^2/(\text{Vs})$ with decreasing SiO₂ thickness from 500 nm to 100 nm.

Keywords : pentacene, semiconductor, organic, electronics, thin film transistor

PENDAHULUAN

Transistor film tipis organik memiliki potensi untuk penggunaan pada aplikasi elektronika yang biayanya rendah, permukaannya luas, ringan dan fleksibel. Lebih lagi, transistor film tipis organik bisa difabrikasi dengan proses suhu rendah seperti evaporasi termal dan spin coating. Selain itu, ada juga grup laboratorium yang sudah

memfabrikasi inverter yang menggunakan transistor film tipis organik (Wei, 2011).

Pentacene telah menjadi perhatian khusus karena ketersediaannya secara komersil, performa divais dan stabilitas lingkungannya. Transistor film tipis organik yang mengandung film tipis pentacene yang memiliki mobilitas 0.01 - 1 $\text{cm}^2/(\text{Vs})$ sudah banyak dilaporkan pada banyak literatur.

Pentacene juga memiliki nilai mobilitas hampir mendekati silikon amorf.

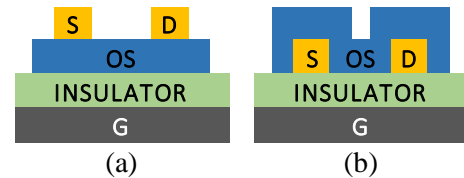
Pentacene, yang merupakan bahan semikonduktor organik yang sangat sensitif terhadap kelembaban, juga diharapkan bisa diaplikasikan untuk sensor kelembaban (Zu, 2002), (Tardy, 2012). Pentacene dan SiO₂ memiliki energi permukaan masing-masing 38 mJ/m² dan 60 mJ/m² (Hsiao, 2007).

METODE

Pertama, lapisan isolator SiO₂ ditumbuhkan dengan menggunakan metode oksidasi termal dengan ketebalan 100 nm dan 500 nm. Di sini, oksidasi termal dipakai untuk menumbuhkan SiO₂ karena SiO₂ yang ditumbuhkan dengan metode oksidasi termal memberikan mobilitas dan ukuran kristal pentacene yang lebih besar daripada SiO₂ yang ditumbuhkan dengan metode *plasma enhanced chemical vapor deposition* atau (PECVD)(Knipp, 2002). Selanjutnya, sebagai bahan semikonduktor organik aktif, pentacene dideposisikan dengan ketebalan 50 nm pada suhu ruang dengan metode evaporasi termal pada kevakuman 8×10^{-6} Torr. Metode evaporasi termal dipilih karena memiliki *uniformity* yang lebih baik daripada metode *spin coating* dan karena bisa menghasilkan film yang lebih tipis. Selanjutnya, terminal source dan drain dibentuk dari Au dengan metode evaporasi termal dengan ketebalan 30 nm. Au dipilih karena memiliki tingkat Fermi yang hampir sama dengan tingkat orbital molekul tertinggi yang ditempati (*highest occupied molecular orbital HOMO*) pada pentacene sehingga mempermudah injeksi pembawa lubang (Akichika, 2013). Panjang kanal dan lebar kanal dari transistor masing-masing adalah 200 μm dan 500 μm . Terakhir, pengukuran karakteristik listrik dan kristalinitas pentacene dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Transistor film tipis organik pada umumnya memiliki 2 jenis struktur yaitu *top contact* dan *bottom contact*. Pada penelitian kali ini, struktur top contact dipakai karena fabrikasi divisinya mudah, mobilitas lubangnya lebih besar dan performanya lebih baik (Kumar, 2013). Gambar 1 menunjukkan gambar skematik struktur transistor film tipis untuk *top contact* dan *bottom contact*.



*OS : organic semiconductor

Gambar 1 Struktur transistor film tipis organic (a) top contact (b) bottom contact

Gambar 2 menunjukkan pengaruh ketebalan SiO₂ terhadap kristalinitas pentacene. Di sini kita melihat bahwa kristalinitas pentacene bertambah ketika ketebalan dari lapisan SiO₂ berkurang dari 500 nm ke 100 nm. Ada kemungkinan keteraturan susunan molekulnya meningkat sehingga kristalinitasnya meningkat.

