

증착원자의 속력이 성장 지형에 미치는 영향

서지근^{a*} · 심현석^b · 김상현^b

^a초당대학교 안경광학과, 무안 534-701

^b광주보건대학교 안경광학과, 광주 506-701

(2012년 2월 13일 받음, 2012년 3월 19일 수정, 2012년 3월 26일 확정)

기울어진 각도 증착(GLAD)에서 입사원자의 속력이 표면 지형에 미치는 영향을 고찰하였다. Molecular Dynamics와 결합한 Kinetic Monte Carlo 시뮬레이션을 통하여 증착원자의 속력이 증가함에 따라 거칠기가 줄어드는 완만한 표면이 형성되는 것을 확인하였다. GLAD 계산에서 증착원자 속력이 v_0 에서 $10v_0$ 로 증가함에 따라 표면 지형을 대변하는 성장 지수 β 값은 0.97에서 0.67로 감소하였다. 화학증기증착(CVD) 방법과 같은 증착 방법에 대해서도 증착원자의 속력 의존성을 고찰하였다. GLAD에 비해 지수 β 값의 속력에 따른 차이는 적지만 CVD의 경우에도 증착원자의 속력이 표면 지형에 일정 정도의 영향을 주는 것을 확인하였다.

주제어 : 성장지수, 기울어진 각도 증착, Kinetic Monte Carlo 시뮬레이션

I. 서 론

박막 증착 방법은 소자산업에서 사용되는 필수적인 방법으로, 널리 이용되는 증착 방법으로 열증발 증착(thermal evaporation), 식각 증착(sputter deposition), 화학증기 증착(CVD; chemical vapor deposition), 기울어진 각도증착(GLAD; glancing angle deposition) 등이 있다. 동일한 물질의 증착에서도 이들 증착 방법 또는 증착 조건들의 차이에 따라 만들어지는 박막 표면은 달라진다. 박막의 성장 형태는 거칠기 $w = \sqrt{(h - \langle h \rangle)^2}$ 의 시간에 따른 변화로 구분지어지며, 여기서 h 는 표면의 높이이며 $\langle h \rangle$ 는 높이의 평균이다. 대부분의 박막 성장에서 거칠기는 $w \sim t^\beta$ 와 같이 시간에 대한 지수 형태로 변화하며, 여기서 지수 β 는 0에서 1까지의 값을 가지며 성장지수(growth exponent)라 한다. 성장지수 β 는 계면이 매우 거친 성장에서는 1, 계면이 평탄한 성장에서는 값이 0이며, 성장 지형 변화에 대한 scaling 접근에서 성장모형을 구분하는 숫자로 이용되는 지수이다. 박막 증착 실험에서 얻은 성장지수 β 값들이 Table 1에 열거되어 있다. 열증발 증착 실험들을 보면 Yang 등은 Si를 Si(111) 표면 위에 증착시키는 실험에서 0.25~0.26의 β 값을 얻었고 [1,2], Fe(001) 표면 위에 Fe를 증착하는 실험에서는 0.22의 β 값을 얻었다 [3].

Table 1. Summary of scaling exponent β reported in various deposition experiment as thermal evaporation (TE), chemical vapor deposition (CVD) and sputtering deposition (SD).

System	β (temperature)	Reference
TE Fe/Fe	0.22	[1]
TE Si/Si	0.25 (550 K)	[2]
TE a-Si/Si	0.26 (284 K)	[3]
TE Ag/Si	0.26 (300 K)	[4]
TE Cu/Cu	0.26 (160 K)	[5]
SD Au/Si	0.42 (220 K)	[6]
	0.40 (300 K)	[6]
SD Mo/Si	0.42 (300 K)	[7]
SD a-Si/Si	0.41 (370 K)	[8]
SD a-Si/Si	0.6-0.7 (573 K)	[9]
SD a-Si/Si	0.55	[10]
CVD SiN/Si	0.37	[10]
CVD a-Si/Si	0.54 (323 K)	[11]
	0.38 (523 K)	[11]
	0.36 (613 K)	[11]
CVD SiO2/Si	0.51 (611 K)	[12]
CVD Cu/Si	0.62 (453 K)	[13]
Etching Si(001)	0.91	[14]
Oblique SD	0.98 (330 K)	[15]

