

論文99-36D-2-5

# 건식 식각 공정 시뮬레이션을 위한 효율적인 그림자 테스트 알고리즘과 토폴그래피 진화에 대한 연구

## (Efficient Shadow-Test Algorithm for the Simulation of Dry Etching and Topographical Evolution)

權五變\*, 潘用瓚\*, 元太映\*

(Ohseob Kwon, Yongchan Ban, and Taeyoung Won)

### 요 약

본 논문에서는 플라즈마 건식 식각 공정을 모의 실험하기 위하여 셀 제거 방법을 적용하여 개발한 시뮬레이터의 성능을 보고한다. 마스크의 기하학적 형상에 의한 그림자 효과(shadow effect)를 고려하기 위한 알고리즘과, 오차의 누적을 막기 위한 알고리즘을 새로이 적용하였다. 입사하는 이온의 분포를 계산하기 위해서 해석적 모델과 몬테 카를로 방법을 모두 적용하였다. 또한, 사용자가 유닉스(UNIX) 환경에서 공정 조건을 편리하게 입력할 수 있도록 그래픽 사용자 환경(graphic user interface, GUI)을 개발하였다. 개발된 3D-SURFILER(SURface proFILER)의 성능을 검증하기 위한 콘택 홀(contact hole) 구조의 시뮬레이션에서 셀의 수를 36,000(30×40×30)으로 설정하여 시뮬레이션하였을 때, SUN ULTRA 1 시스템에서 약 10Mbyte의 메모리가 사용되었으며, 시뮬레이션 시간은 20분이었다. 종횡비(aspect ratio)가 1.57인 콘택 홀 구조에서 반응성 이온 식각(reactive ion etching, RIE)을 시뮬레이션하였으며, 이온의 증속 식각의 정도를 나타내는 손상 계수의 변화와 압력이 600 mTorr 일 때의 이온의 입사 분포에 의한 토폴그래피(topography) 진화를 시뮬레이션하였다.

### Abstract

In this paper, we report 3D-simulations of a plasma etching process by employing cell-removal algorithm. Our cell-removal algorithm takes into account the mask shadow effect as well as spillover errors. The developed simulator has an input interface to take not only an analytic form but a Monte Carlo distribution of the ions. The graphic user interface(GUI) was also built into the simulator for UNIX environment. To demonstrate the capability of 3D-SURFILER(SURface proFILER), we have simulated for a typical contact hole structure with 36,000(30×40×30) cells, which takes about 20 minutes with 10 Mbytes memory on SUN ULTRA SPARC 1. As an exemplary case, we calculated the etch profile during the reactive ion etching(RIE) of a contact hole wherein the aspect ratio is 1.57. Furthermore, we also simulated the dependence of a damage parameter and the evolution of topography as a function of the chamber pressure and the incident ion flux.

\* 正會員, 仁荷大學校 工科大学 電子·電氣·컴퓨터 工學部 半導體 工學 專攻

(Division of Electrical and Computer Engineering, College of Engineering, Inha University)

※ 본 연구는 1998년도 인하대학교 교내 연구비의 지원으로 수행되었습니다.

接受日字1998年9月18日, 수정완료일:1999年1月20日

### I. 서론

최소 선폭 서브 헤프 마이크론 급의 고도의 가공 기술의 발달은 소자 집적도를 크게 향상시켰다. 이렇게 소자의 크기가 미세화 됨에 따라, 금속의 인터컨넥션(interconnection)이나 절연막 도포를 위한 증착 공정 또는 콘택 홀(contact hole)의 형성과 패턴 형성(patterning)을 위한 식각 공정 등에 사용되는 플라즈

마 공정이 핵심 단위 공정으로 인식되고 있다. 또한, 반도체 소자와 소자의 격리 간격이 서브 마이크론 수준으로 좁아짐에 따라, 토포그래피(topography)를 비롯한 물리·화학적 제현상을 규명하기 위하여, 3차원이 가능한 시뮬레이터가 필요하게 되었다. 특히, 마스크 윈도우 크기가 감소함에 따라 마스크의 코너 부근의 기하학적 모습(topology)은 반도체 공정 설계에 있어서 매우 중요한 요인으로 작용하게 되었다. 따라서, 코너 부근의 3차원 형상에 대한 모델링과 시뮬레이션은 매우 시급한 문제로 대두되고 있다. 즉, 종래에 관측하였던 2차원 단면 뿐 아니라, 길이(width) 방향의 모양을 포함한 3차원 기하학적 형상의 예측을 위한 필요성이 점차 증가하고 있다. 따라서, 이와 같은 중요성에 의거하여 본 논문에서는 플라즈마 식각 공정 개발에 있어서, 개발 제비용의 효율성을 증대시키고 물리·화학적 제현상의 시각적 파악 및 분석을 위해서 3차원 토포그래피 시뮬레이터인 3D-SURFILER (SURface pro FILER)를 개발하였다.

