

Identifikasi Gugus SiH_x (x=1,2 dan 3) pada Silikon Berpori dari Substrat Si (111) Tipe-P

Muhammad Anas¹⁾, I Nyoman Sudiana²⁾, dan Muhammad Jahiding²⁾

¹⁾Pendidikan Fisika FKIP Universitas Halu Oleo, Kendari, Sulawesi Tenggara Jurusan

²⁾Fisika FMIPA Universitas Halu Oleo, Kendari, Sulawesi Tenggara Jurusan

e-mail : muh_anas@yahoo.com

Abstrak

Telah dilakukan identifikasi gugus fungsional SiH_x (x = 1, 2, 3) pada silikon berpori Si (111) type p dengan menggunakan spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Sample dibuat dengan cara anodisasi wafer silikon dalam larutan asam hidrofluor (HF) dengan resistivitas substrat 0,3 ohm-cm. Pengaruh konsentrasi larutan HF dan waktu anodisasi terhadap gugus fungsional permukaan silikon berpori kemudian dievaluasi. Konsentrasi larutan HF divariasikan pada 10% , 20%, 30%, dan 40%, dan waktu anodisasi divariasikan pada 10, 20, 40, dan 60 menit untuk tiap konsentrasi. Selama proses anodisasi digunakan magnetik stirer untuk menjaga homogenitas larutan. Hasil FTIR menunjukkan gugus SiH ditemukan pada daerah serapan 2112-2100 cm⁻¹, 920-890 cm⁻¹ dan 856 cm⁻¹ untuk semua konsentrasi HF. Sementara semakin lama waktu anodisasi semakin berkurang gugus SiH yang terbentuk. Mekanisme ini dapat digunakan untuk mengontrol pembentukan pori dalam wafer silikon.

Kata kunci: Porous Silicon, Gugus Fungsional, waktu anodisasi, dan FTIR.

Abstract

Study of identification of functional group SiH_x (x=1, 2, 3) to type-p Si (111) by using a Fourier Transform Infrared (FTIR) spectrophotometer have been performed. Samples were prepared by anodization of silicon wafer in 0,3 ohm-cm hydrofluoric (HF). The effects of HF concentrations and anodization time on Porous Silicon (PS) functional groups were then examined. HF concentration was varied to 10%, 20%, 30% and 40% while the anodization time was varied to 10, 20, 40 and 60 minutes respectively. The anodization used a magnetic stirrer to keep the homogeneity of the solution. The existence of SiH groups is characterized by FTIR spectrophotometer. The FTIR results show that SiH group functional appears around absorbtion area of 2112-2100 cm⁻¹, 920-890 cm⁻¹ and 856 cm⁻¹ for all HF concentrations. In addition, the longer time anodization the fewer of SiH groups formed. These mechanism can be used to control pores in silicon wafer.

Keywords : porous silicon (PS), functional group, anodization time, and FTIR.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Salah satu ciri utama silikon berpori adalah struktur porinya berukuran nanometer dan adanya hidrogen (H) pada lapisan permukaannya [1]. Atom H berkaitan dengan Si dalam bentuk SiH_n (n= 1, 2, 3) yang merupakan pusat rekombinasi radiatif pada peristiwa fotoluminisensi dan elektroluminisensi. Keberadaan gugus SiH_x pada material berbasis Si diteliti menggunakan spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Vinegoni menunjukkan bahwa letak

puncak serapan SiH berada di sekitar 2197 cm⁻¹, 2087 cm⁻¹, 979 cm⁻¹, dan 661 cm⁻¹, SiH₂ di sekitar 906 cm⁻¹, serta puncak serapan SiH₃ berada di sekitar 2140 cm⁻¹[2]. Silikon berpori memiliki luas permukaan dengan besar mencapai ~ 200 m²/cm³. Sifat luminesensi material berbasis silikon seperti a-Si:H memiliki permukaan terpasivasi hidrogen yang mengisi ikatan kosong (*dangling bond*) [3-4]. Disamping itu, kehadiran atom H dapat bertindak sebagai pusat rekombinasi nonradiatif dan menentukan celah pita mengantarkan pelebaran pita senjang (*band gap*) dari a-Si:H.

