

강유전체 박막의 식각 기술 및 응용



김 창 일
(중앙대학교 전자전기공학부 부교수)

1. 서 론

1980년대 후반부터는 강유전체를 박막화하여 DRAM (Dynamic Random Access Memory) capacitor 유전체 및 비휘발성 메모리 소자인 FRAM (Ferroelectric Random Access Memory) 소자의 개발에 응용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재 메모리 소자에 관한 연구는 주로 DRAM 과 FRAM에 집중적으로 이루어지고 있는데 이들에서의 고집적화와 고신뢰성을 확보하려는 연구가 주된 내용이라고 할 수 있다. 이들 강유전체는 반도체 소자에 응용되어 고집적화, 고속화, 저소비전력화는 물론 비휘발성까지 겸비한 혁신적인 소자의 개발을 가능하게 했다. 강유전체 Memory는 강유전체의 비선형 분극 작용을 이용하여, 비휘발성이고 고속이며 저소비 전력 메모리를 실현할 수 있고, DRAM, Flash 메모리 등을 포함하는 universal 메모리로서 기대되고 있다.

고용량 DRAM과 FRAM 메모리 소자의 실현을 위해서는 유전상수가 큰 강유전체 박막을 채용한 capacitor를 제작하는 것이다. 이를 위해서 축적 전하량의 확보가 중요한 과제로 대두되고 있다. 전하량을 확보하기 위하여 DRAM에서는 BST ($Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$), BTO ($BaTiO_3$), STO ($SrTiO_3$) 박막 등과 FRAM에서는 SBT ($Sr_{1-x}Bi_xTa_2O_9$), PZT ($PbZr_{1-x}Ti_xO_3$), $LiNbO_3$, $YMnO_3$, $BaMgF_4$ 등이 있다[1-3]. 이러한 강유전

체 박막이 강유전 특성을 지니기 위해서는 perovskite 상의 결정 구조(ABO_3)를 이루어야 한다. 대표적인 Pb-계 강유전체인 PZT 박막에 대한 연구결과들이 많이 발표되었으며, Zr/Ti의 조성비, 도핑 원소, 박막의 제조 방법과 성장조건, 전극, 두께에 따른 강유전 및 유전 특성들이 소개되었다. PZT 박막의 경우, 분극피로 및 imprint의 원인을 박막 내의 산소 빈자리와 같은 공간전하에 의한 것으로 설명하는 많은 실험적 결과들이 보고되었다. 그러나, 전극물질은 PZT 박막의 분극 피로에 큰 영향을 주며, 기존의 Pt 전극 대신 금속 산화물 전극을 사용함으로써 분극피로 현상을 개선할 수 있다는 실험적 결과들이 발표되었다. 그러나, 대부분의 경우 누설전류도 같이 증가하여 새로운 문제를 야기할 수 있다는 사실이 지적되었다. 최근 분극피로를 일으키지 않는 Bi-계 층상 구조의 강유전체 박막에 대한 기초연구와 응용연구에 대해 세계적으로 많은 연구가 진행되고 있다. 층상구조를 갖는 $SrBi_2Ta_2O_9$ 박막의 제조 방법과 강유전 특성에 관한 내용이 발표되었으며, 분극피로 현상이 개선된다는 결과들이 보고되었다. Sol-gel법에 의해 제작된 PZT 박막의 경우 pyrochlore 상에서 perovskite 상으로의 변환이 nucleation에 의해 조절되는 것으로 보고되고 있다. Perovskite상으로의 변환률의 제한 단계는 nucleation 이기 때문에 heterogeneous nucleation site의 역할이 중요하다. 이러한 상변이 현상은 하부전극 등에 영향

을 받는 것으로 보고되고 있다. 이러한 결과들은 우수한 강유전체나 메모리 소자에 사용되는 고유전율의 캐패시터 박막을 형성하기 위해서는 뛰어난 결정성과 barrier 역할을 할 수 있는 재료를 전극 재료로 사용하여야 한다. 실용적인 강유전체 재료는 산화물로서 그 박막의 형성은 수 백 °C에서 수행되고, 박막의 형성 중 고 에너지의 산소 원자에 의하여 기판 표면이 산화될 가능성이 크기 때문에 하부 전극에는 산화가 어려운 금속, 산화하여도 산화물이 도전성을 갖는 금속, 혹은 도전성 산화물 등의 물질이 사용된다. 따라서 강유전체 박막이 perovskite 상의 결정 구조를 형성하기 위해서는 capacitor 전극 재료로 사용되는 물질은 결정성이 우수하고 표면이 산화되지 않아야 한다. 이러한 전극 재료로는 SrMoO₃, Pt, Pd, CeO₂, RuO₂, IrO₂, Y₂O₃ 등이 거론되고 있다[4-7].

