

Karakteristik Morfologi Permukaan Katalis Pt untuk Deposisi Silicon Nanowire

Andhy Setiawan²⁾, Altje Latununuwe³⁾, Toto Winata¹⁾, Sukirno¹⁾.

1) Laboratorium Fisika Material Elektronik ITB, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132.

2) Program Studi Fisika Universitas Pendidikan Indonesia (UPI), Jl. Dr. Setiabudhi No. 229 Bandung 40154

3) Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP Universitas Pattimura, Ambon.

E-mail: andhys@upi.edu, sukirno@fi.itb.ac.id

Abstrak: Proses penumbuhan material silicon nanowire menggunakan metode yang berbasis *chemical vapor deposition* (CVD) merupakan proses penumbuhan berkatalis. Mekanisme penumbuhan seperti ini terdiri atas tiga tahap, yaitu tahap nukleasi, pengendapan dan deposisi. Tahap nukleasi memegang peranan yang sangat penting karena sangat menentukan pada keberhasilan proses-proses berikutnya. Telah dilakukan penelitian berkenaan dengan tahap nukleasi tersebut, dengan menggunakan Platina (Pt) sebagai katalis. Lapisan tipis Pt ditumbuhkan di atas substrat silicon wafer dan glass corning dengan metode sputtering menggunakan fine coat sputter, diikuti proses annealing masing-masing pada suhu 800 °C dan 400 °C. Hasil karakterisasi morfologi permukaan menggunakan scanning electron microscope menunjukkan bahwa, orientasi kristal silicon wafer yang digunakan sebagai substrat tidak berpengaruh pada morfologi permukaan lapisan katalis Pt. Ketebalan lapisan Pt berpengaruh pada pembentukan butiran berdiameter orde nano setelah proses annealing.

Kata kunci: morfologi permukaan, tahap nukleasi, katalis Pt

PENDAHULUAN

Silikon nanowire (SiNW) telah diidentifikasi sebagai komponen penting untuk nanodivais sensor dan elektronik masa depan. Material SiNW ini menarik perhatian para peneliti sehingga menjadi salah satu dari *top five hot research topics in physics* didunia [1].

Proses penumbuhan nanowire lazimnya merupakan proses penumbuhan berkatalis (*catalytic deposition*). Oleh sebab itu, proses pembuatan material tersebut harus didahului oleh proses penumbuhan katalis di atas substrat sebelum material tersebut ditumbuhkan di atasnya. Fungsi dari material katalis tersebut adalah sebagai partikel pemandu terbentuknya nanowire. Partikel katalis ini akan menjadi pemicu terjadinya nukleasi atom-atom material nanowire untuk membentuk suatu struktur yang diinginkan.

Selama ini, katalis emas (Au) atau katalis berbasis Au telah banyak digunakan dalam penumbuhan Si nanowire. Namun demikian emas dapat memerangkap elektron dan hole dalam Si dan menyebabkan munculnya masalah kontaminasi yang serius dalam pemrosesan *complementary metal oxide semiconductor* (CMOS) [2]. Hal ini karena kehadiran Au dapat membentuk state perangkap *mid-gap* dalam silikon sehingga dapat merusak kinerja divais [3]. Pada penelitian ini dipilih Pt sebagai kandidat katalis karena memiliki titik leleh yang tinggi, dapat dibuat menjadi nanopartikel dengan distribusi ukuran yang rapat, dan menunjukkan arus bocor yang rendah saat digunakan untuk membentuk dioda silikon, dibandingkan jika menggunakan emas [4]. Dengan demikian katalis yang terbentuk dapat diharapkan dapat digunakan dalam penelitian lebih lanjut mengenai deposisi SiNW dan divais yang berdasar padanya.

Terbentuknya butiran nanopartikel metal sebagai katalis sangat berpengaruh dalam deposisi SiNW.

Selain itu ukuran butir nanopartikel berpengaruh pada ukuran diameter wire yang akan terbentuk. Semakin kecil ukuran butir katalis, maka diameter nanowire yang dapat ditumbuhkan juga akan semakin kecil.

