

Cl₂/Ar 유도 결합 플라즈마를 이용한 NiFe, NiFeCo, Ta의 건식식각

라현욱 · 박형조* · 김기주 · 김원영 · 한윤봉†

전북대학교 화학공학부, 나노소재공정연구센터
561-756 전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14

*나리지온

570-210 전북 익산시 어양동 513-37

(2004년 2월 12일 접수, 2004년 10월 15일 채택)

Dry Etching of NiFe, NiFeCo, and Ta in Cl₂/Ar Inductively Coupled Plasma

Hyun-Wook Ra, Hyung Jo Park*, Ki Ju Kim, Wan-Young Kim and Yoon-Bong Hahn†

Nanomaterials Processing Research Center and School of Chemical Engineering and Technology, Chonbuk National University,
664-14, 1 Ga, Duckjin-dong, Duckjin-gu, Jeonju 561-756, Korea

*Knowledge on Inc., 513-37, Eoyang-dong, Iksan 570-210, Korea

(Received 12 February 2004; accepted 15 October 2004)

요 약

Magnetic random access memory(MRAM) 소자재료로 사용되고 있는 NiFe, NiFeCo, Ta 등의 박막을 Cl₂/Ar 유도 결합 플라즈마를 이용하여 식각하였다. NiFe와 NiFeCo의 식각 속도는 특정 ICP 공급 전력에서 최대값을 나타냈지만, Ta의 식각 속도는 ICP 공급 전력이 증가함에 따라 증가하였다. RF 하부전극 전력이 증가하면서 자성박막의 식각 속도는 증가하였지만, 공정압력과 Cl₂의 농도가 증가함에 따라 점진적으로 감소하였다. 식각 후에 염소에 의한 표면 부식을 방지하기 위해 이온수로 5분간 세척하였다. 식각 프로파일은 Cl₂ 농도가 50%일 경우에 식각 단면에 식각 잔유물들이 존재하지 않는 부드러운 단면을 얻을 수 있었다.

Abstract – Dry etching of NiFe, NiFeCo, and Ta for magnetic random access memory (MRAM) by inductively coupled plasmas (ICPs) of Cl₂/Ar has been carried out. NiFe and NiFeCo showed maximum etch rates at a particular ICP source power, but the etch rate of Ta increased with the ICP source power. The etch rates of the magnetic thin films increased with the RF chuck power, but decreased with the operating pressure and the Cl₂ concentration. To avoid a corrosion problem by chlorine, the etched samples were rinsed with de-ionized water for 5 minutes after etching. The etch profile showed a clean and smooth surface at 50% Cl₂ concentration.

Key words: MRAM, ICP Etching, Magnetic Materials

1. 서 론

최근에 정보 저장 및 처리 기술에 대한 관심이 증대되면서 반도체를 이용하는 메모리 소자의 한계성이 점차 드러나고 있고, 새로운 정보 기록저장 소자개발의 필요성이 요구되고 있다. 최근 새롭게 각광을 받고 있는 기록매체는 자기저항 현상(magnetoresistance, MR)을 이용하는 MRAM(magnetic random access memory) 소자가 반도체 기록저장 소자의 뒤를 이을 것으로 예상하고 있다. MRAM은 DRAM(dynamic random access memory)과는 달리 자기적 전하를 이용하여 정보를 저장하며, SRAM(static random access memory)의 빠른 처리속도와 DRAM의 높은 기록밀도 특징을 동시에 갖는 소자이다. 특히 MRAM은 작동 중에 전력공급이 중단될지라도 정보가 지워지

지 않는 비휘발성 기억소자이며, 정보처리속도가 플래시(flash) 메모리 소자보다 약 1,000배, DRAM과 FRAM(ferro-electric random access memory)보다는 약 20배 정도 빠를 뿐만 아니라, 전력 소모가 적고(DRAM의 1/100), 복사 에너지가 높은 극한 환경에서도 내성이 강한 소자이다[1-3]. 따라서 MRAM의 응용분야는 SRAM, DRAM 및 플래시 메모리보다 넓고, 최근에는 DRAM을 대체할 수 있는 차세대 기억소자로 각광 받고 있으며, 이에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