그러므로, 강유전체 박막을 Giga bit 급 DRAM 과 고밀도 FRAM에 적용하기 위해서는 적절한 식각속도를 확보하고, 마스크로 감광막을 사용하여, 수직 식각 형상을 얻을 수 있는 강유전체 박막과 전극의 식각기술의 확보가 절실히 요구되고 있다. 최근 BST, SBT와 PZT등의 강유전체 박막과 barrier 물질의 식각에 관한 연구는 아직 초보적인 단계에 머물러 있다. 본 논문에서 강유전체 물질과 전극재료의 플라즈마 식각에 대한 기술 현황에 대하여 알아보려고 한다.

2. 강유전체 박막 식각 및 식각장치

2.1 강유전체 박막 재료의 식각

건식식각 기술의 개발은 식각 가스와 식각 물질의 표면 반응 및 이에 미치는 이온의 물리적 충돌 효과에 기초를 두고 있다. 따라서 강유전체 물질과 반응하여 식각이 용이한 가스의 선정이 우선되어야 한다. 일반적으로 반응성이 우수하여 대부분의 식각공정에 이용되고 있는 가스로는 F, Cl, Br, I 등으로 이루어진 할로젠족 화합물이다. 강유전체 박막 재료의 구성 원소와 결합하여 형성되는 halogen 화합물들은 표 1에 나타난 것과 같이 melting point와 boiling point가 매우 높다. 이러한 현상은 이들 화합물을 식각 표면에서 이탈시키기 위해서는 이온 충돌에 의한 물리적 식각이 부가되어야 함을 예측할 수 있다. 따라서 식각 변수들과 플라즈마 특성과의 상관관계를 참고로 하여 강유전체 및 전극 물질의 식각시 표면에서 이탈되는 비휘발성 식각 부산물을 효과적으로 제거하고 이온 충돌에 의한 손상을 감소시킬 수 새로운 플라즈마원에 대한 연구가 필요하다.

Onishi 등은 고 밀도 ECR(electron cyclotron resonance)을 이용하여 PZT와 Pt 식각을 수행하였다[8-10]. 그러나, ECR은 균일한 플라즈마를 유지하기 어려운 문제점이 있어 차세대 식각장비로 적합하지 않은 것으로 판단된다. 기존의 반도체 식각공정에 널리 이용되고 있는 RIE (reactive ion etching)

표 1. 할로젠 화합물의 녹는점과 끓는점.

| Atom | Halogen-Compound | Melting-Point(°C) | Boiling-Point(°C) | Atom | Halogen-Compound | Melting-Point(°C) | Boiling-Point(°C) |
|------|-------------------|-------------------|-------------------|------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Ba | BaF ₂ | 1368 | 2260 | Pb | PbF ₄ | 600 | - |
| | BaCl ₂ | 962 | 1560 | | PbCl ₄ | -15 | - |
| | BaBr ₂ | 875 | 1835 | | PbBr ₄ | - | - |
| Sr | SrF ₂ | 1477 | 2460 | Zr | ZrF ₄ | 932 | - |
| | SrCl ₂ | 834 | 1250 | | ZrCl ₄ | 437 | - |
| | SrBr ₂ | 657 | - | | ZrBr ₄ | 450 | - |
| Bi | BiF ₃ | 725 | 900 | Ti | TiF ₄ | 1200 | 1400 |
| | BiCl ₃ | 230 | 447 | | TiCl ₄ | -25 | 136 |
| | BiBr ₃ | 218 | 453 | | TiBr ₄ | -39 | 230 |

은 플라즈마 밀도가 낮아 식각속도가 너무 느리고, 플라즈마 내에서 평균자유 행정거리가 짧아 수직 식각 형상을 얻기 어려운 단점이 있다[11-13]. 이러한 단점을 보완하기 위해 연구되고 있는 플라즈마원이 ICP (inductively coupled plasma)이다. ICP는 고밀도 플라즈마에 의한 식각속도를 향상시키고 하부전극에 가해지는 rf 전력에 의해 이온의 충돌 에너지를 적절히 조절하여 식각 반응을 증대시킬 수 있는 특징을 가지고 있다[14]. 또한 고진공(수 mTorr) 하에서 플라즈마가 형성되어 이온의 평균 자유 행정거리가 증대되어 수직 식각 단면을 얻을 수 있다. 따라서 ICP에 의한 건식 식각기술의 개발이 강유전체 박막재료의 가공에 가장 적합한 것으로 판단된다.

