

# O<sub>2</sub> RTA 방법으로 제조된 Ta<sub>2</sub>O<sub>5-x</sub> 박막의 전기적 특성

論 文

51C-8-2

## A Study on Electrical Properties of Ta<sub>2</sub>O<sub>5-X</sub> Thin-films Obtained by O<sub>2</sub> RTA

金寅性\* · 宋在成\*\* · 尹文洙\*\* · 朴正后\*\*\*

(In-Sung Kim · Jae-Sung Song · Mun-Soo Yun · Chung-Hoo Park)

**Abstract** - Capacitor material utilized in the downsizing passive devices and integration of passive devices requires the physical and electrical properties at given area such as capacitor thickness reduction, relative dielectric constant increase, low leakage current and thermal stability. common capacitor materials, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, TaN and et al., used until recently have reached their physical limits in their application to integration of passive devices.

Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> is known to be a good alternative to the existing materials for the capacitor application because of its high dielectric constant (25~35), low leakage current and high breakdown strength. Despite the numerous investigations of Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> material, there have little been established the clear understanding of the annealing effect on capacitance characteristic and conduction mechanism.

This study presents the dielectric properties of Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> MIM capacitor structure processed by O<sub>2</sub> RTA oxidation. X-ray diffraction patterns showed the existence of amorphous phase in 600°C annealing under the O<sub>2</sub> RTA and the formation of preferentially oriented-Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in 650, 700°C annealing and the AES depth profile showed O<sub>2</sub> RTA oxidation effect gives rise to the O<sub>2</sub> deficient into the new layer. The leakage current density respectively, at 3~11×10<sup>-2</sup>(kV/cm) were 10<sup>-3</sup>~10<sup>-6</sup>(A/cm<sup>2</sup>). In addition, behavior is stable irrespective of applied electric field. the frequency vs capacitance characteristic enhanced stability more than Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> thin films obtained by O<sub>2</sub> reactive sputtering. The capacitance vs voltage measurement that, Vfb(flat-band voltage) was increase dependance on the O<sub>2</sub> RTA oxidation temperature.

**Key Words** : RTA oxidation, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MIM Capacitor, thin films, Electrical properties.

### 1. 서 론

커패시터(capacitor)는 종래의 필름 유전체를 사용한 벌크형 소자에서 휴대통신기, PDA, GPS, PC 등과 같은 소형 정보통신기기의 발달로 인하여 SMD(surface mounted device)형 칩소자, 모듈형 MCM(multi chip module)소자, 집적화 수동소자(Integrated Passive Devices, IPD's)로 인덕터, 저항과 함께 극소·박형화 되어 가고 있는 추세이다[1]. 커패시터의 소형·박형화는 수동소자의 집적도를 증가시키기 위하여 필수적인 요소로써 주어진 면적에서 유전체의 두께 감소, 유전율 증대, GHz 대역의 주파수 안정성, 낮은 작동전압, 적은 누설전류 그리고 높은 절연파괴 강도를 요구하고 있으며, 지금까지 주로 사용되어온 alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), silicon oxide(SiO<sub>2</sub>), silicon nitride(Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>), SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>와 tantalum nitride(TaN)는 누설전류, 유전율, 유전체의 두께, 주파수 안정성, 큰 유전손실, 집적화 공정 등의 문제로 인하여 물리적 한계에 도달하게 되었다[2, 3].

최근에 소형화, 집적화에 필요한 유전체 박막 재료로서 많은 연구가 진행되고 있으며, 이미 미쯔비사에서 시제품이 나온 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(tantalum pentoxide) 유전체를 적용한 커패시터는 충분한 정전용량, 적은 누설전류, 낮은 작동전압, 높은 절연파괴 강도 값을 갖고 있는 것으로 조사되고 있어서 차세대 유전체 박막재료로 많은 관심이 집중되고 있다. 그러나 작동시 누설전류, 유전 특성, 전기전도 메카니즘과 같이 일부 물성 연구가 대부분으로 아직 제조 공정에 따라 물성이 달라지고 집적화 수동소자에 적용 유·무가 결정되는 등의 문제점이 남아있어 더욱 많은 연구가 필요한 실정이다[4, 5].

Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 유전체 박막을 제조하는 방법으로는 Ar, O<sub>2</sub>의 분위기에서 반응성 스퍼터링으로 증착하는 방법[6], 화학적으로 기상 증착(LPCVD)하는 방법이 가장 대표적으로 것으로 알려져 있다[7]. 위와 같은 방법으로 제조된 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 유전체 박막의 물성은 그 제조 방법에 따라 다소 차이가 있는 것으로 알려져 있는데 이런 차이는 커패시터를 구성하는 유전체 물질의 조성과 격자구조, 전극의 재질과 계면 상태에 따라 영향을 받는 것으로 보고되고 있으며, 그 중에서도 박막의 제조 방법, 공정개선, 어닐링 분위기의 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근에는 O<sub>3</sub> 분위기의 UV 광에 의하여 어닐링 함으로써 격자내의 산소 결핍을 보충하고 결정화도를 높임으로써 분극율을 증가시키고 박막의 결함(defect)을 감소시켜, 유전 특성을 향상시켰다는 연구도 보고되었다[8].

\* 正 會 員 : 韓國電氣研究院 電磁氣素子그룹 先任研究員

\*\* 正 會 員 : 韓國電氣研究院 電磁氣素子그룹 責任研究員

\*\*\* 正 會 員 : 釜山大 工大 電子電氣通信工學部 教授

接受日字 : 2002年 5月 27日

最終完了 : 2002年 6月 14日

본 연구에서는 공정과 물성을 동시에 개선할 목적으로 탄탈륨(tantalum)을 먼저 스퍼터링법으로 증착시킨 후 결정화 온도 영역의 산소 분위기에서 급속 열처리(RTA) 함으로써 산화(oxidation)와 결정화를 동시에 처리하는 공정으로 유전체 박막을 제조하여 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막의 성분 분석과 미세구조를 관찰하였으며, MIM(metal-insulator-metal) 커패시터 형태로 제조하고, 전기적 물성을 측정하여 O<sub>2</sub> RTA(rapid thermal annealing) oxidation 방법으로 제조된 유전체와 이미 연구된 [9] 반응성 스퍼터링 방법으로 제조된 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막의 물성을 비교함으로써 집적화 수동소자 커패시터의 유전체에 적용하기 위한 가능성 여부에 대하여 고찰하였다.