토포그래피 시뮬레이션에 있어서 해석적 모델과 몬테 카를로 방법을 적용한 논문과 상용 소프트웨어는 이미 보고된 바 있다<sup>[1-3]</sup>. 그러나, 몬테 카를로 방법이 적용된 상용 소프트웨어는 2차원 시뮬레이션에 국한되어 있으며, 이미 보고된 논문은 2차원 시뮬레이션에 국한되어 있거나, 3차원 시뮬레이션에 있어서 물리·화학적 메카니즘에 의한 다양한 시뮬레이션 결과는 보이지 못하고 있다.

3차원 토포그래피 시뮬레이션을 구현하기 위한 알고리즘으로는 표면 전진 모델(surface advancement model)과 셀 제거 모델(cell removal model)이 있다<sup>[1-2]</sup>. 표면 전진 모델은 3차원적 루프(loop) 제거 및 표면 메쉬(mesh) 밀도의 유지가 어렵다는 단점을 가지고 있다. 반면에, 셀 제거 알고리즘에서는 그러한 문제점이 발생하지 않기 때문에 3차원적 형상 표현이 쉽다. 그러나, 고정된 시간 간격으로 인하여 경계면에서 발생하는 오차가 인접한 셀로 전달되면서 누적되는 단점이 있기 때문에 오차의 누적을 막기 위한 알고리즘이 필요하다.

RF(radio frequency) 전원에 의해 발생된 플라즈마 입자들은 sheath 영역에서 가속되어 기판 표면에 도달하는데, 기판에 도달하는 메카니즘이 입자의 분포를 결정한다. 기판에 도달하는 입자의 분포는 식각 후에 기판 표면의 형상을 결정하므로, sheath 영역을 통

과하는 이온의 분포를 모델링하는 것은 토포그래피 시뮬레이션을 수행함에 있어서 반드시 선행되어야 한다.

본 논문의 II장에서는 셀 제거 방법 및 해석 모델과 몬테 카를로 방법이 적용된 3D-SURFILER의 구성과 사용자 그래픽 환경(graphic user interface, GUI)에 대해서 설명하고, III장에서는 해석적 모델에 있어서, 물리·화학적 메카니즘을 표현하는 다양한 파라미터에 의한 2차원 및 3차원 시뮬레이션 결과와 몬테 카를로 방법에 있어서 압력이 600 mTorr일 경우에 기판으로 입사하는 이온의 분포와 식각 시뮬레이션 결과에 대해서 설명한다.

## II. 시뮬레이터의 구성 및 모델

### 1. 셀 제거 모델 및 식각 모델

셀 제거 알고리즘은 시뮬레이션 영역을 육면체의 셀들로 나누고, 식각제(etchant)와 접한 표면의 셀들을 식각물에 따라 제거하는 알고리즘이다. 식각물은 셀의 체적내에서는 일정하다고 가정하며, 표면 셀이 식각제에 노출된 면의 수에 따라 경계면의 셀로부터 제거될 부피를 계산하여 제거한다. 표면을 구성하는 셀에서의 식각물은 등방성 식각물과 비등방성 식각물의 선형 결합으로 이루어진다<sup>[1]</sup>. 등방성 식각은 반응성 중성 라디칼(reactive neutral radical)과 기판과의 화학적 반응으로 이루어지며, 비등방성 식각은 각 분포를 갖는 입자와 기판과의 물리적 반응으로 이루어진다. 3D-SURFILER에서는 직접 입사하는 입자에 의한 기판과의 물리적 반응과 화학적 반응으로 이루어지는 식각 뿐만 아니라 두 반응이 동시에 일어나는 반응에 의한 증속 식각(enhanced etching)이 고려되었다. 또한, 기판으로 입사하는 입자가 표면에 도달하여 반응하지 않고 반사되어 재입사하는 입자에 의한 식각을 고려하였다<sup>[4]</sup>.