2.2 식각 장치

2.2.1 RIE (Reactive Ion Etching)

이 장치는 일명 반응 스파터 식각 혹은 저압 다이오드 반응 식각 장치라고도 한다. 식각될 웨이퍼는 RF가 공급되는 하단 전극판 위에 장착되어 있고, 접지된 반응 용기에 직접 연결된 별도의 상단 전극판이 있는 경우와 용기 전체가 상단 전극판 대신 사용하는 두 가지 방식이 있다. 일반적으로 RIE 식각 장비는 높은 공정 압력에서 구동되며, 플라즈마 밀도가 10⁹cm⁻³으로 낮으며, 등방성 식각에 주로 이용된다. 이온 충돌 에너지가 비교적 높기 때문에 선폭, 선택비 및 기판 손상 등을 제어해야 하는 차세대 식각 공정에서는 이온 충돌에너지가 기판으로 입사하는 이온과 중성 가스의 선속에 대해 독립적으로 제어되어야 한다. 이 RIE 식각 장치들은 20 mTorr 이하의 공정 압력에서는 효율적인 작동이 불가능하다.

2.2.2 MERIE (Magnetically Reactive Ion Etcher)

낮은 공정 압력에서 효율적인 작동과 기판에 입사하는 이온들의 에너지를 낮추기 위해 향상된 MERIE (magnetically enhanced reactive ion etcher)라는 장비가 개발되기도 하였다. 전자가 플라즈마에서 포획되는 성질을 이용하여 전자의

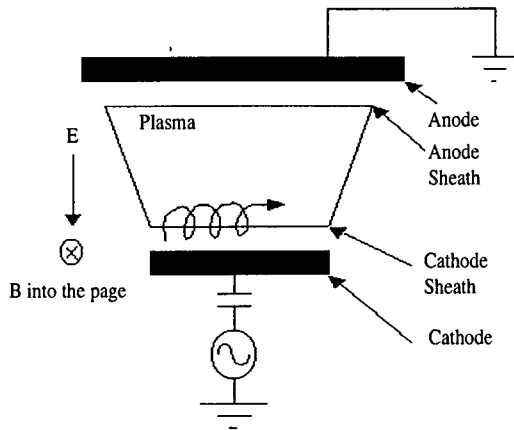


그림 1. MERIE의 구조도.

충돌이 빈번하게 진행되어 플라즈마 밀도가 증가하게 된다. 그러므로, 높은 식각 속도와 비등방성 식각 이 가능하다. ECR에 비하여 플라즈마 효율이 낮고, 역시 공정 압력이 높다는 단점을 가지고 있다.[15]

2.2.3 ECR (Electron Cyclotron Resonance)

마이크로파를 이용한 플라즈마 방전을 이용하여 고밀도 식각 장치를 개발하였다.

그림 2는 플라즈마 식각 공정에서 사용하는 ECR 장치의 구조를 보여주고 있다(8-10). 웨이브 가이드를 통해 플라즈마로 가해진 마이크로파의 출력은 이 공간 영역에서 자기장을 중심으로 회전 운동을 하는 전자와 공진을 일으키면서 전달된다. 이 장치의 출력 전달 특성상 10^{-5} Torr 이하의 매우 낮은 압력에서도 플라즈마 발생이 가능하나, 압력이 감소함에 따라 식각의 비용이 상승하기 때문에 실제의 식각 공정에서는 전형적으로 1 mTorr에서 20 mTorr사이에서 작동한다.

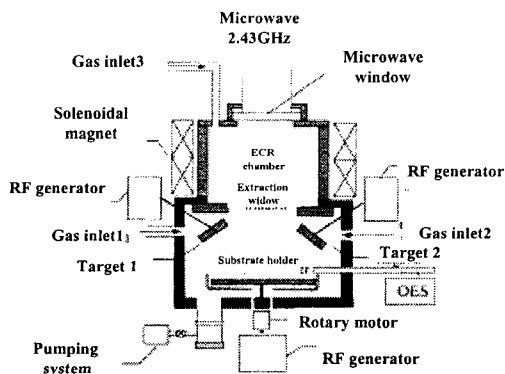


그림 2. ECR의 구조도.

2.2.3 ICP (Inductively Coupled Plasma)

유도결합플라즈마(ICP)의 원리는 주로 석영 등의 유전체 반응기 외부에 코일을 감아 전기장을 변화시키면 코일의 내부에 유도자장이 발생하게 되고 그에 따른 2차 유도전류가 반응기 내부에 형성되는 것을 이용하여 발생시키는 고밀도 플라즈마이다. 그림 3은 유도 결합 플라즈마 식각 장치의 구조도이다. 이 장치의 가장 큰 특징은 웨이브와 플라즈마와의 출력 결합에 자기장이 요구되지 않기 때문에 가장 간단한 구조를 가지고 있다는 것이다. 위에서 제시한 ECR 플라즈마 발생 장치에 비해 출력 결합 효율의 측면에서 비교적 낮은 편이기는 하나, 자기장이 사용되지 않으므로 공간적인 균일성 확보에 큰 이점을 갖는다. 고진공에서 10^{12} cm⁻³의 고밀도 플라즈마를 형성하고, rf를 이용하므로 macro wave에 대한 위험을 해소할 수 있다. RF 안테나는 실린더 장치의 측면이나 상단부에 위치되기도 한다.[11,12] 이 장치 또한, 기판 바이어스의 독립성을 가지고 기판으로 입사하는 이온의 에너지를 제어할 수 있는 특징을 가지고 있다. 그러나, 식각 과정에서 웨이퍼의 온도가 올라가는 문제점이 있으므로 웨이퍼의 온도를 냉각시켜주는 장치가 필요하다.