* [전자우편] seoji@cdu.ac.kr

Thompson 등은 Si 위에 Ag를 증착하는 실험에서 $\beta=0.26$ 을 [4], Ernst 등의 Cu 위에 Cu를 증착하는 실험에서 [5] 0.26의 β 값을 얻었다. 열증발 방법에 의한 박막증착의 경우 성장지수 β 값은 대부분 0.25 근방으로 Kadar, Parisi, and Zhang 모형의 2+1차원 값인 0.25 근방의 값을 보이고 있다. 다음으로 식각 증착 방법을 이용한 실험들을 보면, Si 위에 Au를 증착시키는 실험은 0.40의 β 값을 [6], 상온에서 Mo를 식각증착 실험에서 0.42의 β 값 [7], Si 위에 비정질 Si를 식각 증착시키는 실험에서는 증착 조건에 따라 0.41 [8], 0.6/0.7 [9], 0.55 [10]의 다양한 β 값을 얻었다.

CVD 방법에 의한 증착의 경우 β 값은 비정질 Si를 Si(100) 표면이나 Si(111) 표면에 증착시키는 실험에서 0.36~0.54 [11], 0.42~0.54 [12], Cu를 Si(100) 표면에 CVD 증착시키는 실험에서 0.62 [13] 등 CVD 증착의 경우 0.3에서 0.6까지 다양한 β 값을 보이고 있다. 한편 Si(100) 표면의 플라즈마에칭 실험에서는 0.91의 β 값을 얻었으며 [14], Le Bellac 등은 300~330 K에서 기울어진 식각 증착 방법으로 증착된 Cr 박막 실험에서 0.98이라는 큰 값의 β 값을 얻었다 [15].

증착 방법에 따라 큰 차이가 있는 성장지수 값들을 설명하기 위해 시뮬레이션 방법 등 여러 이론적 연구들이 발표되었다. 이들 연구들은 중요한 역할을 하는 증착 요인들로 되튐 효과와 흡착계수(sticking coefficient), 그리고 차폐(shadowing) 효과 등을 고려하고 있다 [16,17]. 이들 요인들 중에서 가장 큰 영향을 미치는 효과로 거론되고 있는 것은 차폐효과이다. 증착과정 중 높은 언덕이 형성되면 이 언덕 뒤 일정 영역에 있는 낮은 언덕들은 증착으로부터 차폐되면서 점차 소멸되어 매우 거친 표면을 만드는 차폐효과는 높은 β 값의 근거로 제시되고 있다. 고려되는 요인 중 하나인 되튐효과는 증착원자가 표면 위의 적당한 위치에 자리 잡는 것을 교란시켜 차폐 효과에 따른 증착원자 분포를 흩뜨려 놓는 차폐효과와 반대 경향을 주는 요인이다. 이러한 두 가지 주요 요인을 고려하여 CVD나 식각증착에서 나타나는 비정상적인 성장지수 β 값을 설명하는 시도가 이루어지고 있으나 [9,18] 아직 정량적인 설명에 이르지 못하고 있다.

한편 최근 증착 과정에서 차폐효과 이외에 증착 원자와 표면 원자 사이의 상호 작용으로 궤적이 휘어지고 이것이 증착 분포에 영향을 미친다는 steering 효과가 제시되었

고, 이 steering 효과는 GLAD와 같은 기울어진 각도의 증착에서는 박막 특성에 큰 영향을 미친다는 것이 확인되었다 [19]. 그리고 Cu(001) 표면 위에 Cu 증착에 대한 연구에서 차폐효과를 포함한 steering 효과까지 고려해야만 표면의 거칠기, 언덕 기울기 등의 실험 결과를 정량적으로 설명할 수 있었다 [19].

