

LCD소자용 MIM 다이오드의 특성연구

최광남[†] · 이명재 · 박성관 · 정관수 · 김동식*

경희대학교 전자공학과, *인하공업전문대
(논문접수일 : 2001년 7월 6일)

A Study on the MIM diode for LCD Device

Kwang Nam Choit, Myung Jae Lee, Sung Kwan Kwak, Kwan Soo Chung, and Dong Sik Kim*

Dept. of Electronic Engineering, Kyunghee University
**Dept. of Computer Engineering, Inha Technical College*
(Received July 6, 2001)

요 약

양질의 Ta₂O₅ 박막을 양극산화법으로 제작 할 수 있음을 보였다. 양극산화 직후 이 비정질 박막의 두께가 750 Å 일 때 굴절율은 2.1~2.2, 유전율은 25 이상 그리고 1 MVcm⁻¹의 전기장에서 누설전류가 10⁻⁸ Acm⁻² 이하인 우수한 전기적 특성을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 이 Ta₂O₅ 박막으로 MIM소자를 제작하였을 때, 완벽한 전류-전압 대칭성을 볼 수 있었다. 이러한 MIM소자는 새로운 방법의 양극산화법과 열처리 기법으로 만들 수 있는바 상위 전극의 종류와 열처리 조건에 따른 이 MIM소자의 특성에 관하여서 논의하였다.

주제어 : Ta₂O₅ 박막, 양극산화법, MIM소자

Abstract

High quality Ta₂O₅ thin films have been obtained from the anodization of deposited tantalum (Ta). The as-deposited amorphous films of 750 Å thickness have excellent electrical properties. These properties include refractive indices 2.1 ~2.2 dielectric constants ~25, and leakage currents <10⁻⁸ Acm⁻² at 1 MVcm⁻¹. We fabricated a MIM element with the Ta₂O₅ films. They have perfect current-voltage symmetry characteristics. A high performance MIM device was formed by newly developed processes based on our unique anodization and annealing treatment. The effects of various processing conditions (top-electrode metals, annealing conditions) on the MIM device performances will be extensively discussed throughout this work.

Key Words : Ta₂O₅ thin film, Anodization, MIM device

1. 서 론

액정 디스플레이는 디스플레이 형태에 따라서 투사형 LCD와 직시형 LCD로 나눌 수 있다. 투사형은 주로 대면적의 화상 디스플레이를 구현하기 위해

사용되며, 광원을 2차원의 화상 정보를 이용하여 제어하여 공간상에 배치된 스크린에 투사하거나 고 휘도의 영상이나 데이터 화면을 광학 장치를 이용하여 스크린에 확대 투사함으로써 대화면의 화상을 얻는 디스플레이 장치에 사용된다. LCD에서 나오는

[†] E-mail : flash517@hanmail.net

빛을 직접 보는 직시형 LCD는 투과형 (transmissive) 과 반사형 (reflective)으로 나뉜다. 투과형은 백라이트를 이용하여 나온 빛의 세기를 LCD 패널에서 조절하고, 반사형은 주로 자연광 및 주변의 빛이 LCD 패널에서 반사되어 화상이 형성된다.

LCD는 구동방식에 따라 전기적 구동 (electrically addressed) LCD와 광학적 구동 (optically addressed) LCD로 나눌 수 있다. 광학적 구동 LCD는 spatial light modulator가 한가지 예이며 광신호에 의해 LCD를 제어하는 것이다. 전기적 구동방식은 화소전극의 구동시 능동소자의 유무에 따라 수동행렬 (passive matrix) LCD와 능동행렬 (active matrix) LCD로 구분될 수 있다. 각 화소를 능동소자에 의해 제어하는 능동행렬 LCD는 단자의 수에 따라 2단자 (two terminal) 소자 LCD와 3단자 (three terminal) 소자 LCD로 구분된다. 2단자 소자는 주로 MIM (Metal-Insulator-Metal) 방식과 다이오드 방식이 사용되고 있다 [1,2]. 이러한 2단자 active matrix LCD의 장점은 제작하기가 TFT에 비하여 간편하고 순방향 전류가 크기 (1 mA 이상) 때문에 charging time을 짧게 할 수 있는 장점이 있다. 그러나 모든 다이오드의 특성이 균일해져야 되고 다이오드가 잘 파괴되는 등의 단점이 있다.

