



Title	成長表面のラフネスのスケーリング
Author(s)	岩崎, 裕
Citation	大阪大学低温センターだより. 1993, 83, p. 8-10
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/6605
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

成長表面のラフネスのスケーリング

産研 岩 崎 裕 (吹田3570)

はじめに

真空蒸着のような非平衡な条件で成長している薄膜の表面には一般に凹凸がある。その起伏（ラフネス）をメゾスコピックなスケールで見ると、成長の確率過程が見えてくる。ラフネスの性質の核心には、スケール不変性がある。すなわち、表面の形状に、空間、時間（ t ）、高さに適当な変換を行なった（スケーリングした）場合、その統計的な性質が変換前のそれと同じである。この性質の為、表面の粗さの指標、例えば表面の幅 W （rms値）は時間的スケーリングと空間的スケーリングの2つの独立なスケーリングのふるまいを示す^[1]。前者は、平均膜厚 $h_{av}(t)$ より充分大きな寸法 L で見た場合、表面の幅 W は h_{av} または t のあるべき乗で増加し、後者は、 $h_{av} \gg L$ に対して、表面は定常的になり、その幅 W は L のあるべき乗で増加する。成長プロセスの特徴はこれらのスケーリング指数に含まれている。

表面の幅がスケールの増加に応じて一定にとどまらず発散するとき、表面をラフと呼び、上記の成長表面のラフニングをカイネティックラフニングと呼ぶ。これについては、最近ホットな理論的研究が行われているが、実験的な研究はまだ非常に少ない。我々はこうしたラフネスが薄膜成長に限らず、酸化プロセスや基板のウェットケミカル処理などの各プロセスにおいても発生すると予測している。

一方、デバイスのサイズの縮小に伴い、ラフネスがデバイス特性に与える影響も次第に顕著になると予想される。例えば、MOSFETの電子移動度は、 SiO_2/Si 界面のラフネスによる散乱が支配的となることや、量子効果素子の動作可能寸法がラフネスの相関長以下に制約されるなどが実験的・理論的に明らかになっている^[2]。したがって、メゾスコピック領域におけるラフネスを定量化することは今後工学的に非常に重要となる。

本研究ではCVDによるW薄膜成長表面および熱酸化による SiO_2/Si 界面のラフネスをAFMで測定し、ラフネスのスケーリングという観点から解析を行った。

ラフネスのスケーリング解析

STM/AFMは原子レベルの高解像度測定から $100\text{ }\mu\text{m}$ 以上の広範囲測定までをカバーすることができ、測定視野に関して非常に大きなダイナミックレンジを有することからスケーリング解析に適している。本研究では大気中AFM（セイコー電子SPI3600/SFA300）を用いて視野の大きさを変えた測定を行い、各種の統計的な解析を行った^[3-5]。

(i) CVDによるW薄膜成長表面^[4]

WF_6 を原料としてSi基板上に 500nm 成長させたW薄膜についてAFM測定を行った。W値のスケール（ L ）依存性をFig. 1に示す。Wは 10^3nm 以上のスケールでは一定値となるのに対して、 10^2nm 以下で

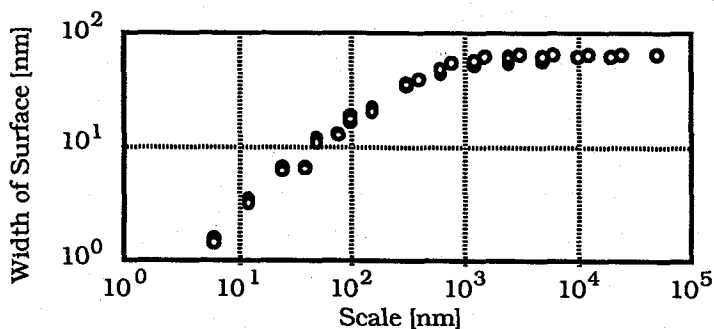


Fig.1 Width of W surface vs. scale.

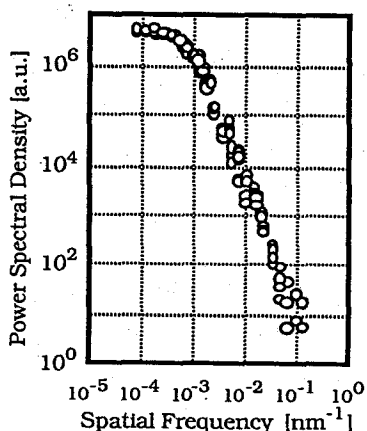


Fig.2 Power spectral density vs. spatial frequency.