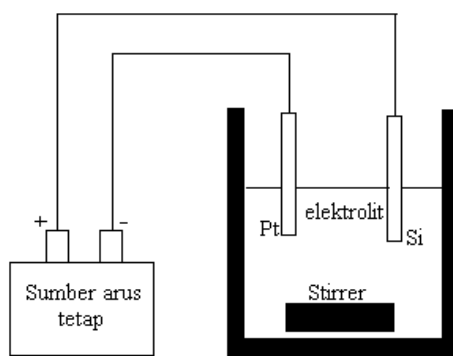
Berdasarkan uraian di atas, PS adalah salah satu obyek penelitian yang menarik untuk dikembangkan. Hasilnya tergantung pada resistivitas wafer Si, rapat arus, konsentrasi HF, ukuran pori, porositas, dan tekstur material. Beberapa peneliti telah melakukan dan mempublikasikan pembentukan gugus SiH_n ($n=1, 2, 3$) pada silikon berpori, namun belum banyak artikel yang memuat pengaruh konsentrasi larutan HF dan waktu anodisasi dengan gugus SiH_x ($x=1, 2, 3$) [6-7]. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan variasi waktu anodisasi dan konsentrasi larutan HF terhadap pembentukan gugus SiH_x ($x=1, 2, 3$) pada silikon berpori dengan substrat Si (111) tipe p. Manfaat menentukan gugus fungsional SiH pada silikon berpori ini adalah untuk mengetahui senyawa-senyawa apa saja yang terdapat pada permukaan PS dan menentukan adanya gugus

fungsional SiH_x ($x=1, 2, 3$), dengan referensi-referensi yang ada.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan Utama

Bahan utama dalam pembuatan silikon berpori yang digunakan dalam penelitian adalah wafer silikon tip-p dengan orientasi (111), larutan HF dengan konsentrasi 40 %, 30 %, 20%, dan 10 % dan platina kadar 75 % ukuran 2 cm x 2 cm. Bahan-bahan pendukung adalah aquades, etanol dan aseton. Alat utama yang digunakan adalah wadah teflon, stirring bar, sumber arus tetap, XRD, dan SEM. Rangkaian peralatan pada proses fabrikasi silikon berpori dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian alat fabrikasi silikon berpori

2.2 Prosedur Pembuatan Porous Silicon

Pembentukan PS dilakukan berdasarkan langkah-langkah berikut yaitu wafer Si dipotong dengan ukuran 2 cm x 2 cm kemudian dicuci dengan menggunakan aquades, etanol dan aseton lalu dikeringkan dan diletakkan dalam wadah yang tertutup. Teflon berisi larutan HF diletakkan di atas stirring bar, kemudian stirer dimasukkan ke dalam teflon. Wafer silikon dan logam platina dibenamkan dalam larutan HF 40% dimana wafer silikon dihubungkan dengan kutub positif dan logam platina dihubungkan dengan kutub negatif dengan rapat arus konstan 50 mA/cm^2 . Sumber arus diaktifkan dan anodisasi dilakukan selama 10 menit. Sampel dikeluarkan, dicuci dengan aquades, dikeringkan di udara terbuka, dan disimpan dalam kotak tertutup. Prosedur di atas diulangi untuk waktu anodisasi 20 menit, 40 menit, dan

60 menit dan konsentrasi larutan HF 30%, 20%, dan 10%. Detail dari eksperimen ini telah diuraikan pada publikasi sebelumnya [5-6]