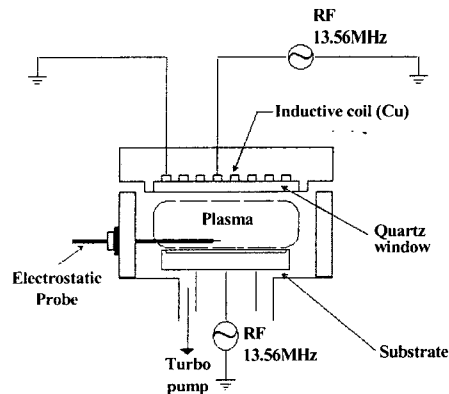


그림 3. ICP의 구조도.

최근에는 12" 이상의 웨이퍼에 응용이 가능한 대면적 플라즈마 식각 장치로의 확장에 이용하기 위한 연구가 시도되고 있다. 최근에는 출력 결합의 효율성을 높이고, 공간 분포의 균일성의 향상을 위해 연구자석을 반응로의 측면에 설치하여 약한 자기장을 축 방향으로 가하기도 한다[14].

3. 강유전체 박막 재료의 건식 식각

3.1 SBT 박막의 식각

SBT의 식각이 PZT보다 어렵기 때문에 아직까지 기본적인

식각 메카니즘에 관한 실험 정도도 거의 보고되고 있지 않다. S. B. Desu 등에 의한 실험에서 RIE 장비와 HCFC (hydrochlorofluorocarbon) 가스를 이용하여 130 Å/min 정도의 식각률을 얻었으며, SF₆ 가스를 사용하여 120 Å/min의 식각률을 얻었다[15]. D. P. Kim 등은 MEICP에 CF₄/Ar 플라즈마를 이용하여 식각 메카니즘을 규명하였다. 이 논문에 따르면 식각 속도는 160 nm/min을 얻었다고 보고 됐다. 또한 PR(photoresist)과 SiO₂의 선택비는 각각 1.7, 1.3으로 보고 됐다. 부산물인 SrF_x는 비휘발성으로 표면에 남지만 TaF_x는 Ar충격으로 Sr-Ta-O 결합을 파괴하여 제거된다[16]. W. J. Lee 등은 RIE 식각 장치와 Ar/CF₄/Cl₂/O₂를 사용한 실험에서 280 Å/min의 식각 속도를 획득하였다[17]. J. W. Seo 등은 MEICP (magnetically enhanced inductively coupled plasma) 장비와 CHF₃/Ar을 이용하여 165 nm/min의 식각 속도와 80° 이상의 식각 형상을 획득하였다[18].

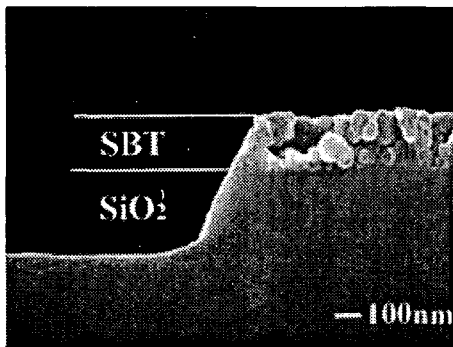


그림 4. SBT박막의 SEM 사진(16)

3.2 BST 박막의 식각

BST 박막의 식각은 1999년 Dong-Sing WUU 등에 의한 실험에서 ICP장비와 Cl₂/CF₄, Cl₂/SF₆, Cl₂/Ar gas를 이용하여 power, pressure, bias에 따른 식각 메카니즘을 보였다. 이 논문에 의하면 CF₄와 SF₆는 식각속도를 감소시킨다고 발표했다. 그러나 Cl₂/Ar은 화학적, 물리적 식각이 동시에 일어나며 잔유물이 거의 없는 것으로 보고됐다[18]. Tegal에서 발표한 자료에 따르면 식각율은 알려져 있지 않고 profile만을 70°로 보이고 있다[20]. 국내에서는 LG에서 Ar/Cl₂를 식각 가스를 이용하여 식각률이 41nm/min, selectivity가 0.5:1를 발표하였다[21]. S. B. Kim 등은 Ar/Cl₂ 가스로 ICP를 이용하여 56 nm/min의 식각 속도를 얻었으며, 산화막에 대한 BST의 식각 선택비는 0.43:1이었다. 그 후, ICP 식각 장치와 Ar/Cl₂/BCl₃ 식각 가스를 사용하여 48nm/min의 식각 속도와 65° 이상의 식각 형상을 획득 하였다[22,23]. K. P. Lee 등은 Cl₂/Ar과

