

Pengaruh Laju Alir Gas CH₂FCF₃ Terhadap Laju Plasma *Etching* SiO₂ Pada *Quartz Crystal Microbalance*

Antonius Prisma J. P.¹⁾*, D. J. Djoko H. Santjojo.^{2,3)}, Masruroh^{2,3)}

¹⁾ Program Studi Magister Ilmu Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

²⁾ Jurusan Fisika, Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

³⁾ Pusat Penelitian Advanced System and Material Technology (ASMAT)

Diterima 01 Oktober 2016, direvisi 31 Oktober 2016

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian pengaruh laju alir gas pada proses plasma *etching* di atas permukaan kristal SiO₂. Proses plasma *etching* SiO₂ dilakukan dengan menggunakan reaktor plasma model *capacitively coupled plasma* (CCP). Plasma dibangkitkan dengan daya 100 W menggunakan generator AC berfrekuensi rendah dengan menggunakan gas CH₂FCF₃. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh dari perubahan aliran gas terhadap laju *etching* pada permukaan SiO₂. Laju alir yang digunakan pada rentang 20 – 40 mL/min di mana parameter lainnya dibuat tetap. Profil permukaan SiO₂ yang *teretching* dianalisa menggunakan *white-light profilometer* (*Topography Measurement System* (TMS 1200 Micro Lab)). Hasil penelitian menunjukkan proses *etching* pada permukaan SiO₂ dipengaruhi oleh mekanisme secara fisis dan *reactive ion etching* (RIE) di mana pada laju aliran gas rendah mekanisme secara fisis lebih dominan sedangkan pada laju aliran gas tinggi dipengaruhi oleh mekanisme RIE. Laju *etching* maksimum yang diperoleh 7,753 nm/min dicapai pada proses plasma *etching*.

Kata Kunci: plasma *etching*; laju *etching*; RIE; QCM

ABSTRACT

Effect of gas flow rate on the surface of quartz crystal SiO₂ during plasma etching was studied. The etching process was applied using the capacitively coupled plasma (CCP) reactor generated with 100 W power AC generator at low frequency of 40 kHz using a gas flow of CH₂FCF₃. The main objective of this study was to determine the effect of changing gas flow rate on the plasma etching rate on the SiO₂ surfaces. Gas flow rate was varied between 20-40 mL/min, while keeping all other plasma parameters constant. The etched surface of SiO₂ was analyzed using white-light profilometer (*Topography Measurement System* (TMS 1200 Micro Lab)). The results show the physical etching processes influenced the rate of etching at a low gas flow rate, while the higher flow rate influence reactive ion etching (RIE) in the etching process. The maximum etching rate is found at 7.753 nm / min achieved in plasma etching process.

Keywords: plasma etching; etching rate; RIE; QCM

PENDAHULUAN

SiO₂ (Silikon dioksida) merupakan material yang umum digunakan dalam perkembangan teknologi. Pada sensor QCM, terdapat suatu kepingan kecil terbuat dari material SiO₂ yang dibuat sedemikian rupa sehingga menjadi material piezoelektrik. Kepingan SiO₂ pada QCM ini akan bergetar ketika diberikan suatu

beda potensial yang dapat besarnya dapat diukur dengan pencacah frekuensi. Dalam aplikasinya, frekuensi getaran dari QCM akan mengalami penurunan jika diberi suatu beban di atas permukaan keping SiO₂. Selisih antara frekuensi awal QCM dengan setelah diberi beban dapat digunakan untuk mengukur berapa massa dari beban tersebut dengan persamaan Saurbrey [1].

$$\Delta f = -\frac{2f_0^2}{A\sqrt{\rho_q G_q}} \Delta m \quad (1)$$

*Corresponding author:

E-mail: antonius.prisma@gmail.com

Dimana

Δf = Perubahan frekuensi (Hz)

f_0 = Frekuensi awal QCM (Hz)

$\rho_q G_q$ = Densitas dan modulus *shear* dari QCM

Δm = Perubahan massa (gram).