Pada paper ini dibahas mengenai eksperimen penumbuhan lapisan katalis Pt di atas substrate wafer silikon dan glass corning. Ekeperimen ini merupakan tahap awal dari eksperimen deposisi SiNW. Hasil eksperimen ini akan digunakan dalam penumbuhan SiNW menggunakan metode *plasma enhanced chemical vapor deposition* (PECVD). Paper ini hanya membahas mengenai hasil eksperimen penumbuhan nanopartikel Pt sebagai katalis.

LANDASAN TEORI

Nanowire biasanya didefinisikan sebagai padatan solid berbentuk silinder, seperti kawat, yang memiliki diameter kurang dari sepuluh nanometer sampai beberapa ratus nanometer dengan panjang sampai orde mikrometer, dapat berbentuk amorf, kristalin maupun polikristalin. Nanowire dapat dibuat dari material metal maupun semikonduktor.

Dalam semikonduktor bulk, gerak pembawa tidak dibatasi pada tiga arah spasial. Nanostruktur mengurangi satu atau lebih dimensi menjadi nanometer dalam skala panjang sehingga menyebabkan kuantisasi energi pembawa berhubungan dengan gerak sepanjang arah tersebut [5]. Pada nanowire pengurangan skala terjadi pada arah dua dimensi sehingga terjadi kuantisasi energi berkaitan dengan keterbatasan gerak pada dua dimensi tersebut. Hal ini sering dikenal sebagai quantum confinement 2-D atau quantum wire. Akibatnya pergerakan partikel

pada material seperti ini termanipulasi pada arah satu dimensi, yaitu sepanjang nanowire tersebut.

Karakteristik suatu partikel, khususnya elektron, di dalam material nanowire sangat berbeda dengan karakteristik partikel pada material konvensional. Material nanostruktur 1-D (nanowire) memiliki karakteristik *density of states* elektron yang hampir mendekati karakteristik *density of states* elektron pada quantum dot, yaitu adanya beberapa nilai energi yang memiliki jumlah states yang tak berhingga, atau dikenal dengan istilah *van Hove Singularities*. Material yang memiliki karakteristik seperti ini dapat menyimpan sangat banyak elektron dalam nilai energi tersebut sehingga akan menguntungkan sekali jika dikembangkan menjadi devais elektronik.

Mekanisme Penumbuhan SiNW dapat dibagi ke dalam tiga tahap, yaitu nukleasi (*nucleation*), pengendapan (*precipitation*), dan penumbuhan (*deposition*). Tahap nukleasi pada dasarnya merupakan pembentukan katalis metal nanopartikel.

Pada tahap nukleasi partikel metal berukuran nano dibentuk pada substrat. Partikel berukuran nano ini dapat dibentuk dengan cara membuat lapisan metal sangat tipis, kemudian di-annealing pada suhu diatas eutectic point-nya, untuk memecah lapisan tersebut menjadi *discrete island*. Diameter butiran (*island*) ini sekitar 10-20 nm [6].

Pt tidak membentuk eutectic yang sederhana dengan Si. Terdapat beberapa campuran platinum silikon yang stabil pada range suhu antara 800-1000 °C. Selain itu terdapat eutectic yang terbentuk antara PtSi dan Si pada suhu 979 °C, sehingga pada temperatur diatasnya dan pada konsentrasi Si yang tinggi, terjadi penguapan secara termodinamika dan terjadi pengendapan Si murni.

Penumbuhan SiNW di bawah suhu 979 °C dapat dijelaskan oleh dua mekanisme yang memungkinkan. Pertama, karena nanopartikel Pt mulai meleleh (paling tidak pada permukaan) pada suhu sekitar 600 °C, yaitu sekitar 1000 °C lebih rendah dari titik leleh bulknya, sehingga diagram fase bulk tidak dapat digunakan secara akurat untuk merepresentasikan transisi fase yang terjadi pada ujung nanopartikel katalis. Dalam tinjauan yang lebih sederhana, semua batas fase harus bergeser ke temperatur yang lebih rendah. Kedua, karena nanopartikel Pt tidak meleleh secara keseluruhan, dan berperan sebagai bidang aktif untuk dekomposisi dan pengendapan prekursor secara cepat. Film tipis yang ditumbuhkan di atas Si dan di-annealing pada suhu 800 °C dalam atmosfer hidrogen membentuk island PtSi yang kemudian dapat digunakan sebagai katalis dalam penumbuhan SiNW pada suhu antara 500 dan 700 °C.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini digunakan metode eksperimen. Adapun langkah-langkahnya yaitu dimulai dengan pencucian substrat, penumbuhan lapisan tipis Pt, dilanjutkan dengan proses annealing, dan karakterisasi morfologi permukaan katalis.

