

UHV-LCVD 장치를 이용한 박막제작에 관한 연구 (I) — 장치 제작을 중심으로 —

최원국 · 윤덕주 · 공병인 · 김창현 · 황정남 · 정광호

연세대학교 이과대학 물리학과
(1993년 5월 12일 접수)

The Study on Thin Film Fabrication using UHV-LCVD System (I)

Won Kook Choi, Dug Ju Yun, Byung In Gong, Chang Hyun Kim,
Chung Nam Whang and Kwang Ho Jeong

Department of Physics, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea
(Received May 12, 1993)

요 약 — Si_3N_4 와 SiO_2 박막을 고순도로 성장시키기 위하여 UHV-LCVD 장치를 제작하였다. 이 장치는 CVD 반응실, 시료주입 장치, 가스주입 장치, 광여기를 위한 레이저 창, 질량분석 장치로 구성되어 있다. UHV-LCVD는 low pressure, low vacuum CVD에 비해 제작상의 어려움이 따르나 초고진공 분위기에서 반응 가스의 양을 정확히 조절하여 고순도의 박막을 제작할 수 있었다.

Abstract — UHV-LCVD system was constructed for high quality silicon nitride thin film fabrication. This system consisted of a reaction chamber, an introduction chamber with sample load lock entry, a cabinet for gas manipulation controlling gas flow, a CO_2 laser and a Fourier transform mass spectrometer. Although the UHV-LCVD system construction was more sophisticated than low pressure CVD, highly pure thin films were fabricated by controlling gas mixing ratio and flow rate in ultra high vacuum surroundings.

1. 서 론

반도체 분야의 소자 제조 및 성형기술이 발달함에 따라서 반도체 소자는 그 구조에 있어서 더욱 극미세화, 고집적화가 이루어지고 있다. 따라서 제조과정의 저온화가 요구되고 있으며, 또한 선택적으로 기판표면의 국소적인 부분에만 박막을 증착시키거나 에칭해야 할 필요성도 생기게 되었다. 이와 같은 필요성들에 따라서 여러 방향으로 연구들이 행해지고 있는데, 반도체 박막의 저온성장법으로서 광에너지를 이용한 광여기 Chemical Vapor Deposition(CVD)법이 대두되었다. 현재 plasma-CVD법[1, 2]이 여러 가지

반도체 박막들의 저온성장법으로 널리 이용되고 있지만, 이 방법은 RF 방전을 통해 재료기체를 분해시키는 plasma 분해과정으므로 하전입자들에 의한 기판의 손상이 발생하게 되고, 또한 기판 전 영역에서 증착반응이 일어나기 때문에 국소적인 부분만의 선택적인 박막증착이 불가능한 결점이 있다. 이와 같은 결점들을 보완할 수 있는 방법으로서 활발히 연구되고 있는 분야가 레이저를 광에너지원으로 이용하는 Laser induced Chemical Vapor Deposition(LCVD)이다.

LCVD법에 의한 반도체박막 생장은 1978년 Christensen 등[3]이 CO_2 laser를 사용해서 silicon 박막을 증착시킴으로써 처음 시작되었는데, 그 후로도 Hana-

busa 등[4]과 Baranauskas 등[5], 또 Bilenchi 등[6]과 Meunier 등[7]이 역시 CO₂ laser를 이용해서 다결정 실리콘 및 수소화된 비정질 실리콘 박막을 얻어내었고, Bäuerle 등[8]과 Layendecker 등[9]은 가시영역의 파장을 갖는 Ar 이온레이저를 이용해서 실리콘 및 탄소 다결정 박막을 얻어내었다. 이 밖에, 보다 큰 단일 광자 에너지를 갖는 excimer 레이저를 이용해서 다결정 실리콘 박막을 증착시켰다는 보고 [10]도 있으며, 특히 Ehrlich 등[11, 12]은 Ar 이온레이저를 가지고 실리콘 박막의 도핑 및 *p-n* 접합형성에 관한 실험을 하였다. 비단 실리콘 뿐만 아니라 다른 반도체[10, 13]와 절연체[14], 금속계통 등[15-18]의 박막도 LCVD법으로써 증착시킬 수 있다는 것이 밝혀졌고, 단순한 박막성장 뿐만 아니라 에칭[19]이나 direct writing 등[20, 21]에 대해서도 연구가 진행되고 있으며, 근래에 와서는 polymer 중합[22]이나 MOCVD[23]에도 laser가 이용되고 double beam deposition[24]이 실행되는 등, 이 분야의 연구는 매우 활발하게 진행되고 있다.