Namun, ketika beban pada keping SiO₂ terlalu besar, penurunan frekuensi QCM yang terjadi juga tinggi yang berdampak pada peredaman getaran keping SiO₂. Akibatnya, tidak dapat dilakukan pengukuran massa dari beban. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan cara meningkatkan frekuensi awal dari QCM. Dari persamaan (1) didapatkan informasi perubahan frekuensi berbanding lurus dengan perubahan massa. Sehingga ketika massa dari keping SiO₂ dikurangi, maka diharapkan akan terjadi peningkatan dari frekuensi QCM. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi massa dari keping SiO₂ adalah dengan mengurangi ketebalan dari SiO₂ itu sendiri.

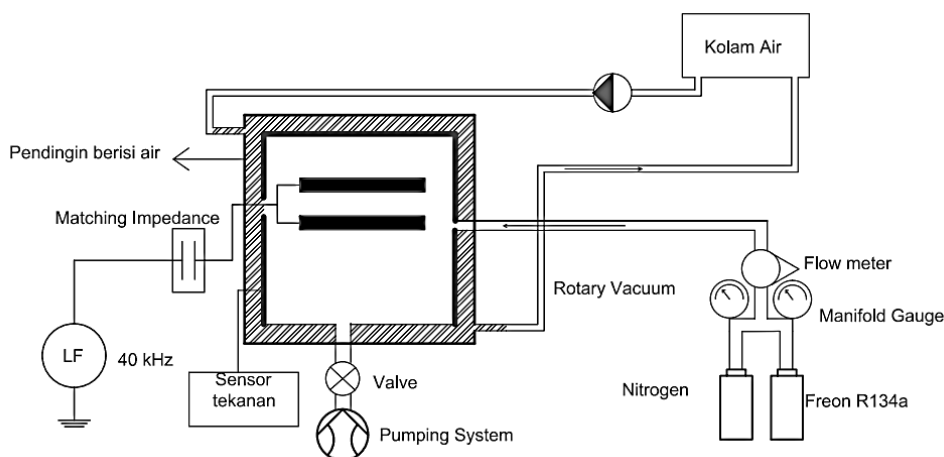
Metode *etching* SiO₂ adalah salah satu metode yang umum dilakukan pada proses modifikasi permukaan. Metode *etching* terbagi menjadi dua teknik, yaitu *wet etching* dan *dry etching* [2]. Pada penelitian ini, teknik yang digunakan adalah teknik *dry etching* menggunakan plasma. Plasma *etching* terbagi menjadi tiga mekanisme, yaitu plasma *etching* secara fisis, kimia, dan RIE (*Reactive Ion Etching*). Beberapa penelitian sebelumnya, dilakukan plasma *etching* SiO₂ menggunakan

gas CF₄ [3]. Penelitian dilakukan dengan sumber generator RF 13,56 MHz pada tekanan 5,8 mbar menghasilkan laju *etching* SiO₂ berkisar antara 50 nm/min untuk daya 70 W. Penelitian lainnya, digunakan gas CF₄/O₂ dan SF₆/O₂ sebagai sumber dan pada frekuensi 40 kHz telah dilakukan [4]. Penelitian dilakukan pada tekanan 0,5 mbar; 0,1 mbar; dan 0,15 mbar dengan daya 400 W, 600 W, dan 800 W. Hasilnya menyatakan besar laju *etching* pada SiO₂ dengan gas CF₄/O₂ sebesar 31,6 nm/min.

Gas CF₄, SF₆, dan C₂F₆ yang digunakan sebagai sumber gas merupakan gas dengan potensi pemanasan global (GWP) yang tinggi [5]. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan gas CH₂FCF₃ yang memiliki tingkat GWP jauh lebih rendah. Selain itu, proses plasma *etching* SiO₂ dilakukan pada frekuensi 40 kHz. Dari penelitian ini diharapkan laju *etching* SiO₂ menggunakan gas CH₂FCF₃ dapat mendekati 7 – 8 nm/min.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, *etching* dilakukan dengan menggunakan plasma. Skema reaktor plasma disajikan pada Gambar 1. Plasma dibangkitkan dengan menggunakan generator frekuensi rendah. Daya yang digunakan 100 watt dan sumber gas plasma adalah CH₂FCF₃. Parameter laju alir yang digunakan adalah 20 mL/min, 30 mL/min, dan 40 mL/min.