### 2. 실험 방법

Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 커패시터용 유전체 박막의 제조를 위해 p-type (100) Si 웨이퍼를 6×6mm로 절단하여 아세톤과 메탄올 초음파로 오염물질을 세척하고, 표면의 자연 산화층을 10%의 HF(hydrofluoric acid)용액으로 제거한 후 기판을 스퍼터 반응용기에 설치하였다. 스퍼터링 중 기판 온도는 상온이며, 방전 조건은 200W로 고정시키고 시간을 달리하여 탄탈륨을 증착시킨 후 다시 산소 분위기에서 30°C/sec로 승온시켜 각각 시료조건에 해당하는 일정한 온도에서 급속 열처리를 함으로써 탄탈륨이 산화된 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막을 얻을 수 있었다. 표 1에 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막의 제조 조건을 정리하였다.

표 1 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막의 제조 조건  
Table 1 The fabrication conditions of Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> films

fabrication of thin film		O <sub>2</sub> RTA oxidation	
parameter	condition	parameter	condition
base pressure	1.0×10 <sup>-9</sup> torr	승온속도	30°C/sec
working pressure	5.0×10 <sup>-4</sup> torr	RTA Temp.	600, 650, 700°C
sputter gas	Ar (10sccm)	유지시간	90sec
RF Power	200 W(fixed)	분위기	O <sub>2</sub> (99.99%)
discharge time	30, 60, 90, 120 (sec)	flow rate	50sccm
top electrode	Ag, 2000Å, ϕ=2mm	-	-
bottom electrode	Pt, 1800Å	-	-

Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막의 결정학적 분석은 X-선 회절분석기를 이용하여 2θ 20~60°까지 분석하였으며, 표면과 단면의 형상은 FE(field emission) SEM, 박막의 두께는 α-step을 이용하여 측정하였다. RTA oxidation 처리된 박막의 수직 방향 성분분석은 AES(auger electron emission)을 이용하여 수직분포 분석(depth profiling)을 하였다. 이때 모든 분석에 사용한 박막 시료는 상부 전극을 증착하지 않은 상태이다.

유전 특성 조사는 위의 박막 제조 조건으로 MIM(metal-insulator-metal) 구조의 커패시터를 Si 웨이퍼 위에 형성하였으며, 이때 하부전극은 Si 웨이퍼와의 접착력 향상과 확산층 방지를 위하여 티타늄(titanium)으로 500Å의 buffer layer를 형성한 다음 백금(Pt)을 1800Å 두께로 증착하였다. 상부 전극은 직경 2mm 원형 마스크를 이용하여 은(silver)을 열증착(thermal evaporation)하였으며, 전기적 특성은 Kethily 237

High voltage source measure unit와 HP 4194 A Impedance/Gain phase analyzer를 이용하여 C-V, C-F, I-V를 측정하였다. 그림 1의 (a)에 집적화 커패시터의 단일 소자와 (b) MIM 커패시터 시료의 구성을 나타내었다.