MRAM 소자의 제조공정은 소자 설계기술, 박막 제조기술, 패턴 가공기술 등으로 이루어지는데, 이중 패턴 가공기술은 다른 공정기술에 비해 상당히 뒤떨어져 있다. 이는 MRAM 소자를 이루는 자성재료들은 식각 생성물의 끓는점 온도가 높아 식각이 용이하지 않기 때문이다. 자성박막을 이온밀링(ion milling)[4], 반응성 이온식각(reactive ion etching)[5] 등의 방법으로 식각하였을 경우, 식각 속도

†To whom correspondence should be addressed.
E-mail: ybhahn@chonbuk.ac.kr

가 낮고, 마스크 재료에 대한 선택비가 낮으며, 식각 생성물이 박막 표면에 재증착 되는 등 여러 가지 문제가 있다. 반면에 고밀도 플라즈마를 이용하는 식각방법[6-9]은 다른 방법들에 비해 비교적 식각 속도가 높고, 플라즈마 손상을 최소화할 수 있으며, 공정제어가 용이한 장점을 갖고 있다.

본 연구에서는 MRAM 소자의 박막재료로 사용되는 NiFe, NiFeCo, Ta의 식각 특성을 규명하고, 식각 공정 최적화를 위한 기초자료를 얻기 위하여 고밀도 플라즈마 유도 결합 플라즈마(ICP, inductively coupled plasma) 식각 장치에서 Cl_2/Ar 을 이용하여 식각실험을 수행하였다.

2. 실험

본 연구에 사용된 자성박막은 NiFe, NiFeCo 및 Ta인데, RF 마그네트론 스퍼터링(magnetron sputtering) 방법에 의해 실리콘(100) 기판 위에 300 nm 두께로 증착되었다. 자성박막 위에 플라즈마 화학 기상증착법(PECVD, plasma enhanced chemical vapor deposition)을 이용하여 하드 마스크용으로 SiO_2 를 약 6,500 Å의 두께로 증착하였다. 모든 시편은 감광재(AZ6612)를 이용하여 SiO_2 위에 패터를 형성하였고, NF_3/Ar 유도 결합 플라즈마를 이용하여 SiO_2 를 식각하였다. 시편의 식각은 국내에서 제작된 공급 전력 13.56 MHz의 ICP 장비(VSICP-1250A)에서 Cl_2/Ar 을 이용하여 이루어졌다. 시편은 서셉터(susceptor)에 공급되는 헬륨을 통해 냉각되었고, 반응기 안으로 유입되는 Cl_2 와 Ar의 기체 공급유량은 총 20 sccm로 고정되었다. 자성박막의 식각특성은 ICP 공급 전력, RF 하부전극 전력, 식각기체 농도, 공정 압력을 변화시키면서 조사하였다. 식각 후 SiO_2 박막은 HF 완충용액을 이용하여 제거하였다. 또한, 부식성 식각 생성물을 제거하기 위해서 이온수(de-ionized water)에 5분 동안 세척 후 100 °C에서 2분 동안 건조하였다.

식각 속도는 표면 단차 측정기(stylus profilometry measurement)를 이용하여 식각 전후의 식각 단차를 측정하여 얻었다. 식각된 단면과 식각 프로파일은 주사전자현미경(scanning electron microscope)을 통해 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

플라즈마 식각 공정의 중요한 변수 중 하나인 플라즈마 이온 밀도의 영향을 알아보기 위하여, 플라즈마 밀도를 결정하는 ICP 공급 전력에 대한 실험을 하였다. ICP 공급 전력은 600에서 1,000 W까지 변경시켰고, 다른 변수들은 RF 하부전극 전력 150 W, 압력 5 mtorr, Cl_2 농도 50%(10 sccm Cl_2 /10 sccm Ar)로 고정했다. Fig. 1은 ICP 공급 전력이 자성박막의 식각 속도에 미치는 영향을 보여준다. DC bias는 ICP 공급전력이 증가하면서 플라즈마 밀도가 증가하기 때문에 감소하였다. Ta는 ICP 공급 전력이 증가하면서 식각 속도가 선형적으로 증가했지만, 다른 박막들은 700 또는 800 W에서 최대의 식각 속도를 보였다. 높은 ICP 공급전력에서 식각 속도가 감소한 이유는 기판표면에 입사되는 이온 flux가 크게 증가하면서 이온 스퍼터링에 의해 표면에 흡착된 반응성 중성종이 식각 반응하기 전에 표면에서 떨어져 나오기 때문이다[10, 11].