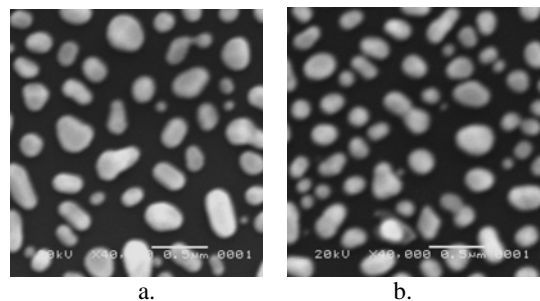
Substrat yang digunakan adalah silikon wafer (100) dan (111), dan gelas korning. Pencucian substrat silikon wafer menggunakan acetone dan metanol masing-masing selama 5 menit dan diikuti pencucian menggunakan di-water. Setelah itu substrat dimasukkan pada larutan HF 20 % selama tiga menit untuk menghilangkan SiO₂ yang terdapat pada permukaan substrat. Kemudian dicuci lagi menggunakan di-water. Selanjutnya substrat disemprot menggunakan nitrogen kering. Pencucian substrat gelas korning hampir sama dengan pencucian substrat silikon wafer, bedanya pada pecucian gelas korning tidak perlu menggunakan HF.

Penumbuhan lapisan Pt dilakukan di atas substrat yang telah dibersihkan tersebut. Lapisan tipis Pt ini ditumbuhkan dengan metode sputtering menggunakan Fine Coat Ion Sputter JFC-1600. Penumbuhan dilakukan selama 4 dan 2 menit (dengan estimasi ketebalan 40 dan 20 nm). Lapisan Pt di atas substrat silikon wafer di-annealing pada suhu 800 °C, dan lapisan Pt di atas substrat gelas korning di-annealing pada suhu 400 °C.

Untuk mengetahui karakteristik morfologi permukaan lapisan katalis Pt dilakukan dengan *scanning electron microscope* (SEM) menggunakan JEOL JSM6360LA Analytical Scanning Electron Microscope

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan Hasil penumbuhan lapisan katalis Pt yang dilakukan dengan cara menumbuhkan lapisan tipis menggunakan metode *fine coat ion sputtering* selama 4 menit, dilanjutkan dengan rapid annealing pada temperatur 800 °C selama 20 menit dalam lingkungan nitrogen, dapat dibahas sebagai berikut. Berdasarkan estimasi laju deposisi diperkirakan ketebalan lapisan Pt yang ditumbuhkan selama 4 menit tersebut adalah 40 nm. Gambar 1 menunjukkan hasil karakterisasi morfologi permukaan lapisan katalis metal nanopartikel Pt dengan menggunakan SEM.



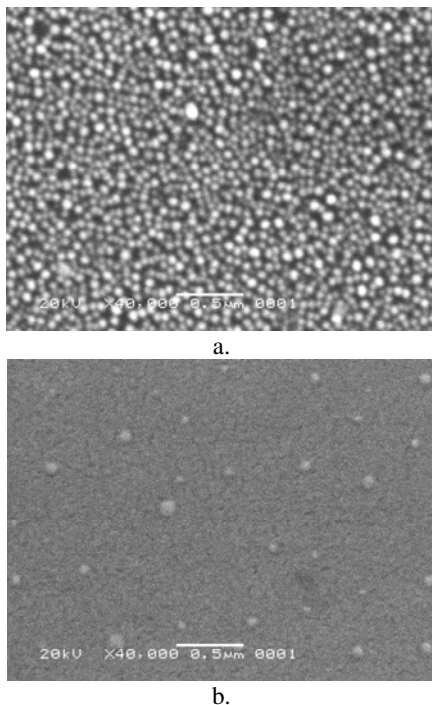
Gambar 1: Citra SEM permukaan (perbesaran 40000x) lapisan katalis metal nanopartikel Pt di atas substrat silicon wafer a. (100) dan b. (111)

Berdasarkan hasil SEM tersebut dapat diketahui bahwa lapisan katalis Pt yang ditumbuhkan pada substrat silicon wafer (100) dan (111) memiliki kesamaan morfologi permukaan. Pada keduanya telah terbentuk butiran dengan diameter dalam orde

nano, tetapi ukuran butiran tersebut belum homogen. Hal yang dapat dilakukan untuk memperbaiki ketidakhomogenan ini antara lain dengan mengurangi ketebalan lapisan tipis Pt, dan menambah waktu annealing.