과거의 대부분의 CVD 방법은 저진공이나 고진공 상태에서 진행되어 왔다. 그러나 고순도 박막을 성장하기 위하여는 기판이 깨끗해야 하므로 반응실 안에서 의도하는 chemical vapor 이외의 다른 분자의 부분압을 낮추어 주어야 한다. 본 연구에서는 박막의 성장과정에서 기판의 상태를 최대한 깨끗히 유지시키면서 LCVD를 진행할 수 있는 초고진공(Ultra-High Vacuum; UHV) LCVD 장치를 개발하였다.

2. 장치제작

본 연구에서 제작한 UHV-LCVD 장치는 크게 다섯 부분으로 되어 있다. 기본 진공도를 초고진공 상태로 유지할 수 있는 CVD 반응실, 초고진공 상태를 유지하면서 시료를 주입시킬 수 있는 시료주입장치, 반응가스의 양을 정확히 조절할 수 있는 가스주입장치, 광여기를 위한 레이저 장치, 그리고 반응과정에서 그 부분압을 조사하기 위한 질량분석장치이다.

2.1. CVD 반응실

CVD 반응실의 본체로 직경 400 mm, 높이 300 mm의 원통형으로 초고진공 챔버를 제작하였다. 본체에는 시료의 위치를 조절할 수 있도록 하는 시료

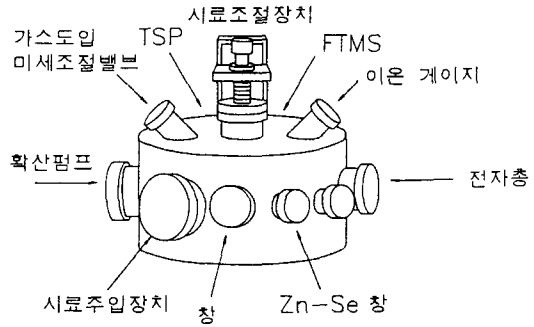


그림 1. 반응실.

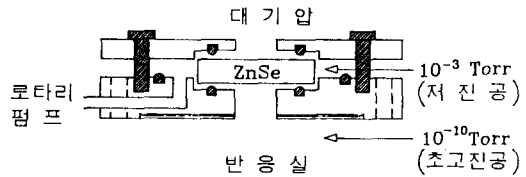


그림 2. 초고진공용 CO₂ 레이저창.

조절장치, 시료주입, 부분압을 분석하기 위한 장치, 레이저빔, 펌핑 등을 위한 19개의 port가 그림 1과 같이 부착되어 있다. 레이저빔 port는 반응실을 초고진공으로 유지시키면서 레이저빔을 위한 ZnSe 창을 부착시키기 위하여 differential 펌핑할 수 있도록 그림 2와 같이 제작하였으며, 나머지 port는 구리가스켓을 사용하여 초고진공을 유지할 수 있도록 하였다. 반응실 위에는 시료의 위치를 z축으로 140 mm, x, y 방향으로 각각 24 mm씩 조절할 수 있는 시료조절장치를 부착하였으며, 측면의 port들은 저에너지 전자회절 장치, 질량분석 장치, 저에너지 전자총, 창, 그리고 시료주입장치 등을 부착하였다. 진공펌프는 반응실을 초고진공으로 유지하면서 성장시 많은 양의 가스를 효과적으로 처리하기 위하여 물 차폐판과 액체질소 트랩을 부착한 varian의 VHS4 확산펌프와 Titanium Sublimation 펌프를 사용하였으며, 박막성장시 반응가스의 적당한 부분압을 유지하기 위하여 반응실과 펌핑부분에 conductance 조절장치를 하였다.

2.2. 시료주입장치

그림 3a에 나타난 시료주입실은 직경 63 mm, 높이 105 mm의 작은 원통형에 앞뒤로 114 mm window port 등을 부착하고, 아래 위로는 시료 8개를 대기시킬 수 있도록 35 mm의 실린더를 아래로 270 mm, 위로

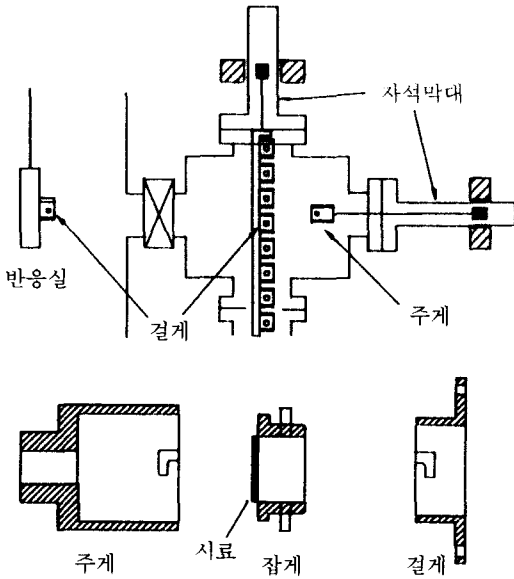


그림 3. 시료주입장치.
a. 시료주입실, b. 시료전달장치.