한편 최근 Cu(001) 표면 위에 Cu 증착에 대한 연구에서 차폐효과만으로 실험결과를 설명할 수 없고 증착원자와 표면원자 사이의 상호작용을 고려한 steering 효과를 고려해야만 표면의 거칠기, 언덕 기울기 등의 실험 결과를 잘 설명할 수 있음을 보였다 [19]. 또한 steering 효과를 고려하는 경우 차폐효과만 고려하는 것에 비해 거칠기가 훨씬 증가하고 β 값도 증가하여 GLAD 실험에서 나타난 높은 성장지수 값을 설명할 수 있었다 [20]. CVD, 식각 증착, 그리고 특히 GLAD와 같이 기울어진 각도로 증착시키는 경우가 steering 효과의 고려는 필수적이며, 이것을 고려하는 경우 증착원자의 입사 속도도 영향을 미치는 요인이 된다. 입사원자의 속력은 궤적의 휘어짐에 영향을 미쳐, 차폐 범위에 영향을 주게 되기 때문이다.

본 연구는 지금까지의 연구들에서 고려하고 있지 않은 요소인 증착원자의 입사 속력이 박막 성장에 미치는 영향을 확인하며, 비슷한 조건에서 다양하게 나타난 성장지수 β 값의 근거가 됨을 확인하고자한다. Steering을 고려한 시뮬레이션을 통하여 GLAD와 같은 증착 방법에서는 입사원자의 속력이 표면 형상에 중요한 영향을 주어 β 값에도 큰 차이를 주는 것을 확인하였고, 상대적으로 영향력이 적은 CVD 형태의 증착에서도 증착원자의 속력이 의미 있는 정도의 β 값 차이를 주는 것을 확인하였다. 비슷한 조건이지만 실험 방법에 따라 차이가 나는 β 값에 이러한 증착원자의 속력과 같은 요인이 기여하는 것을 확인할 수 있었다.

II. 시뮬레이션

증착에 의한 성장은 KMC (Kinetic Monte Carlo) 시뮬레이션 계산을 이용해 모사하였다. 그러나 가능한 임의의 위치에 원자를 올려놓는 것으로 증착으로 증착과정을 모사하는 통산의 KMC 시뮬레이션과 다르게 시뮬레이션 과정 중 증착 사건이 선택되면 표면 원자와의 상호 작용을 엄밀하게 고려한 MD (molecular dynamics) 시뮬레이션을 수

행하여 흡착 위치를 결정한다. 구체적인 시뮬레이션의 구현 내용은 참고 문헌 [19]에 서술된 것과 동일하다. 입사된 증착 원자는 MD 계산에 따라 표면 위의 원자들과 상호작용하며 표면에 떨어지게 된다. 특정한 속도로 입사되는 증착 원자와 기판 원자 사이의 상호작용은 MD 프로그램 안에서 Lennard Jones 퍼텐셜 $U(r) = 4D[(\sigma/r)^{12} - (\sigma/r)^6]$ 형태로 구현되며, 여기서 $D=0.4093$ eV, $\sigma=2.338$ Å이다.

KMC 시뮬레이션은 빈 격자 위치로의 확산만을 허용하였고, 아래층의 원자와 위치를 교환하는 교환 확산이나, overhang 위치의 확산이나 흡착은 허용되지 않았다. 400×400 크기의 fcc(100)면 방향의 격자를 모사격자로 사용하였고, 시뮬레이션을 기술하기 위한 좌표는 기판을 x-y 평면으로 잡고 x축은 [110] 방향과 평행하게 잡았다. KMC 시뮬레이션에서 사용된 확산계수와 이용한 확산장벽 값은 참고문헌 [19]과 동일하다. 거칠기는 $\sqrt{\langle h(x)^2 \rangle - \langle h(x) \rangle^2}$ 로 구하였고, 언덕 기울기는 언덕 경사각(θ)의 $\tan\theta$ 값으로 하였다.

III. 결 과

증착원자의 속력이 성장 형태에 미치는 영향을 보기 위하여, 증착원자의 속력을 10배까지 변화시키며 계산하였다. 증착원자의 운동에너지가 0.15 eV일 때 속력을 v_0 라 놓았고, 이 0.15 eV 값은 Cu 원자의 용점 온도에 해당된다. 증착원자의 속력은 Cu 원자의 열증발 증착 속력이 v_0 의 배수로 나타냈다. 증착 원자의 입사각도는 GLAD 실험에서 널리 이용되는 기울어진 각도인 표면수직에 대해 80도이며, 증착온도는 300 K이며, 0.5 ML/s의 속력으로 증착했다.