본 연구의 목적은 MIM-LCD가 가지는 전기적 특성을 조사한 것으로서, 기존의 소자와 비교하여 전류-전압(I-V)특성을 향상시키고, 그리고 실제 양산 단계에서의 낮은 공정단가를 이루기 위한 최적조건을 구하는데 있다.

2. MIM 구조의 LCD

2.1 MIM구조의 능동행렬소자

이 기술의 주요 아이디어는 MIM기법 (Thin Film Diode 기법으로도 불린다)을 사용하여 각 화소 아래에 있는 트랜지스터를 다이오드로 대체하는 것이다. 생산공정은 간단하며 저렴한 유리기판의 사용이 가능하고 400℃ 이하의 높지 않은 제조온도를 요구하기 때문에 생산비용이 TFT와 비슷하거나 낮지만, 비균질성 (non-uniform nature)이라는 커다란 문제점을 가지고 있다. 이러한 비균질성을 향상하기 위하여 양극산화법을 이용한 후 열처리공정을 거쳐

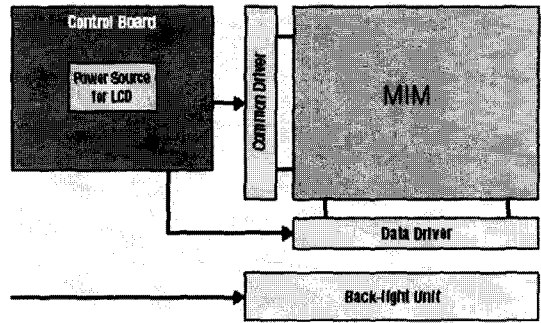


그림 1. 일반적인 MIM소자 LCD의 개요도.

소자를 제작하였다.

그림 1은 MIM소자를 이용한 LCD의 전체적인 모습이다. 2단자 소자로서 Data Driver와 Common Driver로 동작하며 나머지 구성은 일반적인 LCD와 동일하다.

2.2 MIM구조의 제작방법

MIM 기판의 제조 기술에서 MIM-Array를 형성하는 공정은 Silicon 반도체 제조공정과 유사하다. 즉, 박막증착 (Thin Film Deposition), Photo lithography, 식각 (Etching) 등의 공정으로 이루어져 있으며, 개개의 공정 전후에 결과 및 이상 여부를 확인하기 위한 검사와 청정도를 유지하기 위한 세정을 포함한다. 기판은 coming glass (1737)를 사용하였고 DC power를 가진 sputter로 Ar가스를 50 sccm 흘려주면서 200 W에서 10분간 Ta을 2000 Å 증착하였다. 이렇게 증착된 Ta film을 Photo Resist (PR) 코팅후 soft baking (90℃)후 노광하였다. 이후 110℃에서 hard baking한 후, 양극산화를 하여 Ta₂O₅를 750 Å 성장시켰다. 최적의 조건은 아래 표 1과 같다. Top electrode로는 Ti를 사용하였고 각 mask의 선 폭은 50 μm로 일정하다.

표 1. MIM제작 중 각 변수별 최적조건.

제작변수	범위
DC power Sputter	200 W
Ar gas 유량	50 sccm
양극산화(Ta ₂ O ₅ 두께)	48 V, 1 mA (750 Å)
Ta ₂ O ₅ 열처리온도	350℃

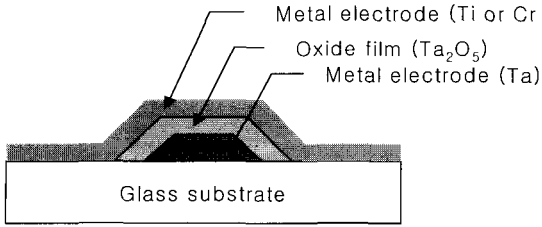


그림 2. MIM 구조의 단면그림.