2.3 Karakterisasi Dengan FTIR

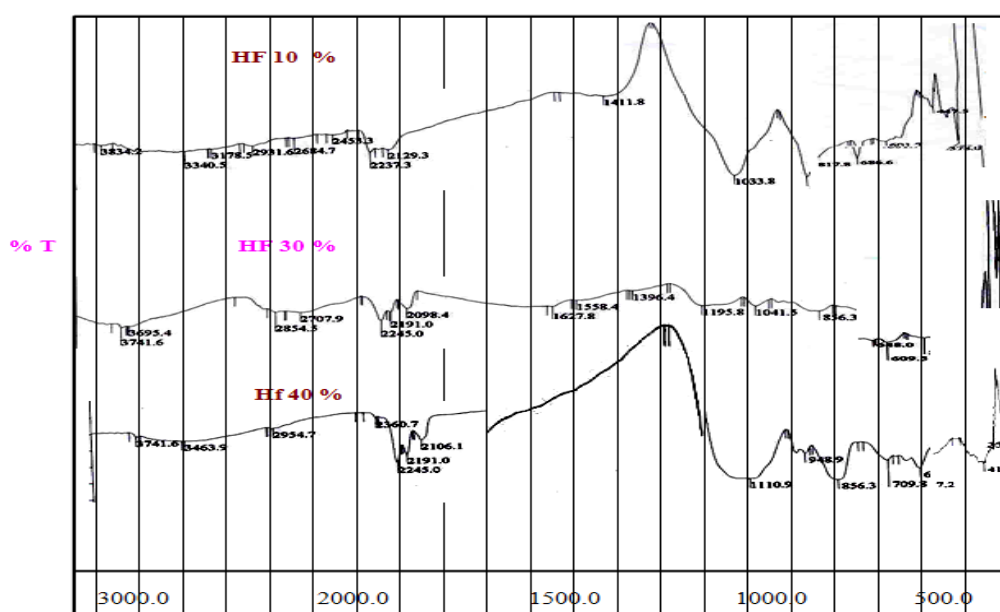
Setelah permukaan silikon berpori terbentuk, untuk mengidentifikasi keberadaan spesies SiH dalam film, maka dilakukan karakterisasi menggunakan spektrofotometer *Transformation Infrared* (FTIR) tipe 8201 PC Shimadzu. Karakterisasi lapisan permukaan silikon berpori dilakukan pada panjang gelombang $400\text{ cm}^{-1} - 4000\text{ cm}^{-1}$. Spektrogram dari spektrofotometer FTIR menampilkan hubungan antara transmitansi (T) dengan bilangan gelombang (k). Spektrogram FTIR ini diinterpretasi seperlunya untuk memperoleh gambaran posisi spesies SiH_x ($x = 1, 2, 3$) pada masing-masing sampel.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Gugus Fungsional SiH_x pada Permukaan PS

Karakterisasi lapisan permukaan silikon berpori dilakukan pada panjang gelombang 400 cm^{-1} – 4000 cm^{-1} dan resistivitas substrat $3\ \Omega\text{cm}$. Spektrogram dari FTIR menampilkan hubungan antara transmitansi (T) dengan bilangan gelombang (k). Dari sampel-sampel yang dihasilkan, terlihat bahwa masing-masing sampel tersebut banyak menunjukkan terjadinya banyak puncak-puncak serapan tajam. Sedangkan pada PS silikon yang belum teranodisasi, kita mengamati tidak banyak menampilkan banyak puncak serapan, bahkan tidak satupun yang menunjukkan adanya gugus SiH. Puncak serapan yang muncul hanya yang terkait dengan wafer silikon itu sendiri. Hal ini menunjukkan bahwa proses anodisasi dapat menyebabkan perubahan sifat pada substrat wafer silikon membentuk silikon berpori.