40 ML 증착시켰을 때의 형상은 Fig. 1(a,b)과 같고, 중심을 통과하는 x, y축 방향 표면의 높낮이는 Fig. 1(c,d)와 같으며, 푸리에 변환 이미지는 Fig. 1(e,f)와 같다. Fig. 1의 왼쪽, 오른쪽 열은 각각 $0.7v_0$, $10v_0$ 에 대한 결과로, 증착원자의 입사속력에 따라 표면형상이 심하게 달라지며 (Fig. 1(a,b)), 표면의 거칠기도 크게 차이나는 것을 (Fig. 1(c,d)) 확인할 수 있다. 푸리에 변환 이미지인 Fig. 1(e,f)를 보면 $10v_0$ 의 경우 4fold 대칭성이 보이나, $0.7v_0$ 의 경우 2fold 대칭성이 보인다. 푸리에 변환 이미지에서 peak의 대칭성은 표면에 형성되는 언덕 배열의 대칭성을 반영하는 것으로 보고되고 있고 [21], 따라서 $10v_0$ 의 경우 언덕은

4fold 형태로 배열되었고 $0.7v_0$ 의 경우 언덕들이 2fold에 가까운 분포로 배열되었음을 볼 수 있다.

증착원자의 속력에 따른 성장 형태의 차이를 정량적으로 확인하기 위하여 거칠기와 언덕 기울기를 구했고 40 ML 증착시켰을 때의 결과를 Fig. 2에 나타냈다. 증착원자의 속력이 증가할수록 표면의 거칠기는 감소하며, 10배 속력에 이르면 거칠기는 반 이하로 떨어진다 (Fig. 2(a)).

언덕의 기울기는 증착원자가 조사되는 면(illuminated side; IL-side), 가려진 뒷면(SH-side; shadow side), 증착원자의 입사 방향과 수직인 두면(P-side)에 대해 각각 따로 구했다. GLAD 성장에서 일반적으로 나타나는 경향인 IL-side의 기울기가 가파르고 차폐가 일어나는 후면인 SH-side의 기울기는 낮은 것을 볼 수 있으며, 증착원자의 속력이 증가함에 따라 모든 면방향의 기울기가 완만해지는

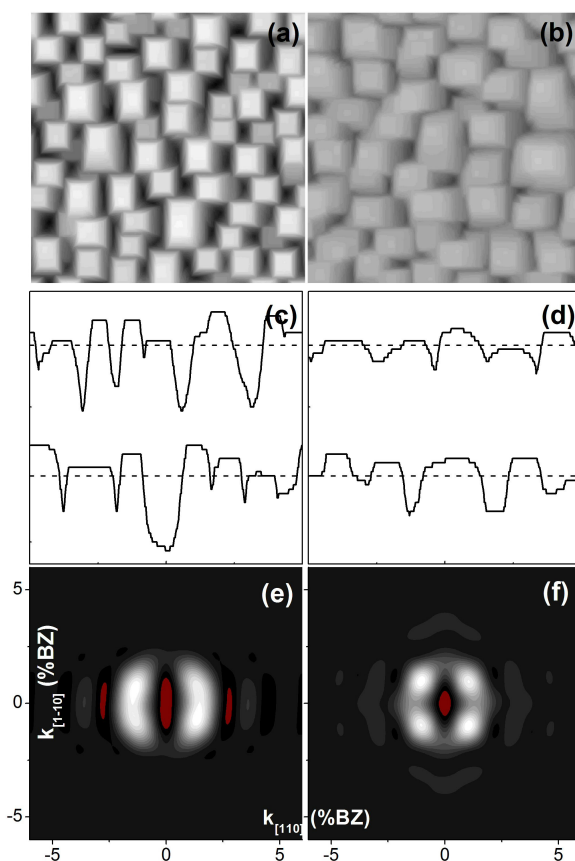


Figure 1. Surface image from simulation (a,b), height morphology profile along x, y axis (c,d), and Fourier image of simulated thin film (e,f) with deposition angle 80° and 40 ML of coverage. The speed of deposited atom are $0.7v_0$ (a,c,e) and $10v_0$ (b,d,f).

경향을 보이고 있다.