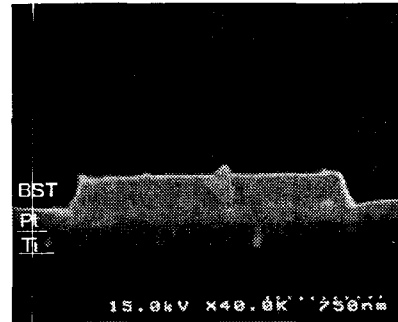


그림 5. BST 박막의 SEM 단면 사진(24)

CH₄/H₂/Ar 가스와 ICP를 이용하여 90nm/min 과 10 nm/min의 식각 속도를 각각 획득하였다[24].

3.3 PZT 박막의 식각

FRAM의 적용을 위한 PZT 박막의 식각공정을 살펴보면, G. Suchaneck 등은 PZT 박막의 식각 매커 니즘에서 이온 flux의 영향 규명을 위하여 RIE (reactive ion etching)를 이용하여 CF₄/Ar, CHF₃/Ar 가스 혼합비에 따른 식각 형상의 변화와 이온 충격 (bombardment)에 의한 식각 단면과 측벽의 잔유물의 변화를 분석하였다[25]. 한편 국내에서는 Y. J. Lee 등이 ICP와 MICP로 Ar/Cl₂ gas를 이용하여 PZT/Pt/Ti/Si 구조를 식각하였다. gas의 혼합비에 따른 식각률을 보았고, PR(photo resist)를 마스크로 사용하여 170 nm/min 정도의 식각속도를 얻었고, 거의 수직인 식각 단면을 얻었으며, Ti에 대한 선택 비는 1.5이상보다 높았다고 보고하였다[9]. 또, C. W. Chung과 C. J. Kim은 ICP(inductively coupled plasma) 장비를 이용하여 Cl₂/CF₄/Ar 가스를 통해 PZT 막과 Pt/RuO_x 막을 식각한 실험에서 70~140 nm/min의 식각속도를 얻었으며, 감광막과 PZT막의 식각 선택비는 0.5:1로 극히 낮았다. 그러나, 잔류막의 생성이 없는 깨끗한 패턴과 70° 이상의 양호한 식각 단면을 얻었다고 보고 하였다[27,28]. T. H. An은 ICP 장비와 Ar/Cl₂/BCl₃ 가스로 식각한 실험에서 100-240 nm/min의 식각 속도와 감광막과 PZT 막의 식각 선택비는 0.8:1 이었다. 그리고, 그림에 나타난 것과 같이 Ar/BCl₃ 식각 조건에서 식각 형상이 80° 이상이었다[29]. PZT 식각의 경우 공통적으로 연구의 초점이 되는 부분은, 기본적으로 식각률, 하부전극 및 마스크 재료와의 선택비, 비등방성 식각, 등 일반적인 부분들 외에도 식각 손실 부분도 많이 고려되고 있다.

3.4 YMnO₃ 박막의 식각

또 다른 물질의 박막재료인 YMnO₃는 하나의 분극축 (c축)을 가지며 Bi나 Pb 같은 쉽게 실리콘 내로 확산되어 피로 현



그림 6. PZT 박막의 SEM 단면사진(9)

상을 야기하는 성분을 포함하고 있지 않아 실리콘 위에 직접 증착시킬 수 있으며 재산화가 쉽게 되지 않는 것이 장점이다. 또한 낮은 유전상수 ($\epsilon_r = 20$)를 가지므로 강유전체 층에 큰 인가전압을 걸어줄 수 있어, MFISFET 구조의 고집적 강유전체 메모리에서 우수한 게이트 유전물질로써 최근 많은 연구가 이루어지고 있다[38-39].