3.2 Pengaruh konsentrasi larutan HF terhadap gugus Fungsional SiH silikon berpori



Gambar 2. Hasil FTIR wafer Si dan PS dengan konsentrasi 10% , 30%, dan 40% teranodisasi selama 60 menit

Tabel 1. Hasil interpretasi serapan permukaan PS dengan HF 10% , 20%, 30%, dan 40% yang dianodisasi selama 60 menit

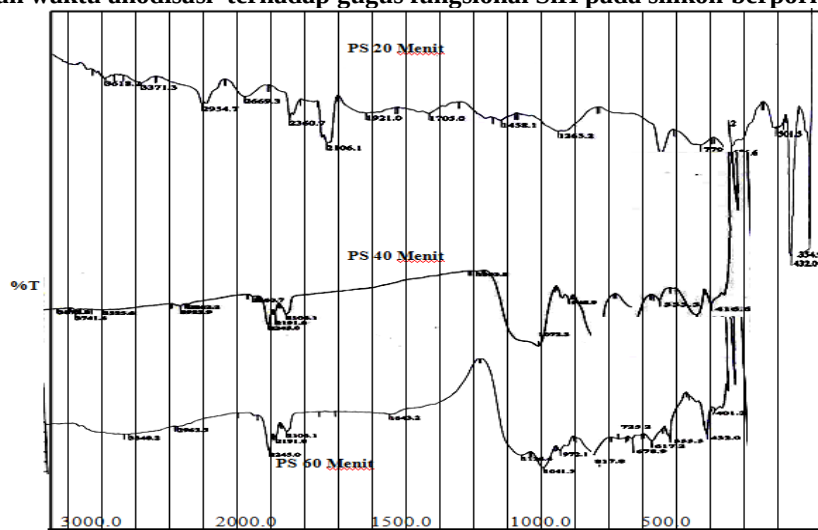
No	v referensi (cm^{-1})	k (cm^{-1})				Gugus fungsional
		PS 10%	PS 20%	PS 30%	PS 40%	
1.	2112-2100	-	-	-	2110,6	Stretching Si-H ₂
2.	1160-1056	-	-	-	1110,9	Stretching Si-O
3.	856	-	-	856,3	-	Waging SiH ₂
4.	~815	817,8	-	-	-	Si-F
5.	~616	-	-	-	617,2	Si-Si
6.	>2500	>2500	-	>2500	>2500	Gugus aromatik

Spektrum FTIR pada PS yang dianodisasi selama 60 menit dengan variasi konsentrasi larutan HF ditunjukkan pada gambar 2 kemudian diinterpretasikan pada Tabel 1. Dari gambar dan tabel yang ditampilkan, terlihat bahwa hanya didapatkan gugus SiH_2 yang berada pada daerah dengan konsentrasi HF 40% dan HF 30%. Sementara gugus SiH dan SiH_3 tidak tampak dari empat konsentrasi yang digunakan. Gugus SiH_2 yang ditemukan masing-masing berada pada daerah serapan $2110,6 \text{ cm}^{-1}$ diidentifikasi sebagai Stretching SiH_2 dan pada daerah serapan 856 cm^{-1} yang diidentifikasi sebagai waging SiH_2 jadi disini terlihat bahwa gugus SiH ditemukan pada daerah dengan konsentrasi tinggi, sedangkan pada daerah dengan konsentrasi lebih rendah yakni 10% dan 20% tidak ada satupun yang menunjukkan adanya gugus SiH . Menurut Vinegoni, dkk (2000) larutan HF dengan konsentrasi tinggi menyebabkan rapat arus tinggi sehingga supply muatan katoda lebih besar, maka Si lebih mudah terlepas. Kondisi ini mendukung sifat larutan HF konsentrasi tinggi sebagai asam kuat, yaitu sangat mudah melepaskan ion H^+ dan sangat elektronegatif disekitar Si, sehingga ion H^+ lebih mudah berikatan dengan Si [2].