증착원자의 입사 속력이 빠를수록 표면의 거칠기가 감소하며 형성되는 언덕의 기울기가 완만해지는 보다 평탄한 표면이 형성되는 것을 확인하였다. 이러한 증착 속력에 따른 차이의 근원을 확인하기 위해 MD 계산만으로 증착원자의 초기 분포를 계산하였다. 4면이 모두 (115)-facet로 된 8층 높이의 언덕을 기판위에 형성시켜 놓고 80도 각도로 증착원자를 뿌려 위치별 증착빈도인 초기 증착 밀도를 조사하였다.

언덕 중심을 지나는 x축, y축 선상에서의 위치별 증착밀도를 Fig. 3에 나타냈고, 밀도 값은 평탄한 테라스 위의 증착밀도를 100으로 놓은 값이다. x축 방향의 증착밀도를 보

면 입사원자의 속력이 클수록 차폐 정도가 심해져 언덕 뒤쪽에 원자가 도달하지 못하고 언덕 앞에 밀집되는 결과가 보인다. 반대로 속도가 느릴수록 최상층 테라스 앞쪽의 증착밀도가 커지는 것이 보인다(Fig. 3). y축 방향의 증착밀도 분포를 보면 속력이 낮을 때 steering 효과에 의해서 나

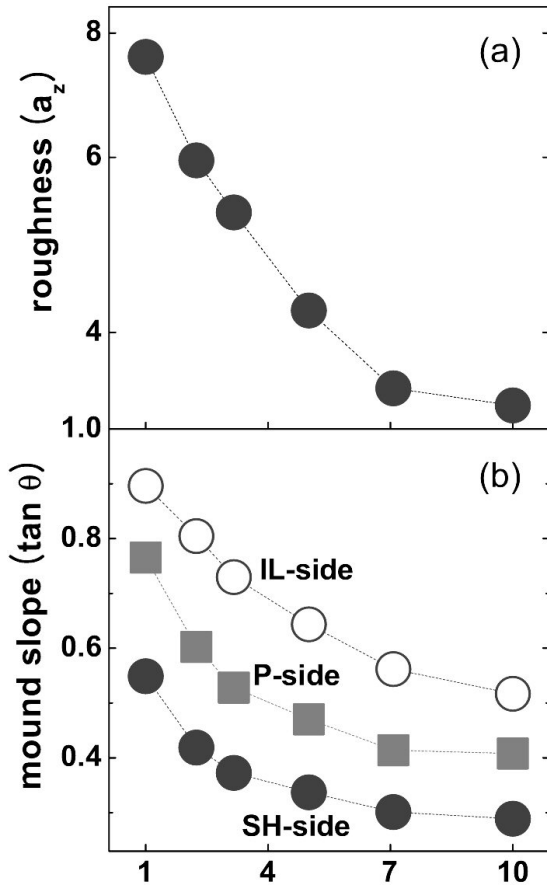


Figure 2. Simulation results with $\theta = 80^\circ$ and 40 ML of coverage. (a) Surface roughness and (b) mound slope as a function of speed of deposited atom at 40 ML of coverage. Mound slope and represented as tangent value of slope angle for the IL-side (open circle), the SH-side (closed circle), and the P-side (closed square).

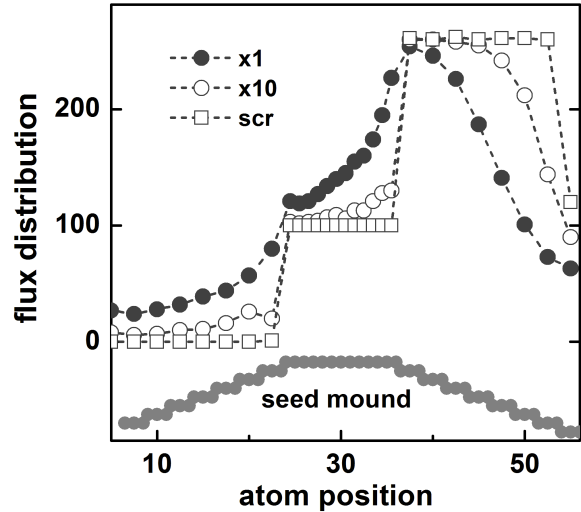


Figure 3. Deposition flux distribution calculated by a MD simulation. Deposition flux distribution on a line through the center of the mound along the x-axis. The ordinate is the percentage deposition flux relative to the average deposition flux. The seed mound is depicted as grey circles.