RF 하부전극 전력은 독립적으로 기판에 입사하는 이온들의 입사 에너지를 조절하여 이방성과 식각 속도를 증가시킨다. Fig. 2는 식

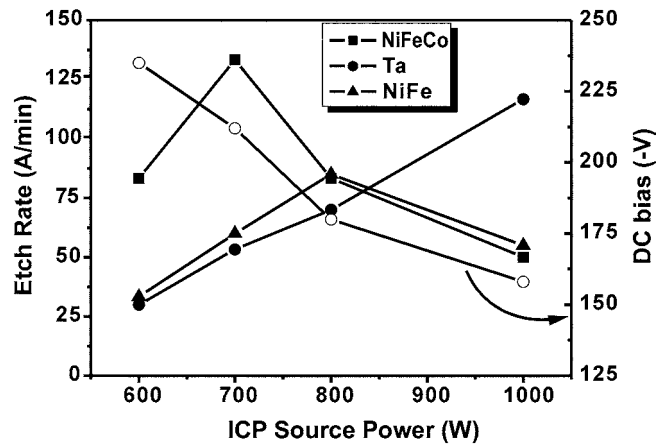


Fig. 1. Effect of the ICP source power on the etch rates of magnetic thin films at 150 W RF, 5 mTorr, and 50% Cl_2 .

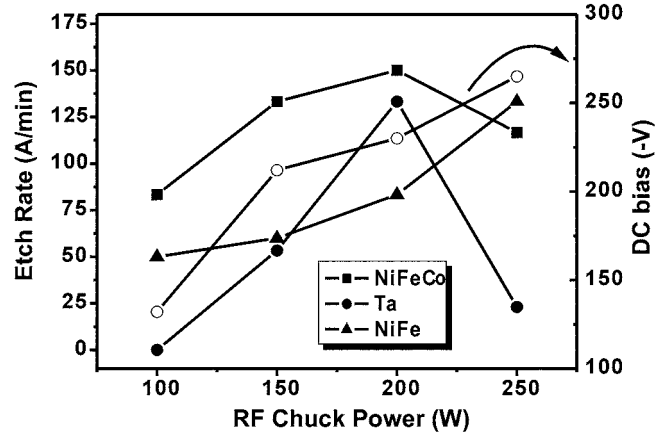


Fig. 2. Effect of the RF chuck power on the etch rates of magnetic thin films at 700 W ICP, 5 mTorr, and 50% Cl_2 .

각 속도가 RF 하부전극 전력에 크게 영향을 받는 사실을 보여준다. ICP 공급 전력, 공정 압력, 공급 기체 농도 등은 일정하게 유지하고, RF 하부전극 전력을 100에서 250 W까지 변화시키며 식각 속도를 측정하였다. 모든 시편의 식각 속도는 RF 하부전극 전력이 증가하면서 점진적으로 증가하거나, 약 200 W에서 최대값을 보였다. 이 결과는 RF 하부전극 전력이 증가하면서 시편에 입사하는 이온의 충돌 에너지가 크게 증가하기 때문이다. 그러나 200 W 이상의 RF 하부전극 전력에서는 반응종이 기판 표면과 반응하기 전에 탈착됨으로써 식각 속도가 감소하였다[6, 12].

공정 압력이 시편의 식각 속도에 미치는 영향을 Fig. 3에 나타내었다. 공정 압력은 5에서 20 mtorr까지 변화시켰고, 다른 변수들은 ICP 공급 전력 700 W, RF 하부전극 전력 150 W, Cl_2 농도 50%(10 sccm Cl_2 /10 sccm Ar)로 고정했다. 식각 속도는 압력이 증가함에 따라 점차 감소하였다. 이는 공정 압력이 증가하면서 반응 종들의 평균자유행로(mean free path)가 짧아지므로 전자와 이온의 재결합 확률이 증가하고, 이온들의 물리적 충돌에 의한 스퍼터링이 감소하기 때문으로 판단된다.