B. J. Min 등은 $YMnO_3$ 박막을 ICP 장비와 Cl_2/Ar 가스 혼합비에 따른 식각 특성에 관하여 실험하였다. $YMnO_3$ 박막의 최대 식각율은 Cl_2/Ar 가스 혼합비가 10/0인 조건에서 285 A/min이었으며, 이 때의 CeO_2 , Y_2O_3 , Pt 및 PR에 대한 $YMnO_3$ 박막의 선택비는 각각 2.85, 1.72, 0.45, 0.06이고, 식각 형상은 65° 라고 보고되었다. 또, $YMnO_3$ 의 식각 매카니즘은 Cl 라디칼에 의한 화학적 식각이 주도적이라 보고하였다[40]. 국내에서는 C. I. Lee 등은 $CF_4/(CF_4 + Ar)$ 가스 혼합비가 0.2인 조건에서 18 nm/min이었다. 이는 $YMnO_3$ 박막을 식각함에 있어 Ar 이온에 의한 물리적인 식각이 F 라디칼에 의한 화학적 식각에 비해 더욱 효과적으로 작용하기 때문인 것으로 판단된다고 발표하였다[41]. J. W. Park 등이 $YMnO_3$ 박막을 Ar/Cl_2 가스에 CF_4 가스 첨가비에 따라 ICP 식각 시스템을 이용하여 식각하였다. $YMnO_3$ 박막의 최대 식각율은 Ar/Cl_2 의 비가 2/8인 조건에서 300 /min 이었으며, 이때 Pt와 SiO_2 의 선택비는 각각 0.33과 0.5 이었다[42].

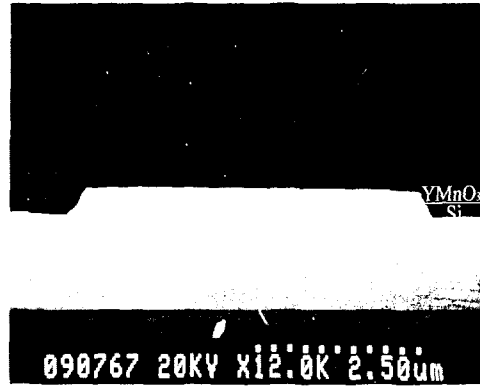


그림 7. $YMnO_3$ 박막의 SEM 단면 사진(40)

4. 완충층 절연박막 재료의 건식 식각

4.1 Y_2O_3 박막의 식각

MFISFET형 FRAM의 적용을 위한 Y_2O_3 박막의 식각공정을 살펴보면, Y. C. Kim 등은 $Cl_2/(Cl_2 + Ar)$ 가스 혼합비 변화에 따른 Y_2O_3 박막의 식각율을 보았다.

$Cl_2/(Cl_2 + Ar) = 0.2$ 인 경우에 Y_2O_3 박막의 식각 속도는 302 /min이고, 같은 조건에서 Y_2O_3 박막에 대한 $YMnO_3$ 의 식각 선택비는 2.4이었다. 여기서 박막은 Ar 이온에 의한 스퍼터링 효과가 강하게 작용함과 동시에 Cl 라디칼의 화학적 식각이 주도적이라고 보고하였다[43].

4.2 CeO_2 박막의 식각

MFISFET 구조는 실리콘 위에 강유전체 박막을 직접 형성하기가 어렵기 때문에, 신뢰성 있는 결과물들이 아직까지 없었다. 강유전체와 실리콘 기판사이에서 강유전체 박막의 원소가 실리콘 안으로 확산되어 실리콘 산화막과 같은 유전상수가 낮은 박막을 형성하여 강유전체 박막과 실리콘 사이의 계면 특성을 저하시키는 문제를 야기한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서, 강유전체 박막과 실리콘 사이에 완충층을 절연층으로 사용하는 금속/강유전체/절연체/반도체 구조의 전계 효과 트랜지스터 (MFISFET : metal/ ferroelectric/insulator/semiconductor field effect transistor)가 제안되어졌고 많은 연구가 되어지고 있다.

C. S. Oh 등은 CeO_2 박막을 ICP로 Cl_2/Ar , CF_4/Ar 가스 혼합비에 따라 식각하였다. Cl_2/Ar 2/8인 조건에서 230 /min 이었으며 $YMnO_3$, SBT 및 Si에 대한 선택비는 각각 1.83, 0.26, 0.22였다[44]. 국내에서는 ICP장비와 $Cl_2/CF_4/Ar$ 가스 혼합비에 따른 식각 특성에 관하여 실험하였다. CeO_2 박막의 최대 식각 속도는 $Ar(80)/CF_4(20)$ 가스 혼합에 Cl_2 첨가비가 10%인 조건에서 250 /min이었다. CeO_2 박막의 최대

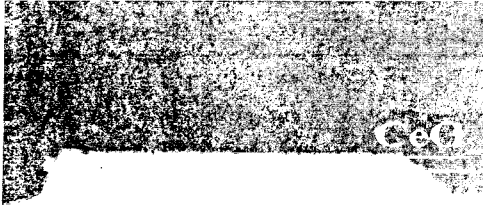


그림 8. CeO₂ 박막의 SEM 단면 사진(44)

식각 속도를 얻을 수 있는 조건에서 SBT에 대한 CeO₂ 박막의 선택비는 0.38이었다고 보고하였다(45).