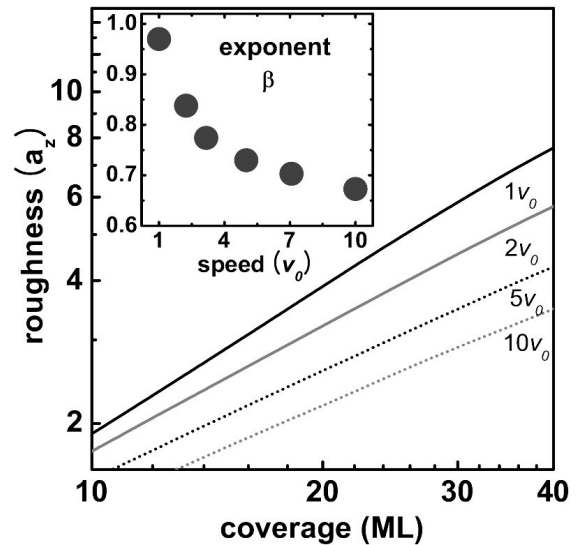


Figure 4. Log-log plot of surface roughness. Inset: growth exponent β as a function of speed of deposited atom.

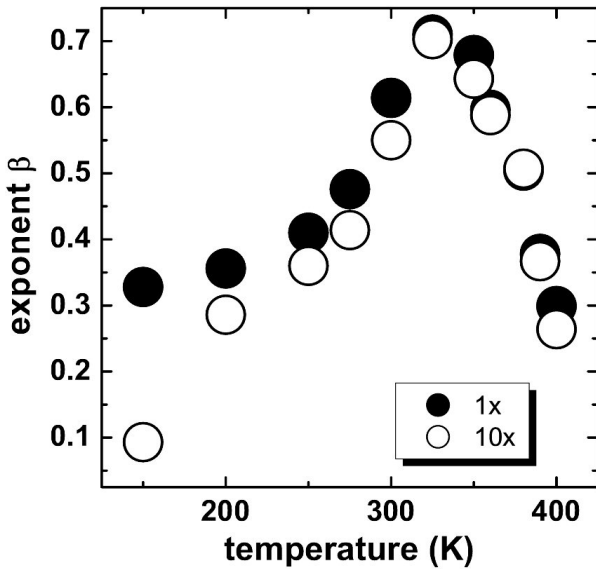


Figure 5. Growth exponent β for KMC simulation of CVD type deposition versus substrate temperature.

타나는 언덕 최상층 양측면의 높은 증착밀도가 속력이 증가하면서 점차 사라지는 경향을 볼 수 있다(Fig. 3).

증착 원자의 속력이 낮을 때 보이는 초기 밀도는 steering 효과와 차폐효과가 동시에 작용될 때의 증착밀도이며, 반면 속력이 큰 경우 보이는 증착밀도 분포는 steering 효과가 거의 없어지고 차폐효과만 작용할 때의 증착밀도와 동일하다. 증착원자 속력이 낮은 경우에 보이는 높은 거칠기와 가파른 기울기는 steering 효과와 차폐효과가 동시에 영향을 미칠 때의 결과이며, 반면 입사속력이 클 때 보이는 낮은 거칠기, 완만한 언덕기울기는 차폐효과만 작용할 때의 결과이다.

IV. 논 의

증착 원자의 속력이 박막 표면의 거칠기나 언덕 기울기 등에 영향을 미치며, 이것이 steering 효과에 기인함을 보였다. 이러한 증착원자 속력에 따른 차이가 박막 성장에 의미 있는 차이를 주는가를 확인하기 위해서 성장지수 β 를 계산하였다. 증착량에 따른 거칠기 그래프인 Fig. 4를 보면, 거칠기의 기울기가 증착 속력에 따라 차이가 있음을 볼 수 있다. Log-log 그래프에서 거칠기의 기울기인 성장지수 β 값을 20~40 ML 구간에서 구하면 결과는 Fig. 4의 inset와 같다. 증착원자의 속력이 $1v_0$ 일 때 β 는 0.97이며,

$3v_0$ 에서 0.77, $5v_0$ 에서 0.73, 그리고 증착원자의 속력이 $10v_0$ 일 때 0.67로 속력이 증가함에 따라 감소하며, 입사원자의 속력에 따라 큰 차이를 보이고 있다.