sheath를 통과하여 기판 표면에 도달하는 이온의 분포는 해석 모델로서 다음 식과 같이 가우시안(Gaussian) 형태의 정규분포로 모델링하였다.

$$F_{ion}(\theta, \phi) = \frac{1}{N_{ion}} \exp[-\theta^2/2\sigma^2]$$

여기서,  $\theta, \phi$ 는 입사하는 입자의 방위각과 극각이고,  $\sigma$ 는 가우시안 이온 분포의 표준편차에 해당하는 것으로서, 챔버 내에서 발생한 이온이 sheath를 통과할

때, sheath 내에서 충돌하는 정도에 따라 결정된다. 즉,  $\sigma$ 가 커지면 sheath 내에서 이온들간의 충돌이 심해져 넓게 퍼지는 효과를 준다. 가우시안 해석 모델과 함께 몬테 카를로 방법을 적용하여 이온의 분포를 계산하였다. 이온의 분포는 sheath에 인가된 전압의 크기와 이온들간의 충돌에 의하여 주요하게 영향을 받게 되는데, sheath에서의 국부 전압 분포는 포아송(Poisson) 방정식을 풀어 계산하였다. 또한, 이온의 충돌은 전하량 변환 충돌(charge exchange collision)과 운동량 전달 충돌(momentum transfer collision)을 모두 고려하였다<sup>[5]</sup>.

각 셀로 입사하는 입자의 양은 마스크의 기하학적 형상에 따른 그림자 효과(shadow effect)를 고려하기 위하여 가시 입체각(visible solid angle)에 따라 적분하여 계산한다. 가시 입체각은 마스크 상부 영역을  $\theta$  와  $\phi$ 에 따라 나눈 작은 조각(patch)들의 가시도를 결정함으로써 계산한다. 마스크의 기하학적 형상과 콘택홀의 종횡비에 따라 결정되는 가시도(visibility)는 '0' 또는 '1'만을 가지는 함수로서 기판의 표면을 구성하는 셀로부터 마스크 상부 영역까지 연속적인 그림자 테스트(shadow test)를 수행함으로써 계산한다. 그림자 테스트를 수행함에 있어서 그림 1에서와 같이 마스크의 두 부분에서만 그림자 테스트를 수행함으로써 시뮬레이션 결과에 영향 없이 CPU 시간을 80% 이상 줄일 수 있다. 그림 1에서 a와 b의 두 조각에 대해서 가시도를 계산한다고 하였을 때, 그림자 테스트는 마스크 윗면의 검은색 타원과 아래 면의 회색 타원의 두 곳에서만 수행한다. 따라서, 그림 1에서 a는 가시도가 '0'이며, b는 가시도가 '1'이다.

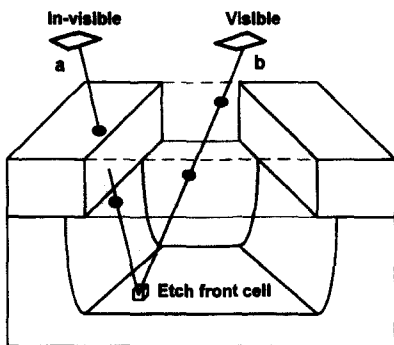


그림 1. 간략화된 그림자 테스트의 개략도  
Fig. 1. Scheme of the simplified shadow test.

셀 제거 알고리즘에서는 각 시간 단계에서 노출된

셀에서 부피를 제거할 때, 고정된 시간 간격으로 인하여 셀의 부피보다 과다하게 제거되는 스펠오버(spillover)가 발생한다. 이러한 경우에 셀의 부피는 음의 값이 되며, 발생한 오차는 인접한 셀에 전달되면서 누적되므로 이러한 오차를 보정해 주어야 한다. 셀의 부피가 음의 값이라는 것은 표면 셀을 넘어서 내부의 셀까지 식각이 되었다는 것을 나타내므로, 과다하게 식각된 부피를 인접한 셀들로부터 공제한다. 과다하게 식각된 셀은 부피가 '0'이 되어 경계를 구성하는 셀에서 제외되며, 식각제에 노출된 면이 없던 내부의 셀은 새롭게 노출된 셀이 된다. 셀의 부피가 공제되어야 하는 셀의 부피보다 작을 때, 부가적인 스펠오버가 발생한다. 이러한 스펠오버 또한 인접한 셀들로부터 공제함으로써 오차를 보정하였다.