반응성 기체인 Cl_2 농도가 식각 속도에 미치는 영향을 살펴보기 위해서 일정한 ICP 공급 전력, RF 하부전극 전력, 공정 압력에서 Cl_2 의 농도를 0에서 100%까지 변화시키면서 실험하였으며,

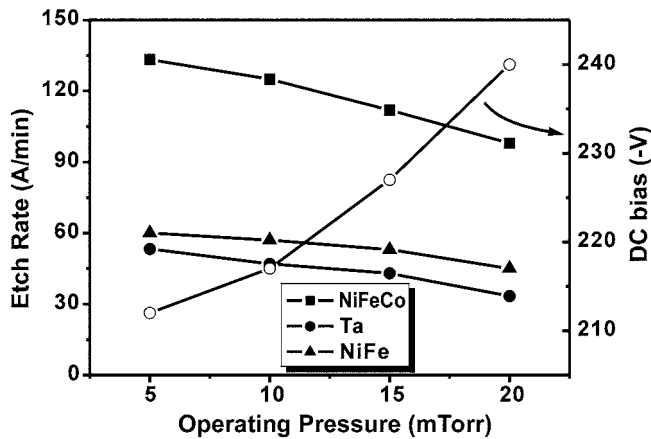


Fig. 3. Effect of the operating pressure on the etch rates of magnetic thin films at 700 W ICP, 150 W RF, and 50% Cl_2 .

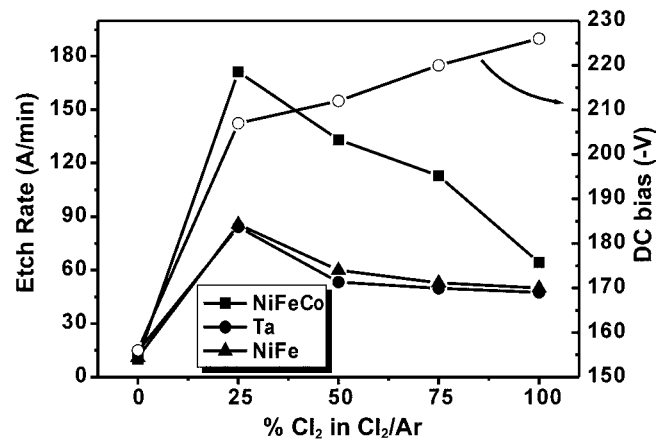


Fig. 4. Effect of the Cl_2 concentration on the etch rates of magnetic thin films at 700 W ICP, 150 W RF, and 5 mtorr.

그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 식각 속도는 Cl_2 농도가 약 25% 일 때 최대값을 나타냈고, Cl_2 의 농도가 증가함에 따라 점진적으로 감소하였다. Cl_2 농도가 낮을 경우에는 Ar 이온의 스퍼터링에 의한 물리적 식각이 우세하다. 그러나 농도가 25% 이상 일 때는 화학적 식각에 의한 영향이 커지지만, 휘발도가 낮은 식각생성물들도 많이 생성되기 때문에 식각 속도는 감소하는 것으로 판단된다.

Fig. 5와 Fig. 6은 NiFe, NiFeCo, Ta의 식각 프로파일을 나타내는 주사전자현미경 이미지이다. ICP 공급 전력, RF 하부전극 전력, 공정압력은 각각 700 W, 150 W, 5 mtorr로 고정되었다. Fig. 5는 Cl_2

농도가 25%일 때, Fig. 6은 Cl_2 농도가 50%일 때의 식각 프로파일을 각각 나타낸다. 자성박막의 식각 프로파일은 Cl_2 농도가 50% 일 경우에는 식각 단면에 잔유물들이 존재하지 않아 부드러운 단면을 얻을 수 있었다. 반면 25%일 경우, NiFe의 경우는 50%일 때와 비슷한 결과를 보였고, NiFeCo의 경우는 부드럽지 못한 식각 프로파일을 보였다. Ta의 경우에는 식각 프로파일이 현저하게 나빠지는 결과를 보였다. 앞에서 살펴 보았듯이 비록 Cl_2 농도가 25% 일 경우에 자성박막의 식각 속도가 가장 높았으나, 식각 프로파일의 관점에서는 Cl_2 농도가 50%일 때 부드러운 식각 프로파일을 얻을 수 있었다.