Kehadiran gugus lain juga ditemukan pada daerah dengan konsentrasi HF 10% dan HF 40%, yakni diidentifikasi merupakan Stretching Si-O yang berada pada daerah serapan $1110,9 \text{ cm}^{-1}$, Gugus Si-F yang berada pada daerah serapan $817,8 \text{ cm}^{-1}$ dan Si-Si pada

daerah serapan $617,2 \text{ cm}^{-1}$. Bentuk flourin (Si-F) pada PS hingga kini belum diketahui secara pasti. Hasil eksperimen peneliti sebelumnya menunjukkan bahwa gugus SiF_3 muncul di dinding pori [7]. selanjutnya ditemukan adanya gugus SiF dan SiF_2 dipermukaan PS (Banerjee dkk, 1994). Pada eksperimen Petit, dkk (1997) menunjukkan bahwa flourin hanya berasal dari sisa elektrolit dalam pori. Flourin sangat mudah digantikan oleh ikatan Si-OH. ketika bersentuhan dengan air di ruang terbuka. Dimana kedudukan flourin dalam ikatan digantikan dengan oksigen ketika PS dicuci dengan aquades. Sementara pada PS dengan konsentrasi HF 20%, untuk grafik dan tabelnya tidak ditampilkan dikarenakan tidak ada satupun yang menunjukkan adanya gugus SiH maupun gugus fungsional lain. ini diperkirakan karena sampel yang dihasilkan pada konsentrasi ini tidak maksimum sehingga banyak puncak serapan yang tidak tampak, Pada daerah dengan konsentrasi ini tidak memenuhi syarat untuk dianalisis. Sementara kehadiran gugus-gugus aromatik yang yakni pada daerah serapan $>2500 \text{ cm}^{-1}$ ditemukan pada tiap konsentrasi diatas. Dimana pada daerah dengan serapan ini sudah tidak dapat teridentifikasi. Dalam hal ini tidak diketahui secara pasti dan tidak ada referensi yang ditemukan sampai saat ini, yang menjelaskan bahwa didaerah serapan dengan bilangan gelombang ini adalah merupakan salah satu dari gugus fungsional.

3.3 Pengaruh waktu anodisasi terhadap gugus fungsional SiH pada silikon berpori



Gambar 3. Hasil FTIR wafer Si dan PS dengan konsentrasi 40% yang teranodisasi selama 20, 40, dan 60 menit

Gambar diatas menunjukkan spektrum FTIR dari permukaan PS yang dianodisasi dalam larutan HF 40% dengan variasi waktu 10 menit, 20 menit, 40 menit, dan 60 menit. Hasil interpretasi diperlihatkan pada tabel 2 berikut ini:

Tabel 2. Hasil interpretasi serapan permukaan PS dengan waktu anodisasi 10 , 20, 30, dan 40 menit dengan konsentrasi larutan HF 40 %

No	v referensi (cm ⁻¹)	k (cm ⁻¹)				Gugus fungsional
		10 menit	20 menit	40 menit	60 menit	
1.	2112-2100	-	2106,1	2106,1	2110,6	Stretching SiH ₂
2.	1056-1160	-	-	1126,4 1041,5	1110,9	Stretching Si-O
3.	920-890	-	918,1	-	-	Scissor SiH ₂
4.	~815	-	-	817	-	Si-F
5.	~616	-	-	617,2	617,2	Si-Si
6.	>2500	>2500	>2500	>2500	>2500	Gugus Aromatik

Dari gambar dan tabel diatas terlihat jelas bahwa ditemukan adanya gugus SiH yang teranalisis pada daerah serapan dengan waktu anodisasi 20 menit dan 60 menit. masing-masing teridentifikasi sebagai stretching SiH₂, berada pada daerah serapan 2106,1 cm⁻¹ pada PS 20 menit, 40 menit, dan 60 menit. Gugus SiH lainnya yang ditemukan adalah Scissor SiH₂ yang berada pada PS 20 menit, berada pada daerah serapan dengan bilangan gelombang 918,1 cm⁻¹. Sama seperti pada variasi konsentrasi sebelumnya, pada variasi waktu ini pula hanya ditemukan adanya gugus SiH₂. Gugus SiH lainnya (SiH dan SiH₃) tidak tampak atau ditemukan pada variasi waktu diatas. Pada PS 60 menit didapatkan adanya gugus Si-O yakni didaerah serapan 1110,9 cm⁻¹. kehadiran gugus lain seperti Si-F teranalisis pada daerah serapan 817 cm⁻¹. Flourin disini diprediksikan hanya berasal dari sisa elektrolit dalam pori. Gugus Si-Si hadir pula pada daerah serapan 617,2 cm⁻¹ yakni pada PS 40 menit dan 60 menit.