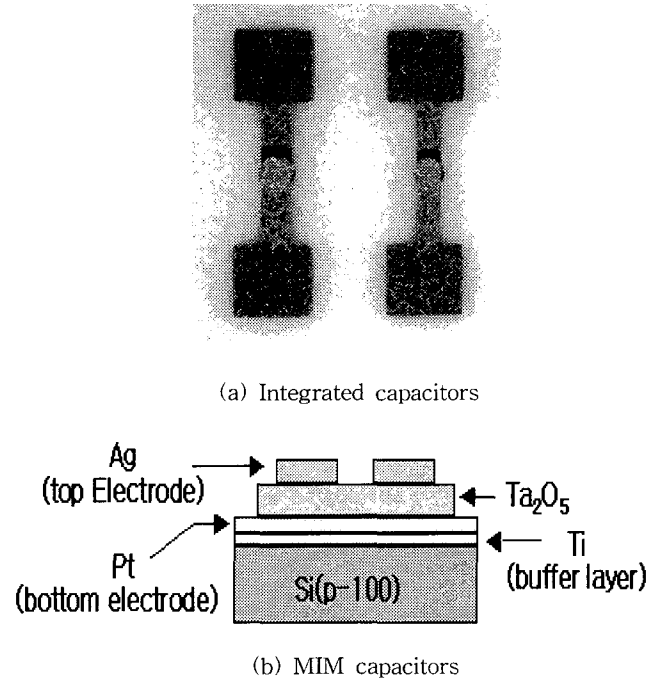


그림 1 MIM 커패시터의 구성  
Fig. 1 The structure of MIM capacitors

### 3. 결과 및 고찰

방전 시간을 30, 60, 90, 120(sec)로 하여 p-type(100) Si 웨이퍼 위에 성장시킨 후 O<sub>2</sub> RTA oxidation 처리한 박막을 α-step으로 두께와 표면 거칠기를 측정하여 그림 2에 나타내었다. Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막의 두께는 320~950Å으로 방전 시간과 거의 비례하여 성장하였으며, 표면 거칠기는 방전 시간이 길고 박막의 두께가 두꺼울수록 작아지는 특성을 나타내었다. 또한 O<sub>2</sub> RTA oxidation 처리를 함으로써 탄탈륨 박막은 산소와 결합하여 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막으로 성장하면서 두께가 약 30~40% 정도 두꺼워졌음을 관찰할 수 있었다. 이것은 그림 5의 AES depth profile 분석 결과와 같이 Ta-O 결합이 생기면서 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>로 성장하여 두꺼워진 것으로 생각된다. 30sec 방전하여 제조한 320Å의 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막을 O<sub>2</sub> RTA oxidation 온도 600~700°C 까지 증가시키면서 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막으로 성장시켜 X-Ray 회절패턴을 분석한 결과 그림 3에 나타내었다. 600°C에서 O<sub>2</sub> RTA 처리한 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막은 (002)면의 Ta와 β-Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>가 혼재된 비정질상으로 사료되며, 온도의 증가에 따라 결정화 피크가 관찰되었다. Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 결정구조가 hexagonal 구조를 가지기 때문에 대부분의 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 650°C 이후에서 결정화가 이루어진다는 이론에 근접함을 알 수 있었다[10]. 또한 600°C보다 700°C에서 우선 배향성(preferred orientation)이 강하게 나타나면서 (002)에 해당하는 Ta 피크는 작아지면서 β-Ta<sub>2</sub>O<sub>5-x</sub> 피크는 커지는 경향을 보였다. 이것은 스퍼터링

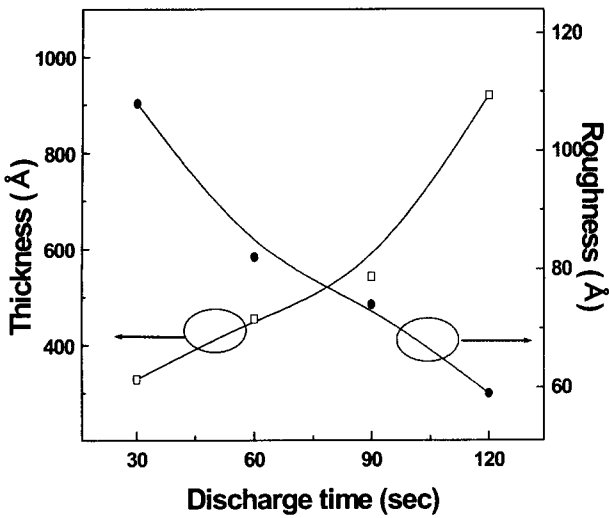


그림 2 방전 시간에 따른 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막의 두께와 표면 거칠기  
Fig. 2 Thickness and roughness as a function of discharge time for the Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> thin-films.

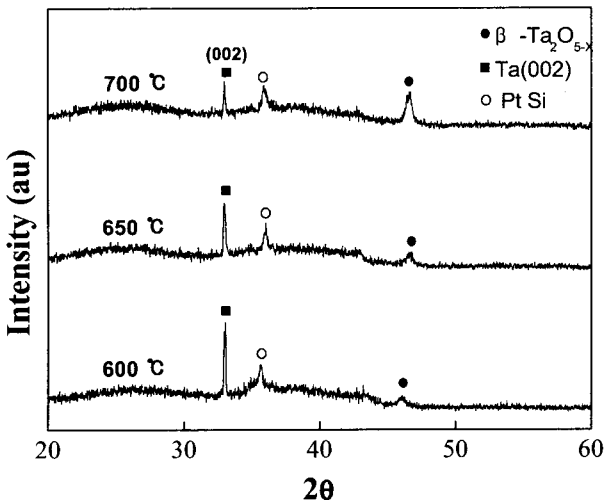
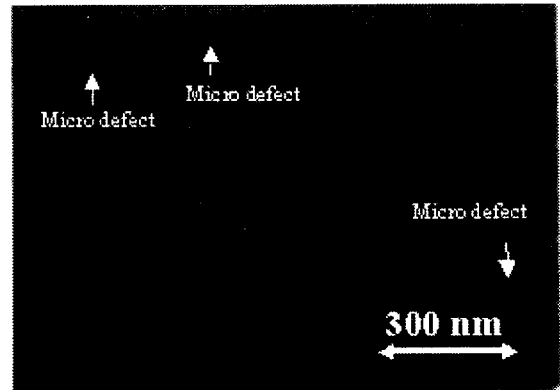
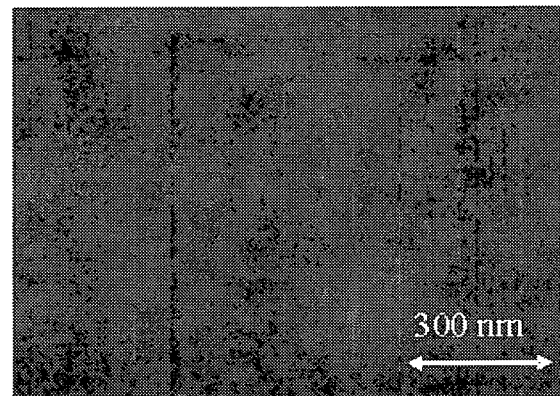


그림 3 RTA 온도에 따른 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막의 XRD 회절 패턴  
Fig. 3 XRD patterns as a function of for the Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> thin-films. (RTA Temperature 600, 650, 700°C)

법으로 제조되어 oxygen network상의 격자내에 Ta-O bond의 산소결핍으로 존재하는 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막의 비정질상이 산소 분위기의 증가된 RTA 온도에 의해서 β-Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>상으로 결정화되어 나타나는 피크로 보여지며, 주 회절인 (110) 회절면 2θ의 변화는 거의 없었다[11]. 500Å 이상의 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막에서는 crack과 defect가 발생되기 쉽다는 H. Shinriki의 이론과 실험을 통해 이후 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막은 30sec 방전시켜 O<sub>2</sub> RTA oxidation 처리한 320 Å으로 실험하였으며, FE-SEM으로 분석한 결과 그림 4의 (a)에서 발생된 결함은[9] (b)에서는 발견되지 않았고 박막의 표면상태는 양호하였다. 그러나 미소하게 형성된 grain이 있음을 관찰할 수 있었다.