Gambar 3 menunjukkan pengaruh ketebalan SiO₂ terhadap kekasaran permukaan pentacene. Di sini kita melihat bahwa kekasaran permukaan pentacene berkurang ketika ketebalan dari lapisan SiO₂ berkurang dari 500 nm ke 100 nm. SiO₂ sendiri ketika ketebalannya bertambah, kekasarannya permukaannya juga bertambah sehingga kekasaran film tipis yang ditumbuhkan di atas SiO₂ juga dipengaruhi oleh kekasaran SiO₂ itu sendiri.

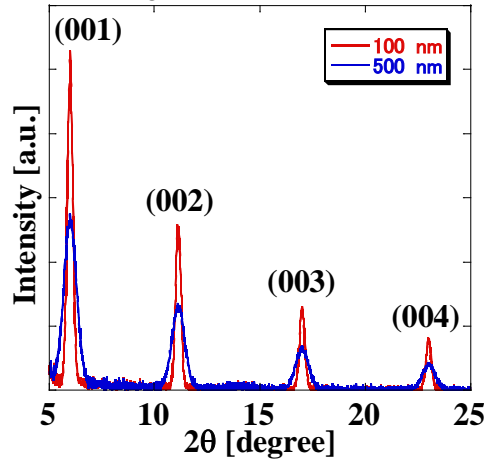
Gambar 4 menunjukkan pengaruh ketebalan SiO₂ terhadap arus drain pada karakteristik arus drain-tegangan drain. Saat tegangan drain sama dengan tegangan gate sama dengan -5 V, arus drain bertambah dari 9 nA ke 70 nA. Dari Gambar 4 dan rumus pada Tabel 1, mobilitas lubang terhitung meningkat dari 0.03 cm²/(Vs) ke 0.1 cm²/(Vs) ketika ketebalan dari lapisan SiO₂ berkurang dari 500 nm ke 100 nm. Nilai mobilitas ini hampir mendekati nilai simulasi yakni 0.125 cm²/(Vs) (Kumar, 2013).

Pentacene merupakan semikonduktor jenis p yang pembawa mayoritasnya adalah lubang. Hamburan kekasaran permukaan yang disebabkan ketidakberaturan antarmuka bisa mengurangi mobilitas lubang pada antarmuka. Dengan demikian besar arus yang berbanding lurus dengan mobilitas juga akan berkurang.

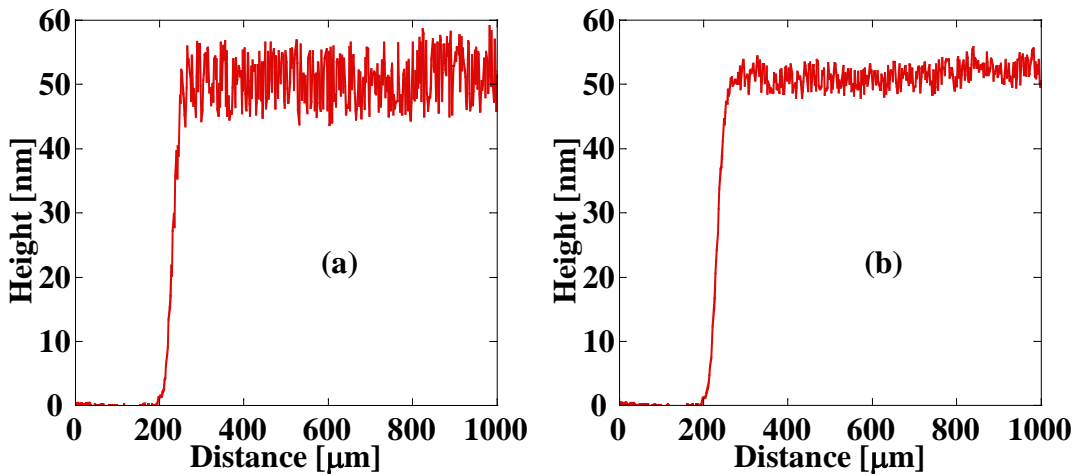
Gambar 5 menunjukkan pengaruh ketebalan SiO₂ terhadap arus drain pada karakteristik arus drain-tegangan gate. Saat tegangan drain = tegangan gate = -5 V, arus drain bertambah dari 9 nA ke 70 nA. Selain itu, tegangan thresholdnya bergeser dari 1 V ke