4. 결 론

지금까지의 연구 동향과 그 결과를 바탕으로 고 집적화를 위한 강유전체 물질의 식각 연구에 있어 고려되어야 할 문제는 크게 세 가지로 예상할 수 있다.

첫째, 강유전체 물질뿐만 아니라 어떤 재료를 식각함에 있어서 식각 mechanism 규명을 통한 적당한 식각 가스의 선택과 충분한 식각률, 좋은 선택비, 적용 가능한 식각 형상의 획득이 우선되어야 한다.

둘째, 식각 후 소자의 신뢰도(reliability)의 문제이다. 강유전체를 메모리 커패시터로써 응용할 경우 유전체막의 특성을 보존하는 것은 매우 중요하며, 실제로 플라즈마에 기인한 전하 축적과 이온 충격에 의한 손상으로 인한 막 특성 저하 그리고 표면조성변화에 의한 결함의 형성 및 그에 의한 전기적 열화 현상들은 복합화합물인 강유전체 물질의 식각에 있어서 극복되어야 문제로 떠오르고 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위해서는 그 확실한 원인 규명이 필요하며, 식각 변수들과, 전극물질과의 상호 작용에 따른 전기적 특성 측정이 병행되어야 한다.

마지막으로, 보다 효과적인 식각을 위한 새로운 플라즈마 소스의 개발 및 식각 가스의 개발 또한 지속적으로 연구되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] Y. Miyasaka, Extended Abstracts of the 1995 international conference on Solid State Devices and Materials, pp. 506-508, 1995.

[2] D. O'Neill, G. Cattalan, F. Porras, R. M. Bowman, and J. M. Grego, Materials Science: Materials in Electronics 9, pp. 199-205, 1998.

[3] P. Zucher, R. E. Jones, P. Y. Chu, D. J. Tayler, B. E. White, Jr. S. Zafar, B. Jiang, Y. J. T Lii, and S. J. Gillespie, IEEE Transaction on Components, Packaging and Manufacturing Technology, Part A, 20(2) pp. 175-181, 1997.

[4] J. H. Joo, J. M. Seon, Y. C. Jeon, K. Y. Oh, J. S. Roh, and J. J. Kim, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 36, pp. 4382-4385, 1997.

[5] D. E. Kotecki, Semiconductor International, pp. 109-116, 1996.

[6] H. J. Cho, C. S. Kang, C. S. Hwang, J. W. Kim, H. HORII, B. T. Lee and M. Y. Lee, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 36, pp. 874-876, 1997.

[7] J. H. Ahn, W. Y. Choi, W. J. Lee and H. G. Kim, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 37, pp. 284-289, 1998.

[8] K. Nishikawa, Y. Kusumi, T. Oomori, M. Hanazaki and K. Namaba, Jpn. J. Appl. Phys., pp. 6102, 1993.

[9] Y. J. Lee, H. R. Han, J. Lee, and G.Y. Yeom, Surface and Coatings Technology, 131 pp. 257-260, 2000.

[10] M. Shindo, S. Hiejima, Y. Ueda, S. Kawakami, N. Ishii, and Y. Kawai, Thin Solid Films, 345(1), pp. 130-133, 1999.

[11] C. W. Chung, J. Vac. Sci. Technol. B 16(4), pp. 1894-1900, 1998.

[12] S. B. Desu and W. Pan, Appl. Phys. Lett. 68(4), pp. 566-568, 1996.

[13] W. Pan, C. L. Thio and S. B. Desu, J. Mater. Res. 13(2), pp. 362-367, 1998.

[14] K. H. Kwon, C. I. Kim, S. J. Yun and G. Y. Yeom, J. Vac. Sci. Technol. A 16(5), pp. 2772-2776, 1998.

[15] S. B. Desu, and W. Pan, Appl. Phys. Lett. 68(4), pp. 566-568, 1996.

[16] D. P. Kim, and C. I. Kim, Thin Solid Films, 385, pp. 162-166, 2001.

[17] W. J. Lee, C. R. Cho, S. H. Kim, I. K. You, B. W. Kim, B. G. Yu, C. H. Shin, and H. C. Lee, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 38, pp. 1428-1431, 1999.