(a)

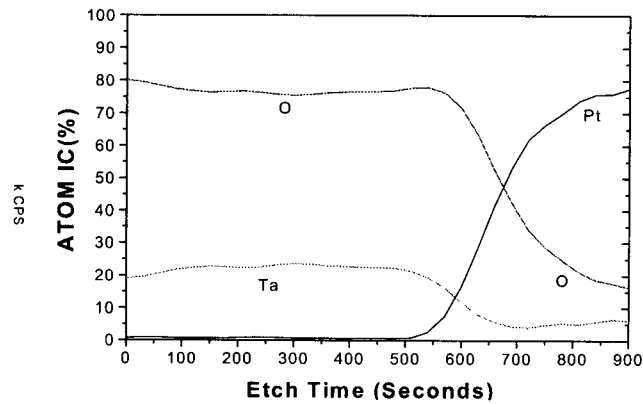


(b)

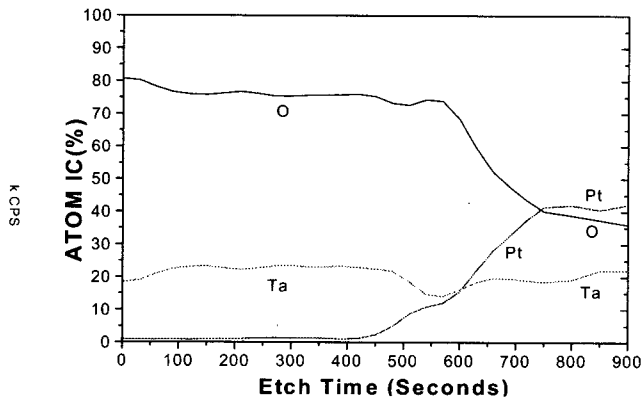
그림 4 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막의 FE SEM 이미지  
Fig. 4 FE SEM image of Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> thin films.  
(a) reactive sputtering, (b) O<sub>2</sub> RTA oxidation

그림 5는 결정화 영역의 저온 600°C와 고온 700°C에서 O<sub>2</sub> RTA oxidation 처리한 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막의 AES 분석 결과를 원자 퍼센트로 나타낸 것이다. (a), (b) 모두 박막의 표면부터 깊이 방향으로 stoichiometric한 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>가 얻어졌음을 알 수 있었다. 그러나 박막 내부로 들어가서 계면에 가까울수록 O/Ta의 비가 낮아져 Ta<sub>2</sub>O<sub>5-x</sub>의 구성을 갖는 Non-stoichiometric한 Ta<sub>2</sub>O<sub>5-x</sub> 박막으로 형성된 것으로 사료되며, (b)의 예칭 시간 650~700초 부근에선 Ta와 O<sub>2</sub> 원자가 낮은 온도 (a) 600°C O<sub>2</sub> RTA oxidation 처리한 것 보다 많이 검출되었다. 반면에 600°C O<sub>2</sub> RTA oxidation 박막은 AES 예칭 시간 700~750 sec 부근에서 Ta와 O<sub>2</sub>의 원자 조성비가 급격히 떨어지고 있음을 알 수 있다. 즉 높은 온도에 비해 낮은 온도에서는 산소 결핍(oxygen deficiency)이 많은 산화물 층으로 바뀌고 있음을 나타내고 있다. 커패시터 구조의 유전체에 있어서 계면에서 주로 많이 나타나는 현상으로 알려져 있으며, 계면에서 산소가 결핍된 또 다른 층(new layer)을 만들어 커패시터를 형성함으로써 유전현상이 완화된 분극을 형성하게 되어 커패시터의 정전용량을 떨어뜨리고 누설전류를 증가시키는 요인으로 작용하며, 커패시터의 작동 전압을 높이게 된다. 이런 현상은 박막 내부에 존재하는 계면결함, grain boundary 결함, 트랩 준위, 산소 결핍이 결함으로 작용해서 유전완화의

원인을 제공한다고 알려져 있으며, 전기적 특성에도 영향을 미친다[12].

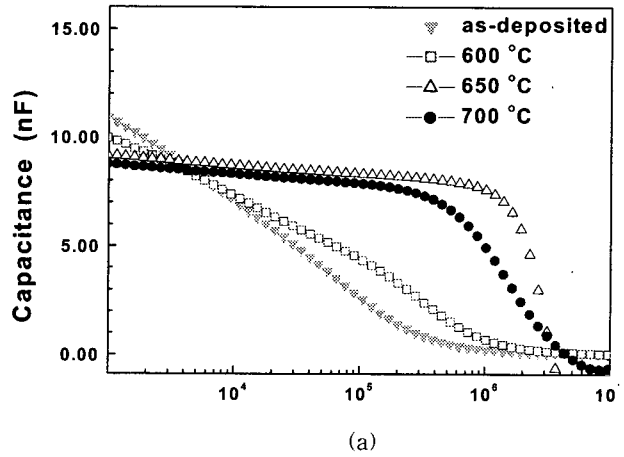


(a)

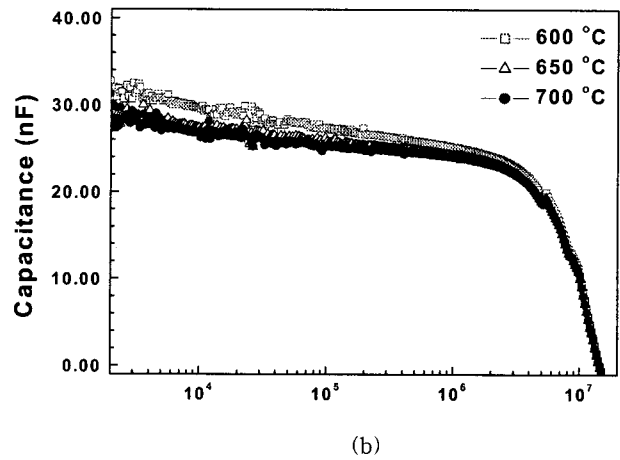


(b)