350 mm씩 70 mm 플랜지로 연결시켜 공간을 두었다. 왼쪽으로는 시료를 반응실까지 운반시킬 수 있는 80 mm 길이의 자석막대를 부착하였으며, 오른쪽은 반응실과 게이트 밸브로 연결하였다. 시료 전달장치는 그림 3b에 나타나 있다. 기판을 부착하는 잡게, 잡게를 걸어놓을 수 있도록 되어 있는 결계 그리고 잡게를 결계에 전달해 주는 주계로 구성되어 있다. 결계는 모두 9개로 이루어져 있다. 그 중 하나는 시료온도 조절장치를 부착하여 반응실에, 나머지 8개의 결계는 시료주입실 상단에 자석막대를 이용하여 선택할 수 있도록 부착하였다. 시료주입실 상단에 있는 8개의 결계에는 8개의 잡게를 걸 수 있고, 주입실 좌측의 자석막대에 부착된 주계는 게이트 밸브로 연결된 반응실과 시료주입실을 오가며 잡게를 전달해 준다.

2.3. 가스주입장치

반응실 내부로의 가스주입은 시료성장 방법에 따라 달라진다. 반응가스를 계속적으로 반응실로 흘려보내면서 시료를 성장하는 동적인 성장방법에서는 반응실을 10^{-10} torr 이하의 초고진공 상태까지 펌핑한 뒤 반응실과 펌프 사이의 밸브를 열어둔 채 성장조건에 따라 적당한 양의 반응가스를 흘려보낸다. 그러나 정적인 성장방법에서는 반응실과 펌프 사이의 밸브를

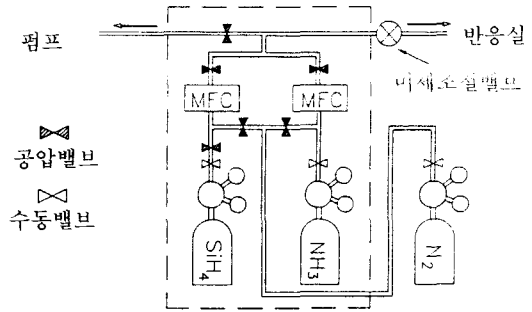


그림 4. 가스공급장치.

닫고 원하는 부분압으로 가스를 채워 성장을 시킨다. 정적인 방법은 동적인 방법보다 간편하고 반응실의 가스압을 대기압 상태까지 올려서도 실험을 할 수 있다. 정적인 방법은 기존의 low pressure CVD, atmosphere pressure CVD 등에서 많이 이용되고, 한편 동적인 방법에서는 반응실에 일정한 양의 가스를 계속 흘려주므로 박막 성장시 분해된 가스를 펌핑하면서 새로운 가스를 계속 공급해 줄 수 있는 장점이 있으나, 일정한 부분압을 유지시킬 수 있도록 가스 주입과 펌핑을 동시에 정확히 조절해야 한다. 본 연구에서는 두 가지 방법으로 시료를 성장시킬 수 있도록 가스 주입장치를 하였다.

증착시 주입가스는 NH_3 혹은 O_2 와 H_2 로 희석된 5%의 SiH_4 가스이다. SiH_4 가스의 유독성 때문에 가스통과 가스의 흐름량을 조절할 수 있는 mass flow controller(MFC)를 가스 캐비닛 안에 설치하고 캐비닛 상단부를 후드에 연결하였다. 적당한 비율로 각각의 MFC를 통과한 두 가스는 혼합되어서 가스캐비닛 밖으로 나와 있는 스테인레스관과 미세조절 밸브를 거쳐 반응실로 유입되도록 하였다.