Gambar 1. Skema Reaktor Plasma

Keping SiO₂ yang akan di*etching* dibersihkan terlebih dahulu. Pada permukaan keping SiO₂ terdapat perak yang merupakan

elektroda dari sensor QCM. Perak tersebut dibersihkan dengan menggunakan larutan HNO₃. Untuk menghilangkan sisa larutan

HNO₃, QCM direndam di dalam aquades dan dipanaskan di dalam oven selama 10 menit untuk pengeringan. Setelah kering, kaki metal QCM dilepaskan dari keping SiO₂. Tahap berikutnya keping SiO₂ diberi lapisan masking dari kapton untuk melindungi bagian tepi keping SiO₂ yang tidak dietching. Selanjutnya, sampel dilekatkan di atas kaca agar keping SiO₂ diam di atas kaca dan bagian yang teretching hanya salah satu sisinya.

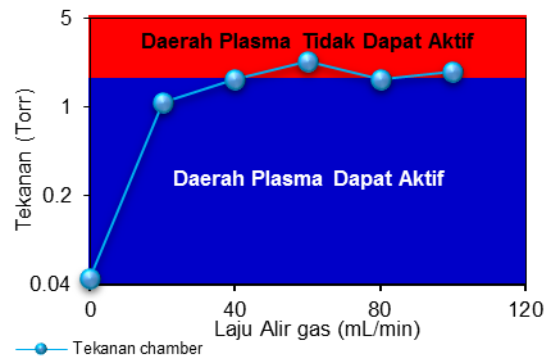
Proses etching dilakukan dalam beberapa tahapan. Sebelum sampel keping SiO₂ diletakkan di dalam reaktor, elektroda reaktor dibersihkan terlebih dahulu untuk mengurangi resistansinya. Kemudian sampel diletakkan pada bagian tengah elektroda bawah untuk memperoleh populasi plasma yang tinggi. Tahap berikutnya, dilakukan pemvakuman reaktor. Proses etching dilakukan selama 60 menit dengan variasi laju alir gas CH₂FCF₃ sebesar nilai 20 mL/min, 30 mL/min, dan 40 mL/min.

Keping SiO₂ yang telah dietching diukur kedalaman etchingnya dengan menggunakan white light profilometer. Pengukuran nilai kedalaman atau nilai z pada daerah masking dan daerah etching dilakukan dengan menggunakan TMS 1200 Micro Lab dengan perbesaran 10x. Setelah didapatkan nilai z, dilakukan penghitungan beda ketinggian antara daerah etching dan daerah masking. Selanjutnya dilakukan penghitungan laju etching berdasarkan selisih nilai z antara daerah masking dan daerah etching dibagi dengan lama proses etchingnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Laju aliran gas terhadap tekanan reaktor dan kestabilan plasma disajikan pada Gambar 2. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 kenaikan tekanan reaktor terjadi mengikuti peningkatan laju alir gas ke dalam reaktor. Penyebab terjadinya kenaikan tekanan adalah akibat penambahan jumlah partikel di dalam reaktor di mana volume dan temperatur reaktor adalah tetap. Pada laju alir lebih dari 40 mL/min, tidak terjadi peningkatan tekanan di dalam reaktor. Hal ini disebabkan karena besar laju alir gas yang masuk sebanding dengan throughput gas yang keluar. Disamping itu, plasma mengalami ketidakstabilan pada saat

tekanan tinggi. Plasma dapat aktif hanya pada laju alir tidak lebih dari 40 mL/min. Ketika laju alir dibuat lebih besar dari 40 mL/min maka plasma mati. Hubungan antara kenaikan tekanan reaktor terhadap besar laju alir gas disajikan pada Gambar 2.