Ta₂O₅막은 누설전류가 큰 것이 문제가 되고 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 최적의 Ta₂O₅막을 제조하는 몇 가지 방법이 시도되고 있다. Ta₂O₅막의 제조방법으로는 전자선 가열 증착법, 양극산화법 [1], RF 반응성 스퍼터링법, 열산화법 및 CVD (chemical vapor deposition)법 등이 있다. 본 실험에서는 비교적 정확하고 간단한 실험을 하기 위해 양극산화법을 사용하였다.

그림 2는 MIM소자의 단면구조이다. Ta₂O₅는 양극산화 과정을 거쳐 얻었고, Top electrode로는 sputtering으로 Cr이나 Ti를 사용해 보았다.

그림 3은 양극산화 장치의 구성도이다. 양극에는 유리기판 위에 패턴이 형성된 Ta 박막을 연결하고 음극에는 n-Si 기판을 연결하였다. 전해용액으로는 1wt%의 Ammonium tartrate solution을 사용하였다. 정전류 1.0 A/cm²을 인가할 때 1 V전압상승시 약 16 Å가량의 Ta₂O₅가 성장됨을 확인하였다. Ta₂O₅의 두께는 전압을 15 V부터 48 V까지 변화를 주면서 제작해 보았다. 이렇게 만들어진 Ta₂O₅ 박막의 굴절율은 2.1~2.2 이고 유전율은 25이상이다.

그림 4는 시편 제작시 광학현미경으로 시편의 표면과 mask를 PR 도포 후 패턴을 제작한 후 찍은 사진

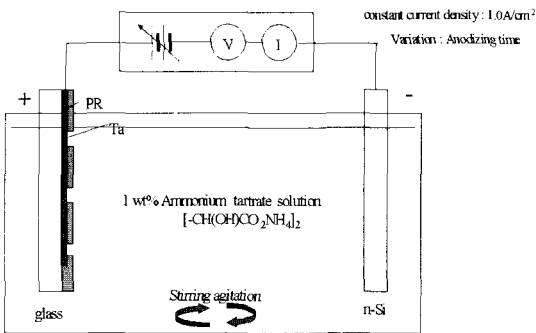


그림 3. 양극산화 장치 구성도.

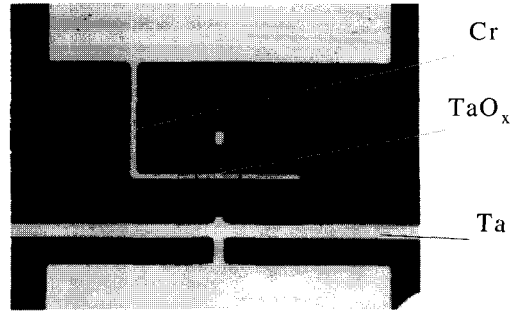


그림 4. 실제 제작된 MIM소자의 사진.

이다. Etchant의 농도에 따라 심각한 표면 손상을 일으킴을 발견하였다. 에칭시 etchant는 HF : H₂O : HNO₃의 비율은 2 : 5 : 3 으로 하였을 때 가장 좋은 조건임을 확인하였다.

Top electrode로 Ti를 사용할 때 etchant는 5% HF 수용액을 사용할 때 가장 좋은 결과를 나타낸다.

그림 5는 상위전극의 종류에 따른 I-V 그래프이다. Cr은 Ta과 비교해서 일함수 값이 차이가 많이

표 2. Ta, Ti 그리고 Cr의 일함수 값.