그림 5 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막의 Auger 수직성분 분석  
Fig. 5 Auger depth profile of Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> thin films.  
(a) 600°C, (b) 700°C O<sub>2</sub> RTA oxidation



(a)



(b)

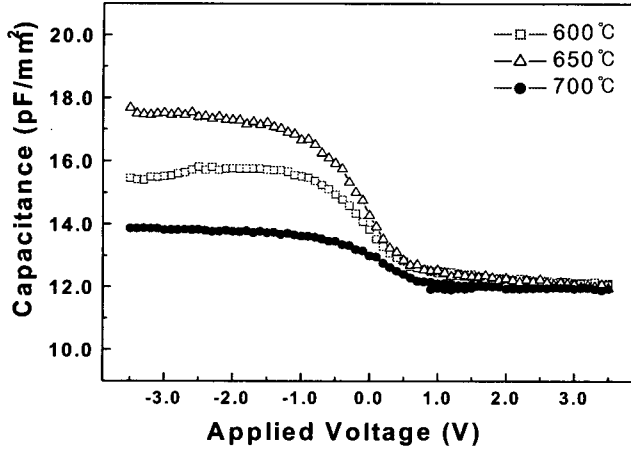
그림 6 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막의 정전용량 주파수 특성  
Fig. 6 The capacitance vs frequency characteristic of the Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in films. (a) reactive sputtering, (b) O<sub>2</sub> RTA oxidation

위와 같이 두께와 온도를 달리하여 탄탈륨을 증착하고 O<sub>2</sub> RTA oxidation 처리한 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막을 분석한 후 크랙이 발생되지 않고 물성이 양호한 것으로 알려진 500Å 미만의 두께를 선정하여 RTA 처리시 화학적 물성 변화를 감안하고, 열적, 전기적으로 안정한 소재인 Pt 하부 전극 위에 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막 유전체를 320Å 형성시켰다. 상부전극은 원형 직경 2mm 소프트 마스크를 설치하고, Ag를 열증착(thermal evaporation)하여 MIM 구조의 커패시터를 Si 웨이퍼 위에 제조한 후 전기적인 물성을 측정된 결과 주파수-정전용량 특성은 그림 6의 (a), (b)와 같다. (a)의 O<sub>2</sub> reactive sputtering 방법을 적용한 as-deposited와 600°C에서 열처리한 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 유전체 박막은 주파수가 증가할수록 정전용량이 급격히 감소하였고, 650°C와 700°C에서 어닐링한 경우는 주파수가 증가하여도 정전용량 값의 변화는 크지 않음을 알 수 있다. 그러나 O<sub>2</sub> RTA oxidation 처리한 (b)에서는 RTA 온도에 크게 의존적이지 않은 안정한 정전용량-주파수 특성이 나타났다. 또한 1kHz 부근에서 측정하여 계산된 유전율도 (a)의 reactive

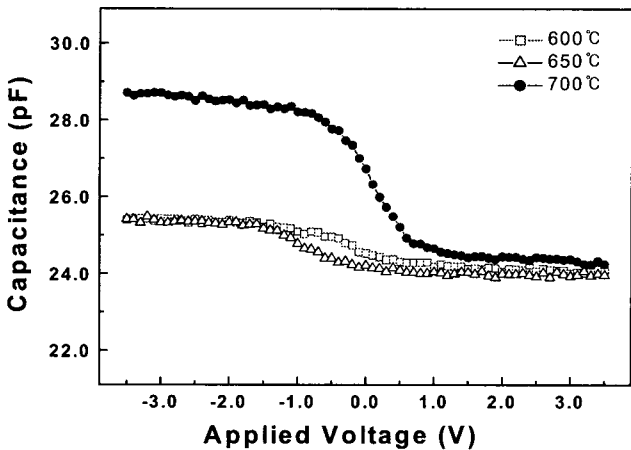
sputtering법으로 제조된 박막은  $\epsilon_r=16\sim20$  이었으나 (b)의 경우는 약 2배 가량 크게 나타났다. 즉 600~700°C RTA에 의해 결정화가 진행되고 커패시터의 정전용량은 주파수 의존성이 줄어든 것으로 해석할 수 있으며, XRD 분석에서 나타난 결과에 비추어 보면 RTA oxidation에 의한 영향으로 추가 설명이 가능하다[13, 14].

C-V 특성을 측정함으로 V<sub>FB</sub>(flat band voltage)와 C<sub>FB</sub>(flat band capacitance)를 구할 수 있으며, oxide 내의 charge와 유전체와 전극 계면의 charge trap을 알 수 있다. 또한 C-V 곡선과 ideal C-V 특성 곡선을 비교하여 궁극적으로 계면 효과에 의한 전기적인 물성을 파악할 수 있다. 그림 7에 reactive sputtering 방법으로 제조한 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막 (a)와 600, 650, 700°C에서 O<sub>2</sub> RTA oxidation 처리한 (b)의 C-V를 측정하여 특성 곡선을 나타내었다. reactive sputtering 보다는 O<sub>2</sub> RTA oxidation에서 accumulation 영역의 정전용량이 크게 나타났으며, RTA oxidation에서 600°C 보다는 온도가 높은 700°C에서 ideal C-V 특성을 나타내었다. 이것은 reactive sputtering 방법으로 제조한 유전체 박막은 전극과 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 계

면에 donor type의 interface state(new layer)가 존재한다고 볼 수 있으며, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막을 제조 후 어닐링 온도가 높을수록 밀도가 감소한다는 것을 나타낸다.