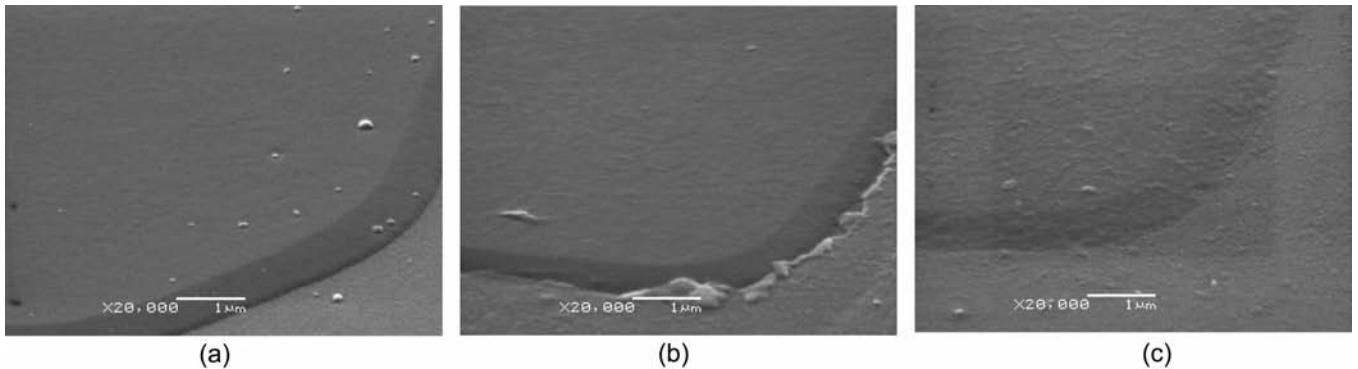


Fig. 5. SEM images of NiFe (a), NiFeCo (b), and Ta (c) etched at 700 W ICP, 150 W RF, 5 mtorr, and 25% Cl_2 .

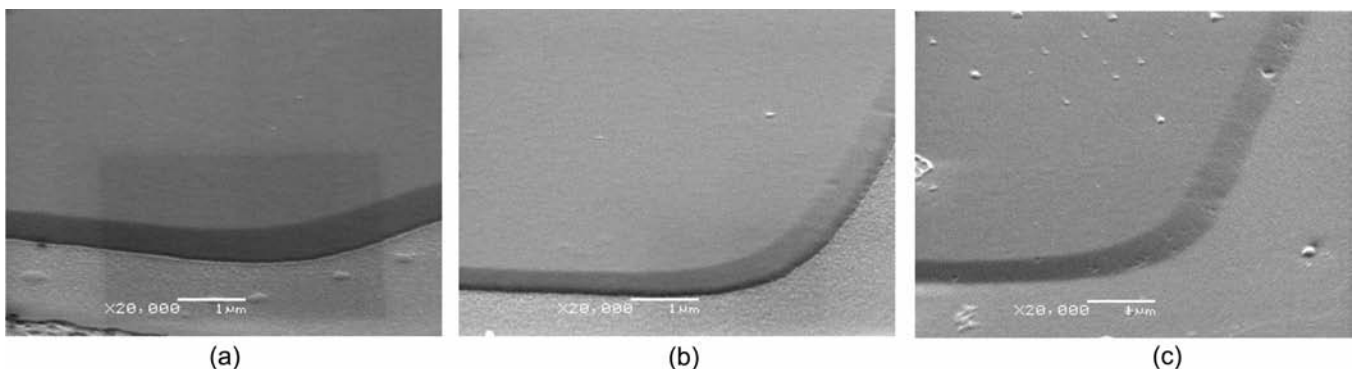


Fig. 6. SEM images of NiFe (a), NiFeCo (b), and Ta (c) etched at 700 W ICP, 150 W RF, 5 mtorr, and 50% Cl_2 .