2.4. 광 여기장치

SiH_4 가스를 광여기 시키기 위해 CO_2 레이저를 사용하였다. CO_2 레이저는 양단에 고압(-20 KV)이 걸려있는 공명관에 CO_2 혼합가스를 계속 흘려보내면서 펌핑하도록 되어 있다. 펌핑속도 조절장치가 있으므로 혼합가스의 흐름 양을 다르게 하고 공명관 양단의 전압을 가스 흐름량에 맞추면 레이저의 출력을 조절할 수 있도록 하였다. 재료가스를 광여기시키고 분해하려면 레이저 빔의 파장대에서 재료기체의 광 흡수율이 높을수록 효율적이다. 본 연구에서 사용한

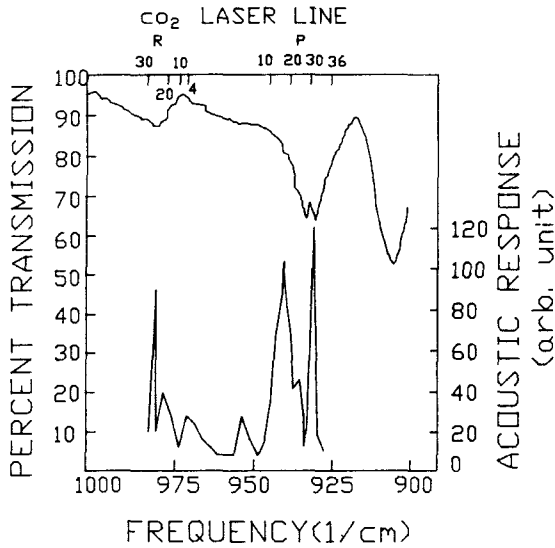


그림 5. CO 레이저 파장과 실레인의 투과.

연속파형(Continuous Wave) CO₂ 레이저는 주파장이 10.6 μm와 9.6 μm이며 10.6 μm의 파장의 세기가 더 강하다. 그림 5에서 CO₂ 레이저의 발진 파장과 silane의 흡수 스펙트럼을 비교해 CO₂ 레이저의 P(20) line($\lambda=10.59 \mu\text{m}$, $\nu=944.19 \text{ cm}^{-1}$)과 silane의 흡수첨단($\nu=944.21 \text{ cm}^{-1}$)이 거의 일치하여 이곳에서 흡수가 크게 일어남을 알 수 있다[25]. 본 연구에서 기판에 레이저 빔을 조사하는 방법은 직접 조사 방법과 평행통과 방법을 사용할 것이다. 직접조사 방법은 레이저 빔을 기판에 수직으로 입사시켜 광분해 효과와 기판의 가열에 의한 열분해 효과를 얻을 수 있다. 기판에서 일정한 거리를 두고 표면에 평행하게 레이저 빔을 통과시키는 평행 통과 방법은 레이저 광자에 의한 광분해 효과만 얻는다.

2.5. 질량분석장치

본 연구에서는 질량분석장치로서 반응실 내부의 가스압을 정확하게 알아내기 위해 Fourier Transform Mass Spectrometer(FTMS)를 제작 이용하였다. 1974년 Comisarow와 Marshall[26]이 재래의 Ion Cyclotron Resonance(ICR)에 푸우리에 변환을 도입한 이래 FTMS는 뛰어난 질량 분해능을 가진 도구로 주목받고 있다. 그 원리[27-29]를 간단히 소개하자면 다음과 같다. 전하량 q 와 질량 m 을 가진 이온은 자기장 B 내에서 $\omega=qB/m$ 의 사이클로트론 주파수로 운동한다.

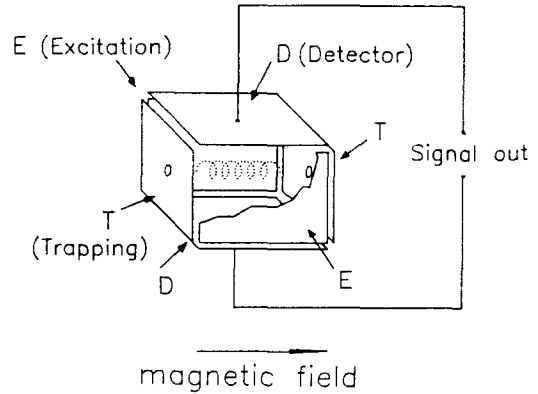


그림 6. FTMS 개략도.