-1.1 V. Ketika ketebalan SiO₂ berkurang menjadi 100 nm, arus bocor pada tegangan 2 V berkurang secara signifikan dari 1×10^{-10} A menjadi 3×10^{-11} A. Saat ketebalan SiO₂ bertambah dari 100 nm ke 500 nm, kecacatan kristal SiO₂ diperkirakan bertambah sehingga tegangan tembus SiO₂ nya menjadi berkurang

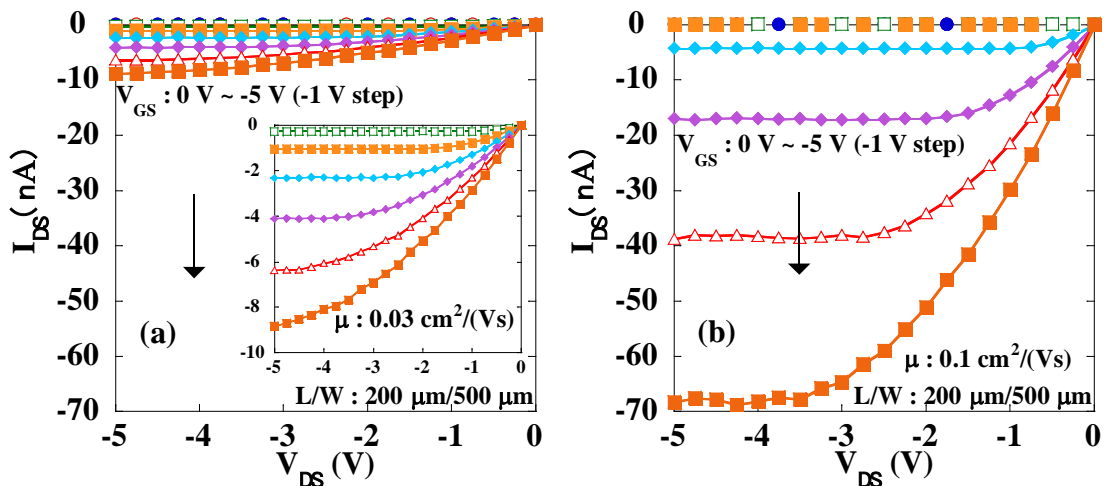
dan karakteristik insulasinya berkurang. Jika karakteristik insulasinya berkurang, arus bocor akan meningkat sehingga mengurangi *on off ratio* Sementara menurut literatur , tegangan tembus SiO₂ dan pentacene masing-masing adalah sekitar 8 MV/cm dan 1 MV/cm (Chang Hyun, 2011).



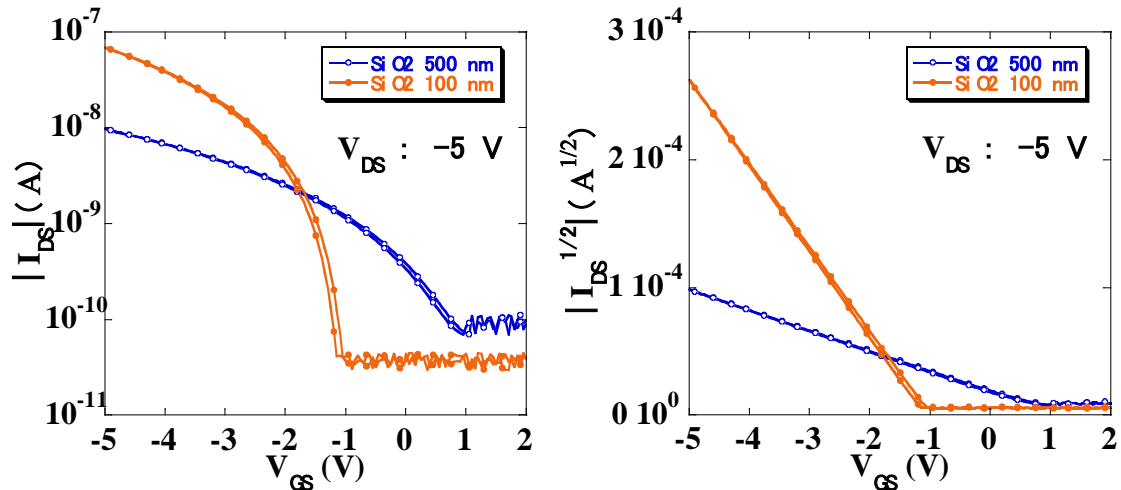
Gambar 2 Pengaruh ketebalan SiO₂ terhadap kristalinitas pentacene