Gugus ini merupakan gugus fungsional yang tidak tersentuh dan berikatan oleh ikatan apapun. Pada PS 20 menit didapatkan gugus SiH yang lebih banyak dibandingkan pada PS 40 menit, dan 60 menit yakni gugus SiH₂. ini dikarenakan bahwa waktu anodisasi yang semakin lama itu akan semakin mempengaruhi kehadiran gugus SiH pada permukaan PS. Dimana waktu anodisasi

yang terlalu lama gugus SiH yang didapatkan semakin berkurang, atau bahkan mungkin tidak ada satupun gugus SiH yang ditemukan. ini tergantung pada porositas wafer silikon. Sementara waktu anodisasi singkat berpeluang untuk lebih banyak menghadirkan gugus SiH. Hal ini didasarkan pada penelitian Ressine, dkk [8], waktu anodisasi yang terlalu lama menyebabkan kedalaman lapisan tidak homogen akibat reaksi yang kontinu antara elektrolit dan permukaan wafer Si selama proses anodisasi [2]. Sementara pada PS dengan waktu anodisasi 10 menit tidak satupun ditemukan kehadiran gugus SiH maupun gugus fungsional lainnya. Gugus Aromatik ditemukan pula pada setiap variasi waktu seperti nampak pada Tabel 2.

IV. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan hasil dapat ditarik kesimpulan bahwa makin besar konsentrasi larutan HF yang digunakan semakin banyak gugus SiH_n yang terbentuk dan semakin lama waktu anodisasi semakin berkurang gugus SiH_n yang terbentuk. Mekanisme ini memegang peranan penting untuk pembentukan pori sehingga kita dapat mengontrol porositas wafer silicon.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada DP2M Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional yang telah membantu dalam pendanaan melalui Program Hibah Bersaing

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pérez, X. E.,. 2007. Design,Fabrication And Characterization of Porous Silicon Multilayer Optical Devices, Universitat Rovira, France
- [2] Vinegoni, C. Cazzanelli, M. Pavesi, L. 2000. Porous Silicon, Mocrocavity Pittsburgh.
- [3] C.N. Liyanage, D.J. Blackwood, 2014. Functionalization of a porous silicon impedance sensor. Thin solid film Vol. 550, No. 1. pp. 677-682.
- [4] Smith, RL. and Collins, SD. 1992. Porous Silicon Formation Mechanisms. J. Appl. Phys. Willey and Sons. New York.
- [5] Sudiana,IN, M.Anas, 2009. Fabrikasi dan Karakterisasi Struktur Silikon Berpori Untuk Sensor Gas NO_x(x=1,2,3). J. Aplikasi Fisika(JAF) FMIPA Unhalu Vol.4 No. 1, hal 86-91.
- [6] Sudiana,IN, M.Anas, Muhtiar, 2009. Desain Alat Karakterisasi Sifat Listrik Material Semikonduktor J. Aplikasi Fisika(JAF) FMIPA Unhalu Vol.5 No. 2, hal 86-91
- [7] Christophersen , M. , Langa , S. , Carstensen , J. , Tiginyanu , I.M. , and Foll , H. 2003) A comparison of pores in silicon and pores in III - V compound materials . Phys. Status Solidi A,197(1), 197
- [8] Ressine, A.; Marko-Varga, G., Laurell, T. 2007. "Porous silicon protein microarray technology and ultra-/superhydrophobic states for improved bioanalytical readout". Biotechnology Annual Review 13: 149–200.