	Ta	Cr	Ti
일함수값	4.25 eV	4.5 eV	4.33 eV

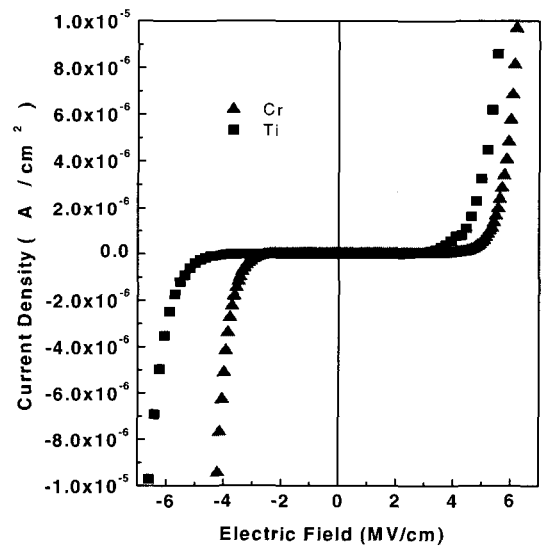


그림 5. 상위 전극이 Cr과 Ti 일 경우의 I-V 특성 곡선.

나서 완벽한 대칭성을 구현하는데는 어려운 점이 있다. 이런 이유로, 본 연구에서는 Ti을 top electrode로 사용하였다. Symmetry ratio는 열처리후에 거의 1에 가까운 값을 가지며 I-V특성은 positive로 아주 조금 shift된다.

2.3 MIM구조 소자의 전기적 특성

MIM-LCD 소자의 전류-전압 특성은 식 (1)의 Poole-Frenkel 식을 따른다.

$$\begin{aligned}
 j &= aV \exp(\beta\sqrt{V}) \\
 a &= \frac{n\mu q}{d} \exp\left(-\frac{\Phi}{kT}\right) \\
 \beta &= \frac{1}{kT} \sqrt{\frac{q^3}{\pi\epsilon_0\epsilon_{op}d}} \quad (1)
 \end{aligned}$$

여기서, j는 전류밀도 (A/m²), V는 인가전압 (V), n은 전하밀도, μ는 자유전자의 이동도, q는 전자의 전하, d는 절연막 (Ta₂O₅막) 두께 (m)이며, Φ도너레벨의 깊이, k는 볼츠만 상수이다 [2,3].

이 경우는 전하들이 insulator band gap 내의 불순물 level에 의하여 갇히게 되어 전도대로 전송 될 수 없다. Poole-Frenkel emission에서 불순물은 이온화된 donor로 간주된다. 이것이 전자들로 채워지면 defect center는 중성화되며, 전계가 걸리면 potential이 낮아지며 갇힌 전자들은 thermal activation 되어 탈출할 수 있다. 이때의 전류는 트랩사이로의 전자들의 도핑에 의한 것이다.

변형 Poole-Frenkel emission은 donor potential well 내에 트랩 되어 있는 전자의 insulator 전도대로의 양자역학적 tunneling도 포함된다. 이때의 I-V특성은 tunneling emission과 닮았다. Schottky emission과 다른 점은 image charge에 의한 것보다는 fixed charge에 의한 것이다 [4].

3. 실험 및 결과 고찰

3.1 양극산화법으로 제작된 MIM 소자

양극산화법으로 제작된 Ta₂O₅를 Insulator 층으로

갖는 MIM소자를 제작하였다. Ta/Ta₂O₅/Ti를 2000 Å /613 Å/2000 Å의 두께로 제작하였을 때, 이 소자가 어떠한 mechanism으로 작동하는지 알아보기 위해 다음과 같이 소자에 전계를 걸어 주었다. 소자 전체에 0~6 MV/cm의 전계를 걸었을 때, 그림 6과 같은 그래프를 얻을 수 있다.

그림 6은 MIM소자의 상위전극은 Ti이고, 진공중 150℃에서 2시간 열처리 한 후 전류값을 Log scale로 나타낸 그래프이다. 이를 2 MV/cm를 기준으로 저전계와 고전계로 나누면 다음과 같다.

그림 7은 y축의 전류값을 LN(J) scale로 나타낸 그래프로 전류-전압특성의 주요 mechanism은 Schottky emission을 따르는 것을 나타내는 것으로 2 MV이하의 저전계에서 Schottky 방정식에 일치하는 선형적인 모습을 나타내고 있다.