(a)



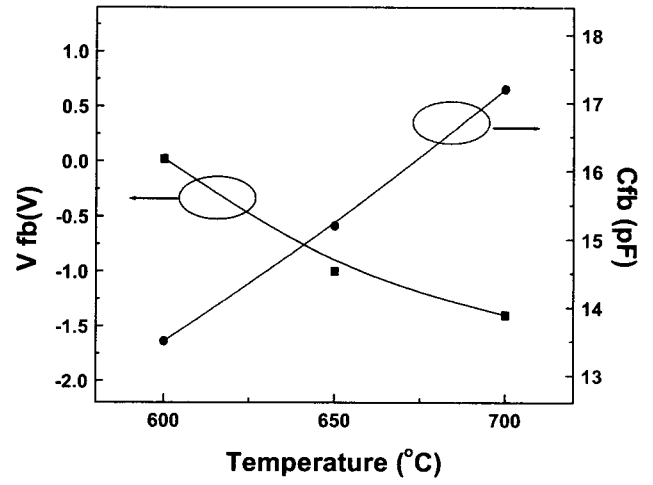
(b)

그림 7 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막의 C-V 특성

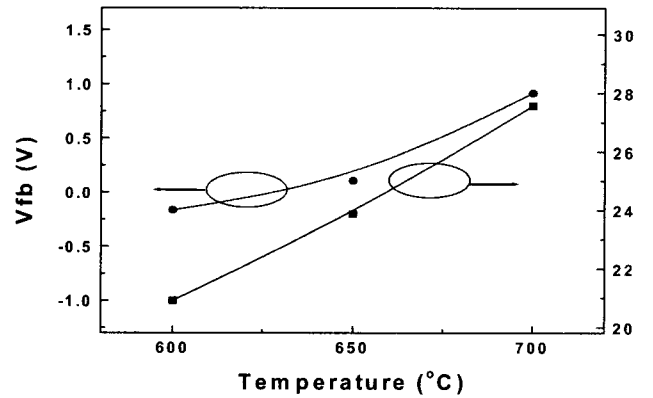
Fig. 7 The capacitance vs voltage characteristic of the Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> films. (a) reactive sputtering, (b) O<sub>2</sub> RTA oxidation

P. C. Joshi에 의하면 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 700°C 부근에서 annealing 한 MIM 커패시터의 C-V 특성은 전압이 증가하면서 정전용량이 증가하거나 또는 일정하게 유지된다고 보고되고 있지만, 본 실험에서는 (-) charge에서 (+) charge로 바뀌는 V<sub>FB</sub> 영역에서 다소 감소하고 이후 일정한 정전용량값을 나타냈다 [15]. 그림 5의 auger depth profile 분석에 의하면 하부전극과 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 유전체 사이에 존재하는 O<sub>2</sub>, Ta, Ta<sub>2</sub>O<sub>5-x</sub>의 등의 산소결핍 분자들의 밀도에 의한 것이 주된 원인으로 보아지며, 특히 어닐링이나 O<sub>2</sub> RTA oxidation 처리에 의하여 산화의 깊이 확산 정도에 따른 계면에서의 산소 밀도가 영향을 미치는 요소로 생각된다. 또한 어닐링이나 박막 제조시 전극의 표면과 유전체에서 생기는 radiation damage와 산화 후

생기는 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 압축응력(compress stress) 등으로 해석하기도 하나 보다 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.



(a)



(b)

그림 8 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막의 온도에 따른 VFB와 CFB 특성

Fig. 8 The VFB and CFB as a function of temperature for the Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> thin films. (a) reactive sputtering, (b) O<sub>2</sub> RTA oxidation

P. C. Joshi에 의하면 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 700°C 부근에서 annealing 한 MIM 커패시터의 C-V 특성은 전압이 증가하면서 정전용량이 증가하거나 또는 일정하게 유지된다고 보고되고 있지만, 본 실험에서는 (-) charge에서 (+) charge로 바뀌는 V<sub>FB</sub> 영역에서 다소 감소하고 이후 일정한 정전용량값을 나타냈다 [15]. 그림 5의 auger depth profile 분석에 의하면 하부전극과 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 유전체 사이에 존재하는 O<sub>2</sub>, Ta, Ta<sub>2</sub>O<sub>5-x</sub>의 등의 산소결핍 분자들의 밀도에 의한 것이 주된 원인으로 보아지며, 특히 어닐링이나 O<sub>2</sub> RTA oxidation 처리에 의하여 산화의 깊이 확산 정도에 따른 계면에서의 산소 밀도가 영향을 미치는 요소로 생각된다. 또한 어닐링이나 박막 제조시 전극의 표면과 유전체에서 생기는 radiation damage와 산화 후 생기는 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 압축응력(compress stress) 등으로 해석하기도 하나 보다 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

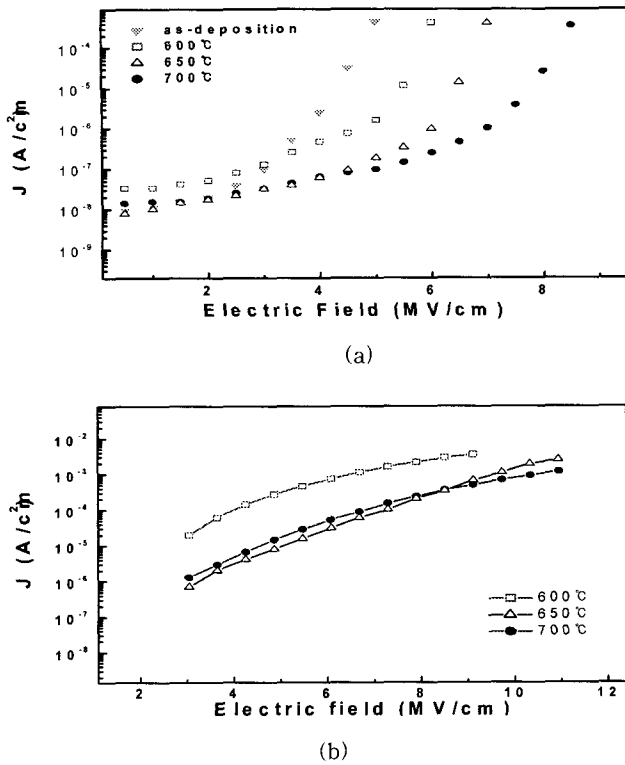


그림 9 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막의 전계강도에 따른 누설전류밀도  
 Fig. 9 Leakage current density as a function of electric field for the Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> thin films. (a) reactive sputtering, (b) O<sub>2</sub> RTA oxidation