4. 결 론

본 연구에서는 NiFe, NiFeCo, Ta 등 MRAM 소자재료로 사용되는 박막을 Cl_2/Ar 유도 결합 플라즈마를 이용하여 식각하였다. 다양한 플라즈마 공정 변수에서 식각된 박막의 식각 속도와 식각 프로파일을 측정하였다. NiFe와 NiFeCo는 특정 ICP 공급 전력에서 식각 속도가 최대값을 나타냈고, Ta은 ICP 공급 전력이 증가하면서 식각 속도가 선형적으로 증가하였다. RF 하부전극 전력이 증가하면서 자성박막의 식각 속도는 점진적으로 증가하거나, 약 200 W에서 최대값을 보였다. 박막들의 식각 속도는 공정압력과 Cl_2 의 농도가 증가함에 따라 점진적으로 감소하였다. 식각 프로파일에 크게 영향을 미치는 공정변수는 Cl_2 의 농도이고, Cl_2 농도가 50%일 경우에 식각 단면에 식각 잔유물들이 존재하지 않는 부드러운 단면을 얻을 수 있었다.

감 사

이 논문은 2004년도 두뇌한국 21 사업에 의하여 지원되었습니다.

참고문헌

1. Zhu, J.-G., Zheng, Y. and Prinz, G. A., "Ultrahigh Density Vertical Magnetoresistive Random Access Memory," *J. Appl. Phys.*, **87**, 6668-6673(2000).
2. Tehrani, S., Chen, E., Durlam, M., De Herrera, M., Slaughter, J. M., Shi, J. and Kerszykowski, G., "High Density Submicron Magnetoresistive Random Access Memory," *J. Appl. Phys.*, **85**, 5822-5827(1999).
3. Gallagher, W. J., Parkin, S. S. P., Lu, Y., Bian, X. P., Marley, A., Roche, K. P., Altman, R. A., Rishton, S. A., Jahnes, C., Shaw, T. M. and Xiao, G., "Microstructured Magnetic Tunnel Junction," *J. Appl. Phys.*, **81**, 3741-3746(1997).
4. Gokan, H. and Esho, S., "Pattern Fabrication by Oblique Incidence Ion-Beam Etching," *J. Vac. Sci. Technol.*, **18**, 23-27(1981).
5. Vasile, M. J. and Mogab, C. J., "Chemically Assisted Sputter Etching of Permalloy using CO or Cl_2 ," *J. Vac. Sci. Technol. A*, **4**, 1841-1849(1986).
6. Jung, K. B., Cho, H., Hahn, Y. B., Hays, D. C., Lambers, E. S., Park, Y. D., Feng, T., Childress, J. R. and Pearton, S. J., "Effect of Inert Gas Additive on Cl_2 -Based Inductively Coupled Plasma Etching of NiFe and NiFeCo," *J. Vac. Sci. Technol. A*, **17**, 2223-2227(1999).
7. Jung, K. B., Cho, H., Hahn, Y. B., Hays, D. C., Lambers, E. S., Park, Y. D., Feng, T., Childress, J. R. and Pearton, S. J., "Relative Merits of Cl_2 and CO/NH_3 Plasma Chemistries for Dry Etching of Magnetic Random Access Memory Device Elements," *J. Appl. Phys.*, **85**, 4788-4790(1999).
8. Jung, K. B., Cho, H., Hahn, Y. B., Hays, D. C., Lambers, E. S., Park, Y. D., Feng, T., Childress, J. R. and Pearton, S. J., "Interhalogen Plasma Chemistries for Dry Etch Patterning of Ni, Fe, NiFe and NiFeCo Thin Films," *Appl. Surf. Sci.*, **140**, 215-222(1999).
9. Hong, J., Caballero, J. A., Lambers, E. S., Childress, J. R., Pearton, S. J., Jenson, J., M. and Hurst, A. T., "High Density Plasma Etching of NiFe, NiFeCo and NiMnSb-Based Multilayers for Magnetic Storage Elements," *Appl. Surf. Sci.*, **138**, 111-116(1999).
10. Park, J. S., Kim, T. H., Chang, C. S. and Hahn, Y. B., "Dry Etching of $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$: Comparison of Inductively Coupled Plasma Chemistries," *Korean J. Chem. Eng.*, **19**(3), 486-490(2002).
11. Hahn, Y. B., Hays, D. C., Cho, H., Jung, K. B., Abernathy, C. R. and Pearton, S. J., "Effect of Inert Gas Additive Species on Cl_2 High Density Plasma Etching of Compound Semiconductors: Part I. GaAs and GaSb," *Appl. Surf. Sci.*, **147**, 207-214(1999).
12. Shul, R. J. and Pearton, S. J. (Eds.), Handbook of Advanced Plasma Processing Techniques, 1st ed., Springer, New York(2000).