다른 온도에서의 시뮬레이션 계산도 비슷한 결과를 보이고 있다. 200 K의 경우 β 값은 각각 0.99 ($1v_0$), 0.84 ($10v_0$)이며, 250 K에서의 β 값은 0.87 ($1v_0$), 0.62 ($10v_0$), 350 K에서는 0.90 ($1v_0$), 0.72 ($10v_0$)이며, 증착 속력은 일정한 GLAD 실험과 비슷한 0.5 ML/s이다. 열증발 증착과 비슷하게 1 mL/min의 느린 증착속력으로 증착한 경우도 비슷하게 200 K에서 0.98 ($1v_0$), 0.65 ($10v_0$)의 β 를 보이며 250 K에서도 0.95 ($1v_0$), 0.65 ($10v_0$)으로 속력에 따라 0.3 정도의 β 값 차이를 보이고 있다. 시뮬레이션 계산에서 사용된 증착 각도, 증착속력 등 증착 조건은 널리 행해지는 GLAD방법과 유사한 조건이다. 증착원자의 속력에 따라 β 값이 0.3 정도의 큰 차이를 보이는 이결과는 GLAD방법과 같은 증착방법에서는 증착원자의 속도도 박막형태에 무시할 수 없는 영향을 미치는 요인임을 보여준다.

GLAD 시뮬레이션에서 보인 입사원자 속력에 따른 β 값의 큰 차이는 CVD 방법 등 기울어진 각도 증착과정이 포함된 다른 증착 방법에서도 적지만 증착 속력의 영향이 있다는 것을 추정하게 한다. CVD와 같이 증착원자의 입사각도가 다양한 분포를 가지는 증착에 대해서 시뮬레이션 계산을 했다. CVD 증착을 모사하여 증착원자의 입사각도가 θ 일 확률 $P(\theta) \sim \cos\theta$ 로 하였고, 이외 다른 증착 조건은 동일하게 하였다.

CVD 모사 시뮬레이션 계산 결과 β 값은 Fig. 5와 같이 낮은 온도인 150 K에서는 각각 0.33 ($1v_0$), 0.09 ($10v_0$)로 0.24 정도의 β 값 차이가 있으나 300 K에서는 0.61 ($1v_0$), 0.55 ($10v_0$)로 작은 β 값 차이를 보이고 있다. CVD의 경우 GLAD에서와 같이 속력에 의한 영향이 크게 나타나지는 않지만 무시할 수 없을 정도의 β 값 차이가 나타나는 것을 확인하였다.

V. 결 론

Steering을 고려한 KMC 시뮬레이션을 통하여 지금까지의 연구들에서 무시되었던 증착원자의 속도도 표면 형상에 중요한 영향을 주는 것을 확인하였다. 증착원자의 속력이 증가할수록 거칠기가 작고, 언덕의 경사가 완만한 보다 평