はスケールの0.7~0.8乗に比例している。この場合、面内方向と成長方向とで異方的なスケーリングであり、self-affineなラフネスとすることができる。

非平衡な成長における表面ラフネスのスケーリングに関しては理論的な研究が行われており^[1]、

$$W(L, t) \sim t^{\alpha/2} \quad (\text{for } h_{av} \ll L)$$

$$\sim L^{\alpha} \quad (\text{for } h_{av} \gg L)$$

となるという予測がある。Fig. 1の L 依存性はこれとよく一致している。

ラフネスのパワースペクトル密度をFig. 2に示す。Fig. 1の折れ曲がり点に対応した周波数 10^{-3} nm^{-1} 以下では一定となるのに対し、それ以上では傾き $-2 \sim -2.5$ で減衰している。

(ii) SiO_2/Si 界面^[5]

$\text{Si}(100)$ ウェハ (p形, $10 \Omega \text{ cm}$) をdry酸化して形成した 16 nm の SiO_2 層を希HFで除去し、 Si 表面の形状をAFMで測定した。Fig. 3に示すようにこの場合 W は 100 nm 以上で一定値約 0.3 nm となり、それ以下では傾き $0.3 \sim 0.5$ の依存性を示した。

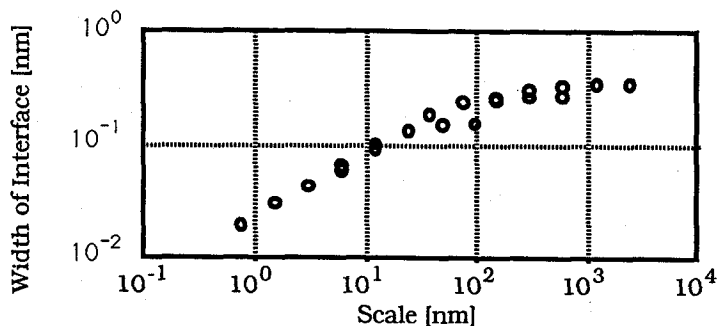


Fig.3 Width of SiO_2/Si interface vs. scale.

MOS反転層中の電子移動度の理論計算においてもこのようなスケーリング性を考慮し、問題となる電子の波長に応じたラフネスパラメータを選択する必要があると考えられる。

ま と め

W膜表面およびSiO₂/Si界面についてAFMによるラフネスのスケーリング解析を行い、それらがself-affineな性質を持つことを明らかにした。W膜表面およびSiO₂/Si界面に対し、定常的なスケーリング指数はそれぞれ、0.7~0.8および0.3~0.5であることが分かった。これらは膜成長あるいは侵食のプロセスと密接な関係がある^[3,4]。ラフネスの測定および物理現象の基になるラフネスパラメータを選択するに際しては、問題となる長さ、ラフネスの相関長、測定視野の大小関係に注意する必要がある。

謝辞

本研究は、吉信達夫博士、岩本篤及び須藤孝一君との協同によるものです。興地斐男教授、中西寛博士（以上阪大工学部）、阿久津典子（大阪電通大）及び阿久津泰弘（阪大理学部）両博士との有益な議論に対し感謝します。

参考文献

- [1] J. Krug and H. Spohn: in Solids Far From Equilibrium: Growth, Morphology and Defects, edited by C. Godreche (Cambridge University Press, NewYork, 1990).
- [2] M. J. Laughton *et al.*, Phys. Rev. **B44** (1991) 1150.
- [3] H. Iwasaki and T. Yoshinobu: in Extended Abstracts (The 53rd Fall Meeting, 1992); The Japan Society of Applied Physics and Related Societies, 18pZW4; Phys. Rev. B in press.
- [4] T. Yoshinobu, A. Iwamoto and H. Iwasaki: in Extended Abstracts (The 40th Spring Meeting, 1993); The Japan Society of Applied Physics and Related Societies, 31aR11.
- [5] A. Iwamoto, T. Yoshinobu and H. Iwasaki: in Extended Abstracts (The 40th Spring Meeting, 1993); The Japan Society of Applied Physics and Related Societies, 30pZW16, 17.