식각이 끝난 후에 최종 식각면은 계단 형태로 나타나는데, 부드러운 식각면을 구현하기 위하여, 8개의 셀들이 서로 공유하는 점을 정점으로 정의하고, 한 정점에 접한 8개의 셀들을 각 정점의 경계 조건으로 가정하여, 이 경계조건으로부터 정점을 이동시켜 부드러운 곡면을 얻을 수 있도록 하였다<sup>[4]</sup>.

2. 3D-SURFILER의 구성 및 그래픽 사용자 환경

본 논문에서는 사용자가 시뮬레이션하고자 하는 영역에 대한 구조의 정의와 공정 조건을 쉽게 입력하고 입력한 조건에 의해서 시뮬레이션을 수행 할 수 있도록 사용자 그래픽 환경(graphic user interface, GUI)을 개발하였다. 사용자 그래픽 환경은 유닉스 환경 하에서 동작하도록 Tcl/tk 언어로 프로그래밍되었다.

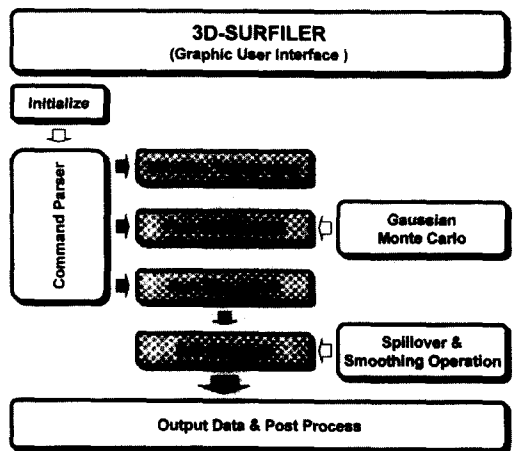


그림 2. 3D-SURFILER의 구성도  
Fig. 2. Schematic diagram of 3D-SURFILER.

전술한 모델과 셀 제거 알고리즘에 따라 3D-SURFILER의 구성도와 그래픽 사용자 환경을 그림 2와 그림 3에 도시하였다. 3D-SURFILER는 사용자가 가우시안 및 몬테 카를로 이온 분포 계산을 위한 조건과 시뮬레이션 영역의 구조를 정의한 후 실행하면, 입력 조건으로부터 시뮬레이션 영역에 대한 초기화를 수행하고 이온 분포를 계산한다.

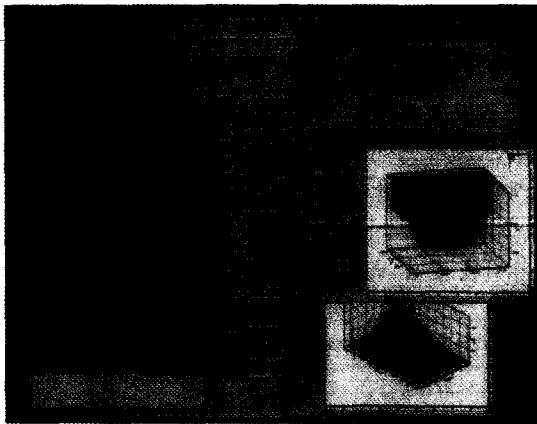


그림 3. 3D-SURFILER의 그래픽 사용자 환경  
Fig. 3. Graphic user interface(GUI) of 3D-SURFILER.

### III. 시뮬레이션 결과

3D-SURFILER의 시뮬레이션 결과로서 기판과 물리적 식각을 일으키는 이온의 입사 분포에 따른 2차원 및 3차원 시뮬레이션한 결과를 그림 4도와 그림 5에 도시하였다.