그림 8은 y축의 전류값을 LN(J/E)scale로 나타낸 그래프로 전류-전압특성이 2 MV이상의 고전계에서

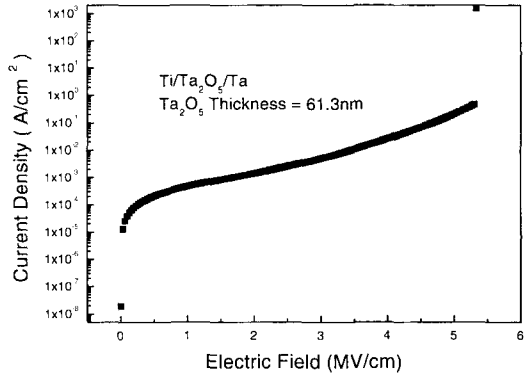


그림 6. 전계에 따른 전류-전압 특성.

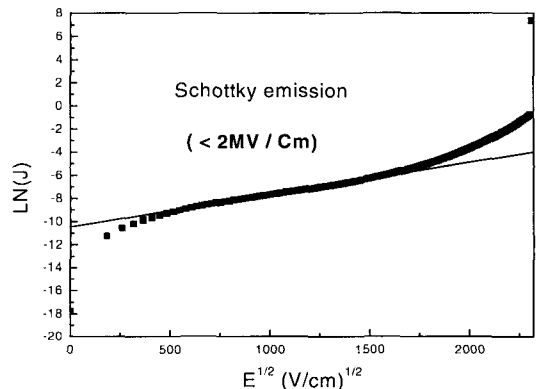


그림 7. (전계)^{1/2}에 따른 전류(LN(J))-전압 특성.

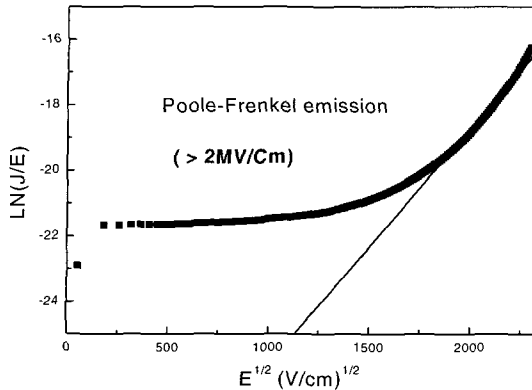


그림 8. $(\text{전계})^{1/2}$ 에 따른 전류(LN(J/E))-전압 특성.

는 주요 mechanism이 Poole-Frenkel Emission에 일치하는 선형적인 모습을 나타내고 있다.

3.2 제작된 MIM소자의 I-V(Current-Voltage) 특성

그림 9는 MIM소자의 Insulator 층인 Ta_2O_5 의 두께에 따른 I-V 특성을 나타낸 그래프이다. Ta_2O_5 의 두께가 두꺼울수록 더 좋은 양방향성 다이오드 특성을 가지는 것을 볼 수 있다.

그림 10은 Ta_2O_5 의 두께가 750 Å일 때 MIM 소자를 제작한 후 열처리를 해주었을 때 I-V 특성을 관찰한 그래프이다. Furnace에서 각 온도에 대하여 30분 열처리를 해주었을 때 나타나는 I-V 특성이다. 열처리 온도를 150°C 부터 450°C 까지 다양하게 해

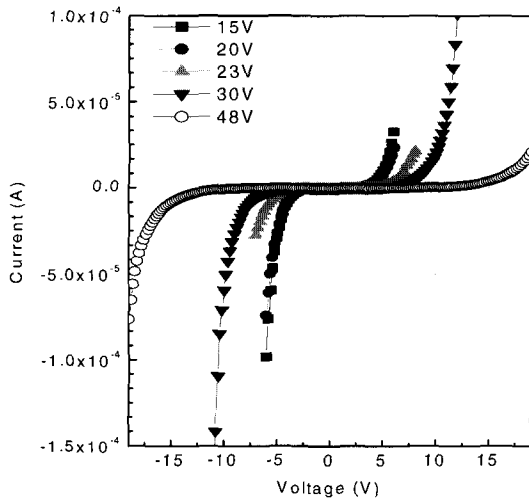


그림 9. Ta_2O_5 의 두께에 따른 I-V 곡선.