균일한 자기장 공간에 그림 6과 같은 정방형 이온트랩을 설치하고 자기장에 수직으로 설치된 판(trapping plate)에 이온들이 트랩밖으로 소실되는 것을 방지하기 위하여 약한 전압(보통 수 volts 정도)을 걸어준다. 사이클로트론 운동을 하는 이온들은 자기장에 평행한 판(excitation plate)에 순간적으로 강력한 펄스형의 전압이 걸리면 더 큰 궤도로 함께 들뜨게 되고, 검출판(Detector plate)에는 이온의 사이클로트론 주파수와 같은 주파수의 교류전압이 유도된다. 트랩내에는 여러 종류의 이온들이 존재하므로 유도되는 신호는 각각의 선형결합으로 나타난다. 이것은 본질적으로 시간 의존 신호(time domain signal)이므로 각 이온들의 질량을 분석하려면 푸우리에 변환을 통해 주파수 의존 신호(frequency domain signal)로 변환시켜 준다. Silicon nitride 박막을 성장시키기 위한 재료가스인 NH₃, SiH₄ 가스는 자기장 약 0.3 T에서 각각 270 KHz와 143 KHz의 사이클로트론 진동수를 가지므로 1 MHz 정도의 표본추출율을 가진 디지털 저장 오실로스코프로 데이터를 처리할 수 있다. 반응실 내의 실레인과 암모니아 혼합비는 대응되는 피크의 높이의 비와 같으므로 증착이 진행되는 동안 반응실 내의 가스 혼합 비율을 정확하게 알아낼 수 있었다.

3. 결과 및 고찰

CVD 반응실의 많은 가스를 효과적으로 처리하기 위하여 확산펌프를 사용하였으나, 확산펌프 사용시 문제가 되는 여러 상황에 대한 반응실 보호를 위하여 interlock 장치가 필요하였다. 반응실의 진공도는 확

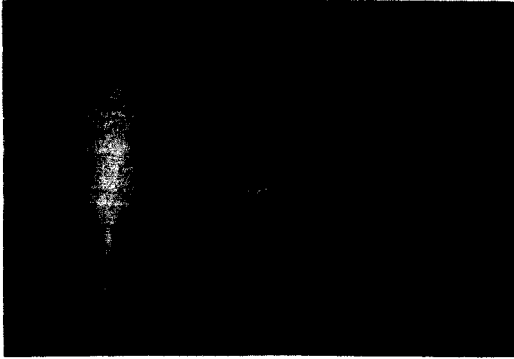


그림 7. UHV-LCVD system.

산펌프 오일로 Polyphenyl Ether를 사용함으로써 5×10^{-10} torr까지 도달하였다. 더 낮은 진공도를 얻기 위하여서는 반응실 전체를 200도 이상의 높은 온도로 장시간 가열할 필요가 있었으며, 이와 같은 진공도는 펌프의 종류와 그 용량의 문제 보다는 반응실 제작에 따른 재질문제와 제작 후 표면처리 문제에서 기인한다고 할 수 있다.

시료주입장치를 통해 반응실을 초고진공으로 유지하면서 시료주입실을 질소가스로 대기압 상태로 만든 후 8개의 시료를 교체하면서 증착시킬 수 있었다. 반응실의 시료와 시료주입실의 시료를 교체하는데 약 5분 정도의 시간이 소요되어 효과적이었다. 박막을 성장시키기 전의 기판을 고온으로 달구어 깨끗이 할 때는 전자빔 가열 방법으로 섭씨 1000도 이상의 온도에 쉽게 도달할 수 있었으나, 온도를 정확하게 측정하기 위해서는 고온계를 이용해야 하는 단점이 있었다. 가스주입장치에 사용한 MFC는 조절영역이 100 sccm인 것을 사용하였는데, 보다 정확하게 주입되는 가스량을 조절하기 위해서는 이보다 훨씬 작은 조절 용량을 가진 것이 적합하다.

본 연구에서 사용한 FTMS는 개발초기 단계로서 간단히 제작하였으나, 그 결과 정육면체 cell에서 오는 비선형성과 적은 자속밀도에서 오는 저분해능의 문제를 보완하면 효과적으로 이용할 수 있을 것이다.

4. 결 론

본 연구에서 개발 제작한 UHV-LCVD 장치는 low pressure, low vacuum CVD 방법과 비교하여 장단

점이 있었다. UHV-LCVD 방법의 장점으로는 우선적으로 고순도 박막을 성장할 수 있으며, 박막의 두께 조절을 미세하게 할 수 있고, 국소적으로 선택하여 증착할 수 있다는 점이다. 그러나 초고진공을 얻기 위한 반응실의 구조에서 오는 여러 진공문제 해결이 복잡하고, 시료의 크기를 제한해서 시도해야 하는 점이 단점으로 나타난다. 몇몇 단점에도 불구하고, UHV-LCVD 장치에서 성장된 silicon nitride 박막을 low pressure CVD 장치에서 성장한 것과 그 특성을 비교하여 본 결과 그 우수성이 나타났다[30].