C-V 특성 곡선으로부터 구한  $V_{FB}$ 와  $C_{FB}$ 를 그림 8에 나타내었다.  $C_{FB}$ 는 (a), (b) 모두 온도가 높을수록 증가하는 경향을 나타내었으며, 결정화 온도에 가까운 650~700°C 사이에서 양(positive)의 영역으로 바뀌었다.  $V_{FB}$ 는 온도의 증가에 따라서 서로 상반된 경향을 나타내었다. Oehrlein 등은 결정화 온도 영역 이하에서  $V_{FB}$ 는 양으로 나타나지만 그 이상에서 음으로 바뀐다는 연구 결과가 있어 본 연구에서의 O<sub>2</sub> RTA oxidation 처리에 의해 제조된 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 물질과는 서로 상반된 경향이 나타나 좀더 깊이 있는 연구가 필요한 것으로 생각되어진다[16].

그림 9는 Ta<sub>2</sub>O<sub>5-x</sub> 유전체 박막에 대하여 전계강도 변화에 따른 누설전류 밀도를 측정하여 (a)와 (b)에 나타낸 것이다. (a)의 reactive sputtering 방법에 의하여 제조된 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막은  $3.5 \times 10^5$  (kV/cm) 이하의 전계강도 영역에서 비교적 안정한 누설전류 특성을 나타내었고, as-deposited 박막은  $3.5 \times 10^5$  (kV/cm) 이후 고전계 영역으로 갈수록 급격히 증가된 누설전류는 절연과피를 유도하였다. 그러나 (b)의 경우는 (a)보다는 다소 누설전류가 많이 흐르지만  $9 \times 10^5$  (kV/cm) 전계까지 증가하여도 (a)와 같이 고전계 영역에서 급격한 전류가 흐르면서 절연과피되는 현상은 나타나지 않았다. 이와 같은 현상은 비교적 재현성이 떨어지는 O<sub>2</sub> reactive sputtering 방법으로 제조된 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막은 non-stoichiometric 하게 성장하여 열처리함으로써 원자, 분자의 공공이나 결함이 부분적으로 해소되고 계결합하거나 안정화되어 유전

체 박막을 형성하기 때문에 초기에 생성된 grain boundary의 결함이 많이 감소한 원인으로 보고되고 있으며, 성장시 침상구조의 결정립 경계면에 micro defect가 존재하여 절연 강도 값이 떨어진다고 Hiroshi Shinikie와 S. Banerjee 등에 의해서 전기전도 메카니즘과 함께 자주 고찰되고 있다[17]. 그러나 O<sub>2</sub> RTA oxidation 으로 제조된 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막은 탄탈륨이 박막으로 성장시 반응성 산소 원자와의 결합이 필요 없으므로 non-stoichiometric한 구조가 형성되지 않아 결함이 줄어들고 분자구조가 비교적 안정한 것으로 보여진다. 이러한 이유로 그림 4의 (b)에 나타낸 것과 같이 큰 grain boundary가 없이 비교적 안정된 구조로 성장하여 O<sub>2</sub> oxidation 되기 때문에 절연과피 강도가 큰 것으로 사료된다. 그러나 누설전류 측면에서는 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막의 전기전도 메카니즘과 물리·화학적 분석 데이터를 바탕으로 더 깊이 있는 연구가 필요할 것으로 사료된다. 또한 실제 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 유전체를 수동소자용 커패시터에 적용하기 위해서는 작은 누설전류를 요구하므로 절연과피 강도 값은 높더라도 누설전류는 줄일 필요성이 있는 것으로 조사되고 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 집적화 수동소자의 커패시터에 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 유전체로 적용할 목적으로 탄탈륨(tantalum)을 먼저 스퍼터링 방법으로 증착시킨 후 결정화 온도 영역의 산소 분위기에서 급속 열처리(RTA) 함으로써 산화(oxidation)와 결정화를 동시에 처리하여 공정과 물성을 개선하고자 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

O<sub>2</sub> RTA oxidation 처리한 탄탈륨 박막은 (002)면의 Ta와  $\beta$ -Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>가 미약하게 혼재된 비정질상이었으나 650°C 이후의 RTA 온도 증가에 의해  $\beta$ -Ta<sub>2</sub>O<sub>5-x</sub>상으로 결정화되기 시작하였으며, 주 (110) 회절면  $2\theta$ 의 변화는 거의 없었다. 또한 크랙과 같은 박막의 결함은 발견되지 않았으나 미소하게 grain이 형성되었고, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 유전체와 전극 사이의 계면에는 상대적으로 non-stoichiometric하게 산소가 결핍된 층이 존재함을 알 수 있었다.

열처리 온도에 따른 주파수 의존성은 reactive sputtering 방법으로 제조된 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막보다 우수하게 나타났으며, C-V 특성에서는  $V_{FB}$ 와  $C_{FB}$ 는 이미 발표된 이론과 상반되게 조사되어 전극과 유전체의 계면 효과로 해석하였으나 더 깊은 연구가 필요한 것으로 생각되며, O<sub>2</sub> oxidation 처리된 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막은 절연과피 값은 다소 높으나 누설전류가 많이 흘러 유전체를 수동소자용 커패시터에 적용하기 위해서는 누설전류를 줄일 필요성이 있는 것으로 조사되었다.