Gambar 3 Pengaruh ketebalan SiO₂ terhadap kekasaran pentacene (a) SiO₂ 500 nm (b) SiO₂ 100 nm



Gambar 4 Pengaruh ketebalan SiO₂ terhadap arus drain pada karakteristik arus drain-tegangan drain dari transistor efek medan organik pentacene (a) SiO₂ 500 nm (b) SiO₂ 100 nm



Gambar 5 Pengaruh ketebalan SiO₂ terhadap arus drain pada karakteristik arus drain-tegangan gate dari transistor efek medan organik pentacene (a) I_D-V_G (b) |I_D|^{1/2}-V_G

Tabel 1 Rumus transistor efek medan kanal p

Kondisi	Tegangan	Arus
<i>Cut off</i>	$V_{SG} \leq V_T $	$I_{SD} = 0$
<i>Linier</i>	$V_{SG} > V_T $ $, V_{SD} \leq V_{SG} - V_T $	$I_{SD} = \frac{\mu C_{ox} W}{L} \left[V_{SG} - V_T V_{SD} - \frac{V_{SD}^2}{2} \right]$
<i>Saturation</i>	$V_{SG} > V_T $ $, V_{SD} > V_{SG} - V_T $	$I_{SD} = \frac{\mu C_{ox} W}{L} \frac{(V_{SG} - V_T)^2}{2}$

SIMPULAN DAN SARAN

Transistor film tipis organik pentacene yang berstruktur top contact telah difabrikasi. Hasil menunjukkan bahwa mobilitas lubang dari pentacene untuk meningkat dari 0.03 cm²/(Vs) ke menjadi 0.1 cm²/(Vs) ketika ketebalan lapisan insulator gate berkurang dari 500 nm menjadi 100 nm. Kesimpulannya adalah karakteristik pentacene sangat bergantung terhadap jenis lapisan dimana ia ditumbuhkan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih ditujukan kepada *Tokyo Institute of Technology* yang telah memberikan kontribusi dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Akichika, Kumatani. 2013. *On Practical Charge Injection at the Metal/Organic Semiconductor Interface*. London. Nature.

Chang Hyun, Kim. 2011. *Capacitive behavior of pentacene-based diodes*. Maryland : American Institute of Physics.

D. Knipp. 2002. *Polycrystalline pentacene thin films for large area electronic applications*. Amsterdam. Elsevier.

Hsiao-Wen, Zan. 2007. *Low-voltage organic thin film transistors with hydrophobic aluminum nitride film as gate insulator*. Amsterdam. Elsevier.

Kumar, Brijesh. 2013. *Modeling of top and bottom contact structure organic field effect transistors*. New York. AVS Science & Technology of Materials, Interfaces, and Processing.

Mandal, Tapendu. 2013. *Thin film transistors fabricated by evaporating pentacene under electric field*. Maryland : American Institute of Physics.

Neamen, D.A., 2003. *Semiconductor Physics and Devices*. New York: McGraw Hill

- Tardy, Jacques. 2013. *Stability of pentacene transistors under concomitant influence of water vapor and bias stress*. Amsterdam. Elsevier.
- Wei, Chia-Yu. 2011. *Low-Operating-Voltage Pentacene-Based Transistors and Inverters With Solution-Processed Barium Zirconate Titanate Insulators*. New Jersey. IEEE ELECTRON DEVICE LETTERS.
- Zhu, Zheng Tao. 2002. *Humidity sensors based on pentacene thin-film transistors*. New York : Applied Physics Letters.