- [18] D. S. Wuu, F. C. Liao, N. H. Kuo, R. H. Horng and M. K. Lee, Jpn. J. Appl. Phys. Part 1, 39(4B), pp. 2068-2072, 2000.
- [19] J. W. Seo, D. H. Lee, W. J. Lee, B. G. Yu, K. H. Kwon, G. Y. Yeom, E.-G. Chang, and C. I. Kim, J. Vac. Sci. Technol. A 18(4), pp. 1354-1358, 2000.
- [20] S. P. Deornellas, and A. Cofer, Solid State Technology, 41(8), 1998
- [21] J. H. Joo, J. B. Park, Y. Kim, K. S. Lee, J. S. Lee, J. S. Roh, and J. J. Kim, Jpn. J. Appl. Phys. Part 2-Letters, 38(2B), pp. 195-198, 1999.
- [22] S. B. Kim, C. I. Kim, E. G. Chang, and G. Y. Yeom, J. Vac. Sci. Technol. A, 17(4), pp. 2156-2161, 1999.
- [23] S. B. Kim, Y. H. Lee, T. H. Kim, G. Y. Yeom, and C. I. Kim, J. Vac. Sci. Technol. A, 18(4), 2000.
- [24] K. P. Lee, K. B. Jung, A. Srivastava, D. Kumar, R. K. Singh, and S. J. Pearton, J. Electrochem. Soc., 146(10), pp. 3778-3782, 1999.
- [25] G. Suchanek, R. Tews, G. Gerlach Surface and Coatings Technology 116-119, pp. 456-460, 1999.
- [26] N. Ikegami, T. Matsui and J. Kanamori, Jpn. J. Appl. Phys. 35(4B), pp. 2505-2511, 1997.
- [27] C. W. Chung and C. J. Kim, Jpn. J. Appl. Phys. 36(5A), pp. 2747-2753, 1997.
- [28] C. W. Chung, J. Vac. Sci. Technol., B 16(4), pp. 1894-1900, 1998.
- [29] T. H. An, J. Y. Park, G. Y. Yeom, E. G. Chang, and C. I. Kim, J. Vac. Sci. Technol. A 18(4), pp. 3012-3013, 2000.
- [30] D. E. Kotecki, Semiconductor International, pp. 109-116, 1996.
- [31] S. Onishi, M. Nagata, S. Mitarai, Y. Ito, J. Kudo, K. Sakiyama, J. Electrochem. Soc., 145(7), 1998.
- [32] H. N. Al-shareef, D. Dimos, B. A. Tuttle, and M. V. Raymond, J. Mat. Res., 12(2), pp. 347-354, 1997.
- [33] S. O. Park, C. S. Hwang, H. J. Cho, C. S. Kang, H. K. Kang, S. I. Lee, and M. Y. Lee, Jpn. J. Appl. Phys. 35(2B), pp. 1548-1552, 1996.
- [34] C. W. Chung, and H. G. Song, J. Electrochem. Soc., 144(11), 1997.
- [35] J. H. Ryu, N. H. Kim, H. S. Kim, G. Y. Yeom, E. G. Chang, and C. I. Kim, J. Vac. Sci. Technol. A, 18(4), pp. 1377-1380, 2000.
- [36] S. B. Desu and W. Pan, J. Vac. Sci. Technol. B 12, pp. 3208-3213, 1994.
- [37] 이종근, 박세근, 전자공학회논문지, 제 37권 3호, pp.177-181, 2000.
- [38] N. Fujimura, T. Ishida, T. Yoshimura, and T. Ito, Appl. Phys. Lett., Vol. 69, No. 7, pp. 1011-1013, 1996.
- [39] N. Fujimura, H. Tanaka, H. Kitahata, K. Tadanaga, T. Yoshimura, T. Ito, and T. Minami, Jpn. J. Appl. Phys. Part 2, Vol. 36, pp. 1601-1603, 1997.
- [40] B. J. Min, C. I. Kim, and Y. T. Kim, J. Vac. Sci. Technol. A pp.1289-1293 (Jul/Aug, 2001)
- [41] 이철인, 김동표, 김창일, 한국전기전자재료학회 춘계 학술대회 논문집, pp. 12-16, 2001.
- [42] 박재화, 김창일, 장의구, 이철인, 이병기, 한국전기전자재료학회 추계학술대회 논문집, Vol. 14, No. 1, pp. 213-216, 2001.
- [43] Y. C. Kim, and C. I. Kim, J. Vac. Sci. Technol. A 19(5), pp. 2676-2679, 2001.
- [44] C. S. Oh, C. I. Kim and K. H. Kwon, J. Vac. Sci. Technol. A 19(4), pp. 1068-1071, 2001.
- [45] 장윤성, 장의구, 김창일, 이철인, 김태형, 엄준철, 한국전기전자재료학회 추계학술대회 논문집, Vol. 14, No. 1, pp.217-220, 2001.

저 자 약 력

성명 : 김 창 일

◆학력

1984년 2월 중앙대 공대 전기공학과 졸업
 1986년 2월 중앙대 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)
 1993년 2월 중앙대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)
 - 현재 중앙대 전자전기공학부 부교수

◆주관심연구분야

플라즈마 식각, FRAM, Carbon Nanotube 및 광통신 부품소자 (e-mail : cikim@cau.ac.kr)