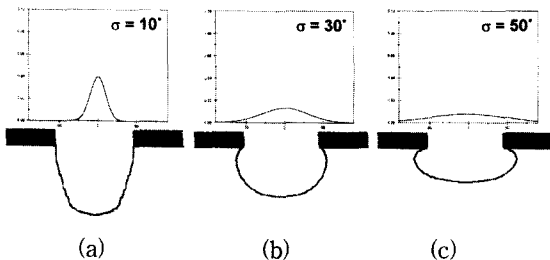


그림 4. 이온의 입사 분포에 따른 2차원 시뮬레이션 결과 (a)  $\sigma=10^\circ$  (b)  $\sigma=30^\circ$  (c)  $\sigma=50^\circ$   
Fig. 4. 2-Dimensional simulation results as incident ion distribution. (a)  $\sigma=10^\circ$  (b)  $\sigma=30^\circ$  (c)  $\sigma=50^\circ$

입사하는 이온은 방향성을 가지고 입사하기 때문에 마스크의 기하학적 형상에 영향을 받으므로, 최종 식

각면은 비동방성 식각면의 형태로 나타난다. 또한, 그림 4와 그림 5에서 나타난 바와 같이,  $\sigma$ 가 커질수록 이온이 입사할 때의 각 분포가 넓어지기 때문에, 넓고 얇게 식각됨을 확인할 수 있다. 그림 5는 이온의 입사 분포에 따른 식각 시뮬레이션의 3차원 결과로서 단면은 2차원 결과와 비슷한 형태로 나타났으며, 마스크의 기하학적 형태에 영향을 받는 이온에 의하여 마스크 바로 아래 부분은 식각 되지 않음을 확인하였다.

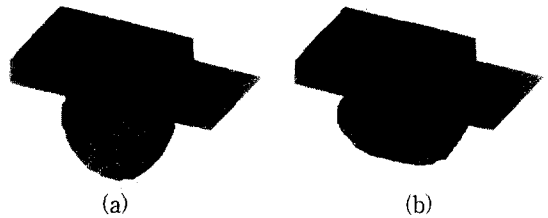


그림 5. 이온의 입사 분포에 따른 3차원 시뮬레이션 결과 (a)  $\sigma=30^\circ$  (b)  $\sigma=50^\circ$   
Fig. 5. 3-Dimensional simulation results as incident ion distribution. (a)  $\sigma=30^\circ$  (b)  $\sigma=50^\circ$

반응성 이온 식각(reactive ion etching, RIE) 같은 플라즈마 식각 공정에서 에너지를 가지고 입사하는 이온은 기판 표면을 손상시킬 수 있으며, 손상된 기판 표면에서의 식각 반응은 더욱 활발하게 일어난다. 본 논문에서는 기판 표면의 손상 정도를 손상 계수 (damage parameter)  $D_{ion}$ 로 나타내었으며,  $R_{rad} [1 + D_{ion} \int_{\theta, \phi} F_{rad}(\theta, \phi)]$ 으로 모델링하였다<sup>[2]</sup>.  $R_{rad}$ 는 라디칼에 의한 식각률로서 평탄한 면에서의 식각률

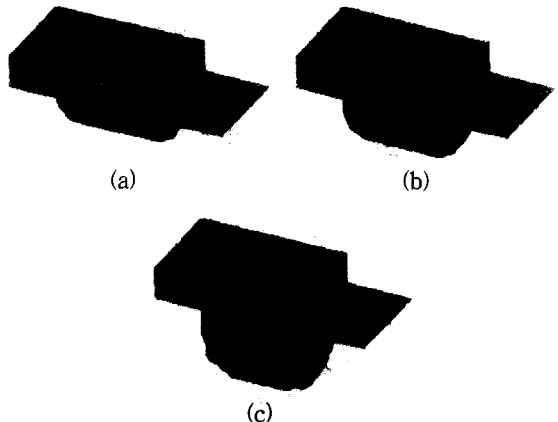


그림 6. 손상 계수의 변화에 따른 시뮬레이션 결과 (a)  $D_{ion}=0.0$  (b)  $D_{ion}=2.0$  (c)  $D_{ion}=4.0$ .  
Fig. 6. The resulting profiles according to the damage parameter,  $D_{ion}$  (a)  $D_{ion}=0.0$  (b)  $D_{ion}=2.0$  (c)  $D_{ion}=4.0$ .

이다. 그림 6은 손상 계수의 변화에 따른 시뮬레이션 결과이다. 손상 계수가 0.0에서 2.0과 4.0으로 커진다는 이온에 의한 증속 식각의 정도가 커진다는 것을 의미한다. 따라서, sheath 영역에서 전기장의 영향을 받아 기판과 수직으로 입사하는 이온에 의해서 콘택 홀 내부의 벽면(sidewall) 보다 바닥 부분의 식각률이 증가하여 종횡비가 커지는 것을 확인 할 수 있다.