Selanjutnya hasil penumbuhan lapisan katalis Pt menggunakan metode yang sama selama 2 menit, dengan estimasi ketebalan lapisan yang tumbuh sekitar 20 nm dapat dibahas sebagai berikut. Penumbuhan lapisan tipis dilakukan di atas substrat silikon wafer (100) dan *corning glass* (sebagai alternatif substrat selain silikon wafer). Kedua sampel tersebut kemudian di-annealing masing-masing pada temperatur 800 °C untuk lapisan Pt di atas substrat Si (100) dan 400°C untuk lapisan Pt di atas substrat *corning glass* selama 30 menit, dalam lingkungan nitrogen. Hasil karakterisasi morfologi permukaan lapisan katalis metal nanopartikel Pt menggunakan SEM ditunjukkan pada gambar 2.

Pada citra SEM gambar 2a nampak bahwa berkurangnya ketebalan lapisan Pt berpengaruh pada ukuran butir yang terbentuk setelah proses annealing. Selain itu, pengurangan ketebalan lapisan Pt dan penambahan waktu annealing telah berhasil memperbaiki homogenitas ukuran butir. Hal ini dapat diketahui dengan membandingkan citra SEM pada gambar 2a dan gambar 1.



Gambar 2 Citra SEM permukaan (perbesaran 40000x) lapisan katalis metal nanopartikel Pt di atas substrat a. silikon wafer (100), dan b. *corning glass*

Hasil ini dapat direkomendasikan untuk dilanjutkan ke tahap berikutnya dalam penumbuhan SiNW. Diperkirakan penumbuhan SiNW di atas substrat silikon wafer berkatalis Pt dengan morfologi seperti pada

gambar 2a, dapat dilakukan pada suhu antara 500-700 °C, seperti yang dijelaskan pada landasan teori.

Pada citra SEM gambar 2b telah nampak adanya pembentukan butiran Pt dalam orde nanometer di atas substrat *corning glass*. Untuk memperbaiki homogenitas dan distribusi butiran Pt di atas substrat *corning glass* masih diperlukan optimasi temperatur annealing.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen ini dapat disimpulkan sebagai berikut. Pertama, orientasi kristal silikon wafer yang digunakan sebagai substrat tidak berpengaruh pada morfologi permukaan lapisan katalis Pt. Kedua, ketebalan lapisan Pt berpengaruh pada pembentukan butiran berdiameter orde nano setelah proses annealing.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan banyak terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat Institut Teknologi Bandung, atas dana Riset KK tahun 2008 yang diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana

PUSTAKA

- [1] Giles, J., 2003, Top Five in Physics, *Nature* 441, 265.
- [2] Yewu Wang, Volker Scemidt, Stephan Senz, and Ulrich Gösele, 2006, Epitaxial Growth of silicon Nanowire Using an Aluminium Catalyst, *Nature Nanotechnology*, Vol. 1, 186-189.
- [3] Eric C. Garnett, Wenjie Liang, and Peidong Yang, 2007, Growth and Electrical Characteristic of Platinum-Nanoparticle-Catalyzed Silicon Nanowires, *Adv. Mater.*, 19, 2946-2950.
- [4] H. Song, F. Kim, S. Connor, G.A. Somorjai, P.D. Yang, 2005, *J. Phys Chem B*, 109, 188.
- [5] Kelsell, R.W., Hamley, I.W., Geoghegan, M., 2005, *Nanoscale Science and Technology*, John Wiley & Sons, Ltd., England.
- [6] Y. Civale, L. K. Nanver, P. Hadley, E. J. G. Goudena, Delft University of Technology, 692-696.
- [7] T. Baron, M. Gordon, F. Dhalluin, C. Temon, P. Ferret, P. Gentile, 2006, *Appl. Phys. Lett.*, 89, 233111.