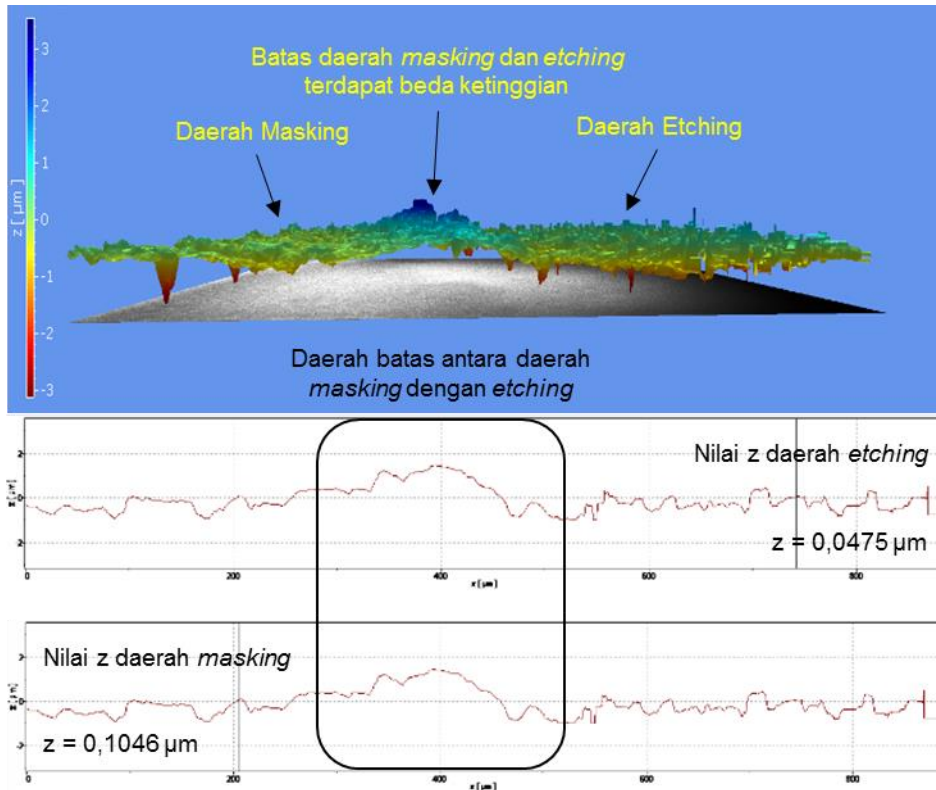
Gambar 2. Kenaikan Tekanan Reaktor terhadap Laju Alir Gas

Pada saat laju alir lebih dari 40 mL/min plasma menjadi mati, yaitu pada tekanan reaktor lebih dari 1,995 Torr. Ketika laju alir diperbesar tekanan di dalam reaktor meningkat akibat peningkatan populasi partikel di dalam reaktor. Tingginya populasi partikel berakibat pada turunnya jarak bebas antar partikel (*mean free path*) dan derajat ionisasi pada plasma. Ketika jarak antar partikel terlalu dekat, elektron yang akan menumbuk molekul tidak memiliki kesempatan untuk mempercepat diri. Akibatnya, kecepatan elektron cenderung rendah dan ketika menumbuk partikel netral besar kemungkinan elektron akan terpantulkan kembali dan tidak terjadi ionisasi. Hal ini yang mengakibatkan jumlah partikel netral lebih besar dari partikel ion sehingga mengakibatkan penurunan derajat ionisasi plasma.

Penentuan laju etching SiO₂ menggunakan gas CH₂FCF₃ dilakukan dengan mengukur kedalaman etching dibagi dengan lama waktu etching. Hasil interferogram dari scan TMS dapat dilihat pada Gambar 3. Dari hasil pengukuran nilai z dengan TMS, didapatkan nilai selisih antara daerah etching dengan daerah masking. Pada penentuan nilai laju etching dihitung dengan persamaan (2).

$$\text{laju etching} = \frac{\text{selisih nilai } z}{\text{waktu}} \text{ (nm/min)} \quad (2)$$

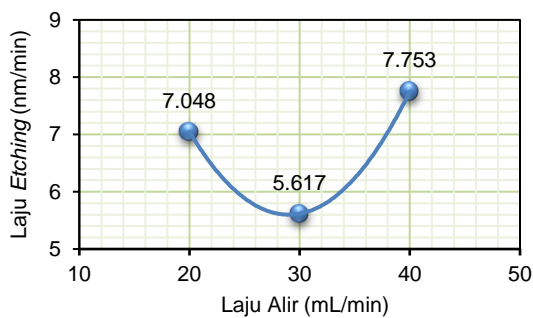
Hasil dari perhitungan laju etching ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 4.