일반적인 콘택 홀 구조에서 마스크 윈도우의 크기 =  $0.28 \mu\text{m} \times 0.28 \mu\text{m}$ , 두께 =  $0.1 \mu\text{m}$ , 식각 시간 = 700 초,  $R_{\text{flat}} = 50 \text{ \AA}/\text{sec}$ ,  $\sigma = 10^\circ$ ,  $D_{\text{ion}} = 6.0$ 으로 설정하고 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 7은 시뮬레이션 결과로서 종횡비는 1.57이다. 라디칼은 플라즈마 상태에서 이온 보다 빠르게 생성되고 수명이 길기 때문에, 일반적인 반응성 이온 식각 공정에서 식각 챔버 내의 라디칼의 농도는 이온의 농도 보다 약 10~100배 정도이다<sup>[6]</sup>. 따라서, 그림 7의 반응성 이온 식각 공정 시뮬레이션은 입사 이온에 의한 순수한 물리적 식각은 없는 것으로 가정하고 수행하였다. 그림 7에서 이온 증속 식각에 의한 식각률은 콘택 홀의 벽면보다 바닥에서 큰 것을 확인 할 수 있는데, 이온의 입사량이 콘택 홀의 벽면에서 보다 바닥에서 크기 때문이다. 콘택 홀의 벽면은 주로 라디칼에 의해서 식각이 이루어지며, 이온 증속 식각에 의한 식각은 바닥에서 보다 상대적으로 작다.

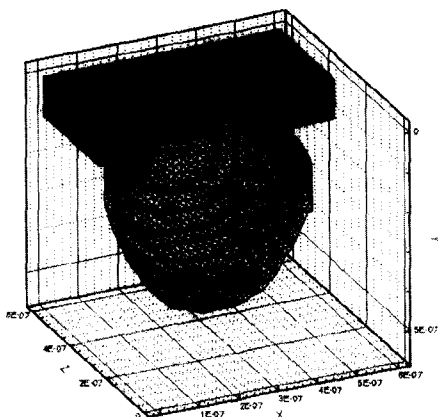
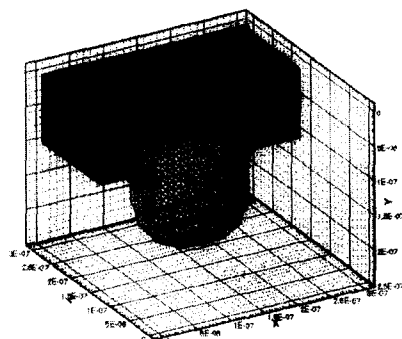


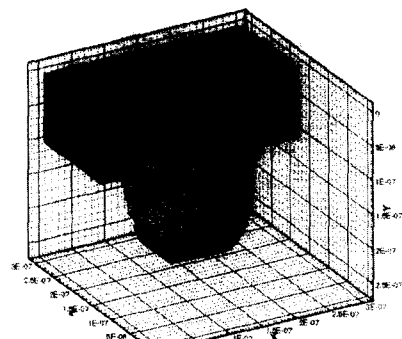
그림 7. 콘택 홀 구조에서의 반응성 이온 식각 시뮬레이션 결과. 마스크 윈도우의 크기 =  $0.28 \mu\text{m} \times 0.28 \mu\text{m} \times 0.1 \mu\text{m}$ , 식각 시간 = 700 초,  $R_{\text{flat}} = 50 \text{ \AA}/\text{sec}$ ,  $\sigma = 10^\circ$ ,  $D_{\text{ion}} = 6.0$

Fig. 7. Reactive ion etching of typical contact hole. The mask window is  $0.28 \mu\text{m} \times 0.28 \mu\text{m} \times 0.1 \mu\text{m}$ , and the etch time is 700 sec with  $R_{\text{flat}} = 50 \text{ \AA}/\text{sec}$ ,  $\sigma = 10^\circ$ ,  $D_{\text{ion}} = 6.0$

그림 8은 반사되어 재입사하는 입자에 의한 식각 시뮬레이션 결과로서  $\sigma = 2^\circ$  일 때의 이온만에 의한 시뮬레이션 결과이다. 반사되어 재입사하는 입자에 의한 영향을 확인하기 위하여 반사에 의한 식각을 고려하지 않은 시뮬레이션 결과와, 반사에 의한 식각을 고려한 시뮬레이션 결과를 각각 그림 8(a)와 그림 8(b)에 도시하였다. 그림 8(a)에서 마스크의 바로 밑 부분은 sheath 영역에서 전기장에 의해 영향을 받은 이온이 기판과 수직으로 입사하기 때문에 식각 되지 않았다. 그러나, 그림 8(b)에 나타난 바와 같이 반사되어 재입사하는 입자에 의해서 마스크 바로 밑부분이 식각됨을 확인할 수 있다.