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 목적기초연구비(91) 지원하에 이루어졌습니다. 이를 감사하게 생각합니다.

참고문헌

1. W. G. Townsend and M. E. Uddin, *Solid State Electron.* **16**, 39 (1973).
2. S. Suzuki and T. Itoh, *J. Appl. Phys.* **54**, 1466 (1983).
3. C. P. Hristensen and K. M. Lakin, *Appl. Phys. Lett.* **32**, 254 (1978).
4. M. Hanabusa, A. Namiki and K. Yoshihara, *Appl. Phys. Lett.* **35**.
5. V. Baranauskas, C. I. Z. Mammana, R. E. Klinger and J. E. Greene, *Appl. Phys. Lett.* **36**, 930 (1980).
6. R. Bilenchi, I. Gianinoni and M. Musci, *J. Appl. Phys.* **53**, 6479 (1982).
7. M. Meunier, T. R. Gattuso, D. Adler and J. S. Haggerty, *Appl. Phys. Lett.* **43**, 273 (1983).
8. D. Bäuerle, P. Irsigler, G. Leyendecker, H. Noll and D. Wagner, *Appl. Phys. Lett.* **40**, 819 (1982).
9. G. Leyendecker, D. Bäuerle, P. Geittner and H. Lydtin, *Appl. Phys. Lett.* **39**, 921 (1981).
10. R. W. Andreatta, C. C. Abele, J. F. Osmundsen, J. G. Eden, D. Lubben and J. E. Greene, *Appl. Phys. Lett.* **40**, 183 (1982).
11. D. J. Ehrlich, R. M. Osgood Jr. and T. F. Deutsch, *Appl. Phys. Lett.* **39**, 957 (1981).
12. T. F. Deutsch, J. C. C. Fan, G. W. Turner, R. L. Chapman, D. J. Erlich and R. M. Osgood Jr., *Appl. Phys. Lett.* **38**, 144 (1981).
13. S. d. Allen, A. B. Trigubo and M. L. Teisinger, *J. Vac. Sci. Tech.* **20**, 469 (1982).
14. P. K. Boyer, G. A. Roche, W. H. Ritchie and G.

- J. Collins, *Appl. Phys. Lett.* **40**, 716 (1982).
15. S. D. Allen, *J. Appl. Phys.* **52**, 6501 (1981).
 16. Y. Rytz-Froidevaux, R. P. Salathé and H. H. Gilgen, *Phys. Lett.* **84A**, 216 (1981).
 17. R. Solanki, P. K. Boyer, J. E. Mahan and G. J. Collins, *Appl. Phys. Lett.* **38**, 572 (1981).
 18. T. H. Wood, J. C. White and B. A. Thacker, *Appl. Phys. Lett.* **42**, 406 (1983).
 19. D. J. Ehrlich, R. M. Osgood Jr. and T. F. Deutsch, *Appl. Phys. Lett.* **38**, 399 (1981).
 20. D. J. Ehrlich, R. M. Osgood Jr. and T. F. Deutsch, *Appl. Phys. Lett.* **36**, 916 (1980).
 21. J. Y. Tsao, R. A. Becher, D. J. Ehrlich and F. J. Leonberger, *Appl. Phys. Lett.* **42**, 559 (1983).
 22. J. Y. Tsao and D. J. Ehrlich, *Appl. Phys. Lett.* **42**, 997 (1983).
 23. Y. Aoyagi, S. Masuda, S. Namba and A. Doi, *Appl. Phys. Lett.* **47**, 95 (1985).
 24. J. Y. Tsao and D. J. Ehrlich, *Appl. Phys. Lett.* **45**, 617 (1984).
 25. Thomas F. Deutsche, *J. Chem. Phys.* **70**, 03, 1187 (1979).
 26. M. B. Comisarow and A. G. Marshall, *Chem. Phys. Lett.* **25**, 282 (1974).
 27. R. T. McIver Jr., *Rev. Sci. Instr.* **41**, 555 (1970).
 28. M. L. Gross and Don L. Rempel, *Science* **226**, 261 (1984).
 29. A. G. Marshall and P. B. Grosshans, *Anal. Chem.* **63**, 215A (1991).
 30. 추후 발표 예정.