탄한 박막이 형성되는 것을 확인하였다. GLAD 증착과 같이 steering 효과의 영향이 큰 증착방법에서는 증착속력에 따라 성장지수 β 값이 0.3 정도의 큰 차이를 보였다. 증착 각도의 다양함으로 steering 효과가 작게 나타나는 CVD 증착에서도 β 값의 차이는 적지만 증착원자의 속력이 표면 지형에 일정정도의 영향을 주는 것을 확인하였다. Table 1에서 열거된 실험들의 증착 조건이 세부적으로 명기되지 않아 β 값들을 정량적으로 설명하지는 못했다. 그러나 증착조건이 비슷하지만 β 값의 차이가 보이는 표1의 실험 결과들은 증착과정에서 지금까지 무시되었던 요소인 증착원자 속력에 따른 차이일 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] Y. -L. He, H. -N. Yang, T. -M. Lu, and G. -C. Wang, Phys. Rev. Lett. **69**, 3770 (1992).
- [2] H. -N. Yang, Y. -P. Zhao, G. -C. Wang, and T. -M. Lu, Phys. Rev. Lett. **76**, 3774 (1996).
- [3] H. -N. Yang, G. -C. Wang, and T. -M. Lu, Phys. Rev. Lett. **73**, 2348 (1994).
- [4] C. Thompson, G. Palasantzas, Y. P. Feng, S. K. Sinha, and J. Krim, Phys. Rev. B **49**, 4902 (1994).
- [5] H. -J. Ernst, F. Fabre, R. Folkerts, and J. Lapujoulade, Phys. Rev. Lett. **72**, 112 (1994).
- [6] H. You, R. P. Chiarello, H. K. Kim, and K. G. Vandervoort, Phys. Rev. Lett. **70**, 2900 (1993).
- [7] J. Wang, G. Li, P. Yang, M. Cui, X. Jiang, B. Dong, and H. Liu, Europhys. Lett. **42**, 283 (1998).
- [8] T. Karabacak, Y. -P. Zhao, G. -C. Wang, and T. -M. Lu, Phys. Rev. B **64**, 085325 (2001).
- [9] N. -E. Lee, David G. Cahill, and J. E. Greene, Phys. Rev. B **53**, 7876 (1996).
- [10] M. Pelliccione, T. Karabacak, and T. -M. Lu, Phys. Rev. Lett. **96**, 146105 (2006).
- [11] M. Kondo, T. Ohe, K. Saito, T. Nishimiya, and A. Matsuda, J. Non-Cryst. Solids **227**, 890 (1998).
- [12] F. Ojeda, R. Cuerno, R. Salvarezza, and L. Va'zquez, Phys. Rev. Lett. **84**, 3125 (2000).
- [13] L. Va'zquez, J. M. Albella, R. C. Salvarezza, A. J. Arvia, R. A. Levy, and D. Perese, Appl. Phys. Lett. **68**, 1285 (1996).
- [14] Y. -P. Zhao, Jason T. Drotar, G. -C. Wang, and T. -M. Lu, Phys. Rev. Lett. **82**, 4882 (1999).
- [15] D. Le Bellac, G. A. Niklasson, and C. G. Granqvist, Europhys. Lett. **32**, 155 (1995).
- [16] J. T. Drotar, Y. -P. Zhao, T. -M. Lu, and G. -C. Wang, Phys. Rev. B **62**, 2118 (2000); J. T. Drotar, Y. -P. Zhao, T. -M. Lu, and G. -C. Wang, Phys. Rev. B **64**, 125411 (2001).
- [17] Y. -P. Zhao, Jason T. Drotar, G. -C. Wang, and T. -M. Lu, Phys. Rev. Lett. **87**, 136102 (2001).
- [18] T. Karabacak, H. Guclu, and M. Yuksel, Phys. Rev. B **79**, 195418 (2009).
- [19] J. Seo, H. -Y. Kim, and J. -S. Kim, J. Phys. (cond. mat.) **19**, 486001 (2007).
- [20] Y. Shim, V. Borovikov, and J. G. Amar, Phys. Rev. B **77**, 235423 (2008).
- [21] L. C. Jorritsma L. C., M. Bijnagte, G. Rosenfeld, and B. Poelsema, Phys. Rev. Lett. **78**, 911(1997).

The Effect of Speed of Deposited Atom on Growth Morphology

J. Seo^{a*}, H. S. Shim^b, and S. H. Kim^b

^a*Department of Ophthalmic Optics, Chodnag University, Muan 534-701*

^b*Department of Ophthalmic Optics, Gwangju Health College, Gwangju 506-701*

(Received February 13, 2012, Revised March 19, 2012, Accepted March 26, 2012)

We have studied the effect of speed of deposited atom on morphology evolution during Glancing Angle Deposition (GLAD). Using Kinetic Monte Carlo simulation that incorporate molecular dynamics simulations, we have shown that the rough surface morphology became smoother as the speed of deposited atom is increased. The growth exponent β change from 0.97 to 0.67 as the speed increase from v_0 to $10v_0$ in the case of GLAD. We also examined the effect of speed of deposited atom for the case of chemical vapor deposition (CVD) simulation. Compared to GLAD, the variation in scaling exponent β is small but the speed of deposited atom also have considerable effect on growth morphology in the case of CVD.

Keywords : Scaling exponent, Glancing angle deposition, Kinetic monte carlo simulation

* [E-mail] seoji@cdu.ac.kr