(a)



(b)

그림 8. 반사되어 재입사하는 입자에 의한 식각 시뮬레이션 결과 (a) 반사가 고려되지 않은 시뮬레이션 결과 (b) 반사가 고려된 시뮬레이션 결과

Fig. 8. Simulation results of reflected or re-emitted particles. (a) Without reflection (b) With reflection

본 논문에서는 입사하는 이온의 분포 모델로서 해석적 모델인 가우시안(Gaussian) 모델과 몬테카를로 방

법에 의한 이온 분포 모델을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 9는 몬테카를로 이온 분포에 의한 시뮬레이션 결과로서 플라즈마 챔버 내의 압력이 600 mTorr 일 경우이다. 그림 9(a)도는 이온의 각 분포와 에너지 분포를 나타낸 결과이고, 그림 9(b)는 이온의 3차원 각 분포만을 나타낸 결과이며, 그림 9(c)는 식각 시뮬레이션 결과이다. 챔버 내의 압력이 낮으면 이온들 간의 충돌이 감소하기 때문에 산란되는 이온의 수는 매우 적지만, 챔버 내의 압력이 높으면 이온들 간의 충돌이 증가하기 때문에 이온의 산란 정도가 커져 0° 에서 벗어난 분포를 보이며, 그림 9(c)도에 나타난 바와 같이 언더-컷(under-cut)이 강하게 형성된다.

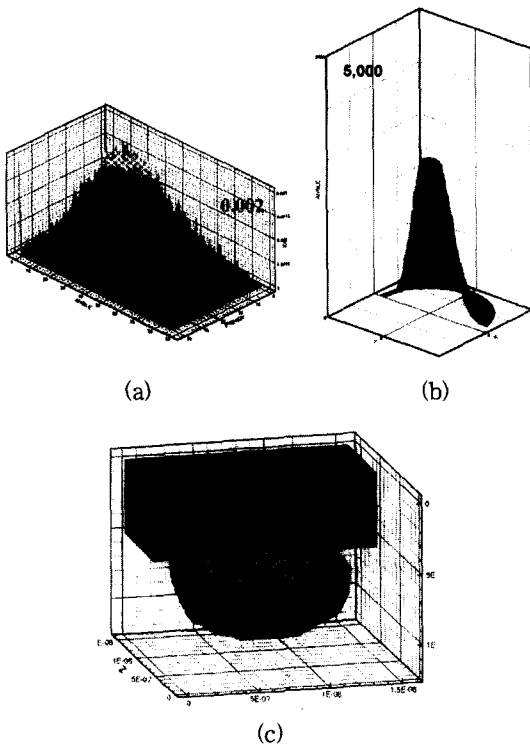


그림 9. 몬테카를로 방법에 의한 이온 분포와 식각 시뮬레이션 결과. 압력=600 mTorr (a) 이온의 각 분포 및 에너지 분포 (b) 이온의 각 분포만을 나타낸 결과 (c) 시뮬레이션 결과

Fig. 9. 3-Dimensional Ion distribution and resulting profile with Monte Carlo method. Pressure = 600 mTorr. (a) Angle and energy distribution (b) Angle distribution (c) Resulting profile

#### IV. 결 론

본 논문에서는 차세대 반도체 제조 기술 중 핵심

기술에 해당하는 플라즈마 식각 기술로 제작하는 콘택 홀의 3차원 형상을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 예측할 수 있도록 셀 제거 알고리즘이 적용된 3D-SURFILER를 개발하였다. 시뮬레이션을 수행함에 있어서 스피어 알고리즘과 가시도 계산 알고리즘을 적용하였으며, 최종 식각면의 계단 현상을 개선하기 위한 알고리즘을 적용하였다. 또한, 사용자가 시뮬레이터를 쉽게 사용할 수 있도록 Tcl/tk 언어로 프로그래밍된 그래픽 사용자 환경을 개발하였다. 사용자 그래픽 환경은 사용자가 공정 조건을 입력한 후, 시뮬레이션을 수행하고, 결과를 확인할 수 있도록 구성되었다. 챔버 내에서 발생한 입자 중에서 입사하는 이온의 각 분포를 고려하기 위하여 가우시안 모델과 몬테 카를로 방법을 적용하여 계산하였다.