Gambar 3. Gambar hasil scan TMS untuk Permukaan SiO_2

Tabel 1. Hasil pengukuran terhadap laju etching SiO_2 dengan menggunakan gas CH_2FCF_3

No.	Laju Alir	Lama Etching	Laju Etching (nm/min)
1	20 mL/min	60 menit	7,048
2	30 mL/min	60 menit	5,617
3	40 mL/min	60 menit	7,753

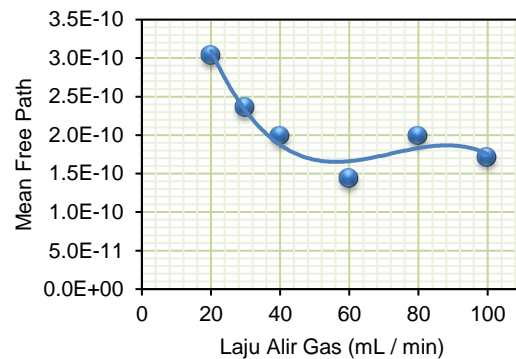


Gambar 4. Hubungan laju alir CH_2FCF_3 terhadap laju etching SiO_2 selama 60 menit

Proses plasma etching SiO_2 melibatkan dua jenis mekanisme, yaitu fisis dan RIE. Etching secara fisis yang memanfaatkan tumbukan partikel terjadi pada laju alir rendah. Hal ini disebabkan pada laju alir rendah *mean free path* partikel masih tinggi. Sehingga partikel bergerak lebih bebas dan lebih cepat. Semakin

cepat partikel bergerak maka semakin besar juga momentum dari partikel.

Nilai *mean free path* mengalami penurunan jika laju alir gas yang masuk diperbesar. Bertambahnya partikel di dalam reaktor mengakibatkan pergerakan partikel terbatas akibat pendeknya jarak antar partikel. Penurunan *mean free path* partikel pada saat plasma tidak aktif disajikan pada Gambar 5.



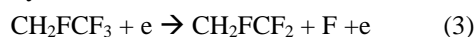
Gambar 5. Penurunan *mean free path* terhadap laju alir gas tanpa plasma diaktifkan

Etching secara fisis memanfaatkan momentum dari partikel plasma. Momentum partikel plasma didapatkan dari kecepatan partikel tersebut. Faktor medan listrik juga

dapat mempercepat mobilitas partikel plasma. Disamping itu, densitas partikel di dalam reaktor juga berpengaruh pada kecepatan partikel. Liu [6] juga menyatakan bahwa *mean free path* bergantung pada ukuran dan jumlah molekul, yaitu densitas gas dan tekanan. Ketika densitas partikel pada plasma meningkat, maka nilai dari *mean free path* partikel turun seperti pada Gambar 5. Akibat tingginya densitas partikel pada plasma, peluang partikel untuk saling bertumbukan lebih tinggi daripada tumbukannya dengan sampel. Hal inilah yang mengakibatkan penurunan terhadap laju etching secara fisis.

RIE terjadi dalam tiga tahapan, yaitu adsorpsi dan kemisorpsi, reaksi, dan desorpsi [7]. Proses adsorpsi dan kemisorpsi terjadi ketika atom reaktan menempel pada permukaan sampel. Knizikevicius [8] juga menyatakan bahwa pada tahap awal proses plasma etching, akan terbentuk suatu lapisan tipis berunsur fluorin ketika terjadi pemaparan sampel SiO₂ dengan plasma. Lapisan fluor tersebut terdiri atas unsur SiF_x dan SiOF. Proses desorpsi merupakan proses dimana terjadi pengikatan dan penarikan oleh partikel plasma dan lajunya dapat dihitung secara teoritis [9].