#### 참고 문헌

[1] J. A. Nielsen, C. P. Chien, F. Shi, "Embedded Tantalum Pentoxide Thin Film Capacitor for Use in Power Electronic Application" 2000 International Conference on High-Density Interconnect and System Packaging, Proceeding pp. 346, 2000.  
 [2] H. S. Yang, Y. S. Choi and S. M. Cho, "Preparation and Properties of Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Film Capacitors Using TiSi<sub>2</sub>

Bottom Electrode" Journal of Electronic Materials, Vol. 28, no. 12, 1999.

[3] M. Kee, U. Mackens, R. Kiewitt, G. Greuel and C. Metzmaier, "Ferroelectrical Thin Films for Integrated Passive Component", Phillips Journal of Research Vol. 51 no. 3, 1998.

[4] V. Mikhelashvili, G. Eisenstein, "Characteristics of MIS Capacitors based on multilayer  $TiO_2/Ta_2O_5$  structures", Microelectronics Reliability Vol. 40, pp. 657, 2000.

[5] S. Zaima, T. Furuka, Y. Yasuda and M. Iida, "Preparation and Properties of  $Ta_2O_5$  films by LPCVD for ULSI Application", J. Electrochem. Soc. Vol. 137, pp.1297, 1990.

[6] Susumu Shibata, "Dielectric constant of  $Ta_2O_5$  thin film deposited by RF sputtering", Elsevier Thin Solid Films, Vol. 277, pp. 1, 1996.

[7] S. Zaima, T. Furuta, Y. Yasuda and M. Iida, "Conduction Mechanism of Leakage Current in  $Ta_2O_5$  films on Si Prepared by LPCVD", J. Electrochem. Soc., Vol. 137, no. 9, pp. 2876, 1990.

[8] R. M. Fleming, D. V. Lang C. D. W. Jones, "Defect dominate charge transport in amorphous  $Ta_2O_5$  thin films", J. of Appl. Phys., Vol. 88, no. 2, pp. 850-862, 2000

[9] 김인성, 이동윤, 송재성, 윤문수, 박정후, " $Ta_2O_5$  커패시터 박막의 유전 특성과 열 안정성에 관한 연구", 대한전기학회논문지, 제 51C권, 5호, pp. 185, 2002. 5

[10] Shin-Ichiro Kimura, Yasuhiro Nishioka, Akira Shintani and Kiichiro Mukai, "Leakage-current increase in amorphous  $Ta_2O_3$  films due to pin-hole growth during annealing below  $600^\circ C$ ", J. Electrochem. Soc. Vol. 130, No. 129, pp. 2414, 1983.

[11] Nishioka Y., Kimura, S. Shinriki, "Dielectric Characteristics of Double layer Structure of Extremely Thin  $Ta_2O_5/SiO_2$  Films on Si", J. of Electrochem. Soc., Vol. 34, pp. 410-422, 1987.

[12] S. Ezhilvalavan, Ming Shiahn Tsai and Tseung Yuen Tseng "Dielectric Relaxation and Analysis of  $Ta_2O_5$  Thin films", J. Phys. D: Appl. Phys. Vol 33 (200) pp. 1137, 2000

[13] A. G. revesz, J. H. Reynolds, and J. F. Allison, "Optical Properties of Tantalum Oxide Films on Silicon", J. Electrochem. Soc., Vol. 123. no. 6, pp. 889, 1976.

[14] Lewis E. Hollander, and Patricia L. Castro, "Dielectric Properties of Single-Crystal Nonstoichiometric Rutile ( $TiO_2$ )", J. Appl. Phys., Vol. 33, no. 12, pp. 3421, 1962.

[15] P. C. Joshi and M. W. Cole, "Influence of postdeposition annealing on the enhanced structural and electrical properties of amorphous and crystalline  $Ta_2O_5$  thin films for dynamic random

access memory application", J. Appl. Phys., Vol. 86, no. 2, pp. 871, 1999.

[16] Gottlieb S. Oehrlein, Thin Solid Films, Vol. 156, pp. 207, 1988

[17] H. Shinriki, M. Nakata, A. Nakao and S. Tachi, Extended Abstract of the 1991 International Conf. on Solid State Devices and Materials, pp. 198, 1991

## 저 자 소 개



### 김인성(金寅性)

1964년 10월 5일생  
1987년 한남대 물리학과  
1991년 경남대 대학원 전기공학(석사)  
관심분야: 유전체 및 전자기소자응용  
현재: 한국전기연구원 선임연구원

Tel : 055-280-1675  
Fax : 055-280-1590  
E-mail : kimis@keri.re.kr



### 송재성(宋在成)

1956년 8월 31일생  
1980년 서울대 금속공학과  
1982년 KAIST 전자재료(석사)  
1991년 KAIST 전자재료(박사)  
관심분야: 전자재료 및 전자기소자 응용

현재 한국전기연구원 책임연구원  
Tel : 055-280-1640  
Fax : 055-280-1590  
E-mail : jssong@keri.re.kr



### 윤문수(尹文洙)

1950년 6월 24일  
1973년 경북대 물리학과  
1975년 경북대 물리학(석사)  
1985년 일본 오사카대 전기공학(박사)  
관심분야: 전기재료 및 신소재  
현재 한국전기연구원 전문위원

Tel : 055-280-1015  
Fax : 055-280-1590  
E-mail : msyun@keri.re.kr



### 박정후(朴正后)

대한전기학회논문지 제 50권 6호 참조  
관심분야: PDP 유전체 및 디스플레이  
현재: 부산대 공대 전기전자통신공학부 교수  
Tel : 051-510-2369  
E-mail : parkch@hyowon.cc.pusan.ac.kr