가시도를 계산할 때 마스크의 윗 부분과 아래 부분의 두 곳에서만 그림자 테스트를 수행하는 알고리즘을 적용할 경우에 CPU 시간을 80%까지 줄일 수 있었다. 이온에 의한 증속 식각의 정도를 나타내는  $D_{ion}$ 의 변화에 따른 시뮬레이션 결과에서  $D_{ion}$ 이 0.0에서 2.0과 4.0으로 증가할 수록 콘택 홀의 벽면 보다 이온의 입사량이 많은 콘택 홀의 바닥에서의 식각률이 증가하기 때문에 식각이 끝난 후에 중형비가 증가한 것을 확인하였다. 또한, 가우시안 모델의  $\sigma$ 와 몬테 카를로 모델의 압력의 변화에 따른 2차원 및 3차원 시뮬레이션 결과로부터  $\sigma$ 나 압력이 증가할 경우에 sheath 내에서 입자들 간의 충돌이 심해져 입자의 분포가 퍼지기 때문에 최종 식각 후에 언더-컷이 나타남을 확인하였다.

#### 참 고 문 헌

[1] E. W. Scheckler, "Algorithms for Three-Dimensional Simulation of Etching and Deposition Processes in Integrated Circuit Fabrication," Memo. no. UCB/ERL M91/99, University of California, Berkeley, November 12, 1991.

[2] E. Leitner, W. Bohmayr, P. Fleischmann, E. Strasser, and S. Selberherr, "3-Dimensional Process Simulation(ed. J. Lorenz)," pp. 136-161, Springer-Verlag wien, new York, 1995.

- [ 3 ] Terrain, Deposition and Etch Simulation, ver. 1.0, Reference Manual, Technology Modeling Associates, Inc. July, 1996
- [ 4 ] 권오섭, 이재희, 윤상호, 반용찬, 김연태, 원태영, “플라즈마 식각 모델링 및 3차원 토포그래피 시뮬레이터 개발(Modeling of Plasma Etching and Development of Three-Dimensional Topography Simulator),” 전자공학회논문지-D(Journal of The Korean Institute of Electronics Engineers of Korea), 제35권 D 편 제2호, pp. 119-126, 1998
- [ 5 ] 반용찬, 이재희, 윤상호, 권오섭, 김연태, 원태영, “몬테카를로 계산 방식에 의한 RF 플라즈마 에칭 시스템에서의 이온 분포 계산(Calculation of Ion Distributions in an RF Plasma Etching System Using Monte Carlo Methods,” 전자공학회논문지-D(Journal of The Korean Institute of Electronics Engineers of Korea), 제35권 D편 제5호, pp. 472-480, 1998
- [ 6 ] S. Wolf, R. N. Tauber, “Silicon Processing for the VLSI Era : Volume 1 - Process Technology,” Lattice Press.

저 자 소 개

權 五 燮(正會員)

1972년 9월 18일생. 1997년 인하대학교 전자재료공학과(공학사), 1997년 ~ 현재 인하대학교 전자재료공학과 석사과정, 주관심분야는 반도체 공정 물리, 시뮬레이션 등임

潘 用 瓊(正會員)

1974년 7월 7일생. 1997년 인하대학교 전자재료공학과(공학사), 1997년 ~ 현재 인하대학교 전자재료공학과 석사과정, 주관심분야는 반도체 공정 물리, 시뮬레이션 등임

元 太 映(正會員)

1959년 2월 21일생. 1981년 서울대학교 전자공학과(공학사). 1983년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사). 1989년 미국 University of Illinois at Urbana-Champaign 전자공학과(공학박사). 1989년~1990년 미국 State University of New York 조교수. 1990년 ~ 1991년 삼성전자(주) 수석 연구원. 1991년 ~ 현재 인하대학교 공과대학 전자전기컴퓨터공학부 부교수. 주관심분야는 반도체 소자 및 공정 등임