Lapisan fluorosilyl terdiri dari dua lapisan, yaitu lapisan SiOF di atas permukaan SiO₂ dan lapisan SiF_x di atas lapisan SiOF. Lapisan SiOF terbentuk akibat menempelnya unsur netral F pada permukaan. Sedangkan lapisan SiF_x terbentuk akibat menempelnya unsur F* pada lapisan SiOF. Prediksi pembentukan lapisan fluorosilyl adalah:



Ketika lapisan SiF_x ditumbuk oleh F* lain, maka akan terbentuk unsur SiF₄ dan SiF₂. SiF₄ inilah yang berperan aktif dalam proses etching secara kimia dikarenakan tingginya volatilitas dari SiF₄. Chapman [10] dan Knizikevicius [11] juga menyatakan bahwa unsur SiF₄ merupakan unsur yang berperan penting pada proses etching SiO₂.

Pada mekanisme etching SiO₂, proses etching secara fisis dan RIE terjadi saling kontradiktif. Ketika etching SiO₂ dilakukan pada laju alir rendah, proses etching secara fisis berperan lebih dominan. Hal ini disebabkan

masih tingginya *mean free path* partikel sehingga partikel plasma bergerak lebih aktif dan tumbukan pada sampel oleh partikel plasma memiliki energi yang tinggi. Namun, ketika laju alir gas ditingkatkan terjadi transisi dari etching secara fisis menjadi RIE. Pada saat transisi, etching secara fisis tidak dapat optimal dikarenakan tingginya populasi partikel plasma dan RIE juga belum optimal akibat masih minimnya partikel F dan F*. Sehingga laju etching SiO₂ mengalami penurunan. Ketika laju alir diperbesar lagi, etching secara fisis menjadi tidak efektif akibat rendahnya *mean free path*, namun sebaliknya RIE meningkat akibat tercukupinya kebutuhan jumlah partikel F dan F* yang berperan utama pada proses RIE.

KESIMPULAN

Laju alir gas CH₂FCF₃ mempengaruhi proses etching pada SiO₂. Ketika laju alir rendah, proses etching yang terjadi adalah secara fisis. Sedangkan ketika laju alir gas tinggi, proses etching terjadi secara reaksi kimia meningkat. Nilai laju etching maksimal yang dapat dicapai dengan menggunakan gas CH₂FCF₃ adalah 7,753 nm/min.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rickert, J., Weiss, T., Kraas, W., Jung, G., and W. G. I, 1996. A new affinity biosensor: Self-assembled thiols as selective monolayer coatings of quartz crystal microbalances, *Biosens. Bioelectron.*, **11(6)**: 591–598.
- [2] Nayak, A. P., Vj, L. and Islam, M. S., 2011. *Wet and Dry Etching*, Davis.
- [3] Balachova, O. V., Alves, M. A. R., Swart, J. W., Braga, E. S., and Cescato, L., 2011. CF₄ plasma etching of materials used in microelectronics manufacturing, *Microelectronics J.*, **31**: 213–215.
- [4] R. Chaudhary, D. Kumar, S. Das, and B. D. Pant, 2014. Development of RIE Processes for the Etching of Single Crystal Silicon, Silicon Dioxide, *Int. J. Sci. Res.*, **3(8)**: 861–864.
- [5] B. Metz, O. Davidson, P. Bosch, R. Dave, and L. Meyer, 2007. *Climate Change 2007 - Mitigation of Climate Change*, 1st ed. New York: Cambridge University Press.

- [6] Q. Liu and Z. Cai, 2014. "Study on the Characteristics of Gas Molecular Mean Free Path in Nanopores by Molecular Dynamics Simulations," *Int. J. Mol. Sci.*, vol. **15**, pp. 12714–12730.
- [7] R. G. Polcawich and J. S. Pulskamp, 2011. *MEMS Materials and Processes Handbook, vol. 1*. New York: Springer.
- [8] R. Knizikevičius, 2008 "Simulation of Si and SiO₂ etching in CF₄ plasma," *Vacuum*, **82(11)**: 1191–1193.
- [9] A. Redondo, Y. Zeiri, and W. A. Goddard III, 1984. "Rates of Desorption From Solid Surfaces: Coverage Dependence," *Surf. Sci.*, vol. **136**: 41–58.
- [10] B. Chapman, 1980. *Glow Discharge Processes*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [11] Knizikevičius, R. and Kopustinskas, V. 2006. "Influence of Temperature on The Etching Rate of SiO₂ in CF₄+O₂ Plasma," *Microelectron. Eng.*, **83(2)**:193–196.