주었을 때 350°C일 때 가장 좋은 특성을 가지는 것을 볼 수 있었다.

그림 11은 Ta_2O_5 의 두께에 따른 turn on voltage, asymmetric ratio와 breakdown voltage 값을 비교한 것이다. Turn on voltage는 0 V를 기준으로 전압을 변화시켰을 때 전류가 ± 100 mA가 되는 전압값이고, asymmetric ratio는 구동전압값의 비를 절대값으로 나타낸다. Break down voltage는 소자가 파괴되는 전압값으로 전압을 상승시킬 때 전류가 갑자기 많이 흐를 때의 값으로 정하였다. Ta_2O_5 의 두께가 두꺼울수록 MIM 소자의 특성이 향상되는 것을 확인하였다.

그림 12는 열처리 온도별로 나타나는 Asymmetric ratio, turn on voltage와 breakdown voltage값을 비교한 것이다. 열처리 온도가 350°C일 때 가장 좋은 소자 특성을 가지는 것을 알 수 있다.

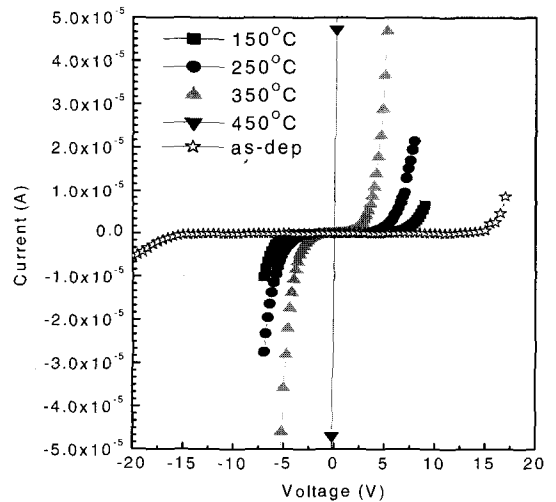


그림 10. 열처리후 MIM 소자의 I-V 특성.

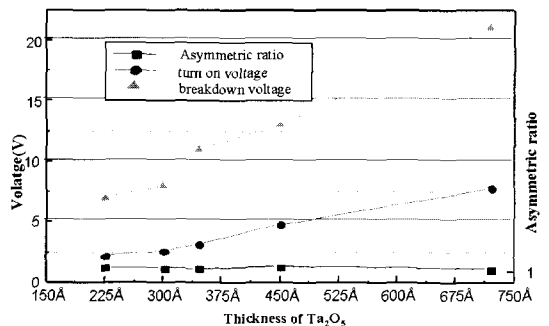


그림 11. Ta_2O_5 의 두께에 따른 소자 특성 비교.

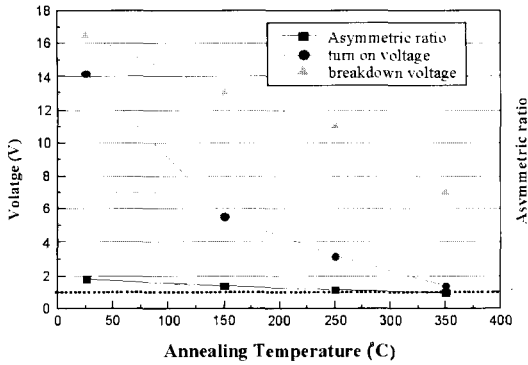


그림 12. 열처리 온도에 따른 소자 특성 비교.

4. 결 론

본 실험은 MIM 구조를 Ta/Ta₂O₅/Ti으로 만든 다음 전기적 특성을 살펴본 것이다. 광학현미경으로 살펴본 결과 표면에서는 양극산화 후 양질의Ta₂O₅가 만들어짐을 확인할 수 있었다. 동작 mechanism 및 전기적 특성은 I-V 측정결과로서 즉, 고전계와 저전계에 나뉘어 각각 Shottky emission과 Poole-Frenkel emission 함을 확인하였다. 또한 우수한 대칭성 양방향 소자로의 특성도 가지며, 350℃로 MIM 소자

전체를 열처리할 경우 소자특성이 더 우수해짐을 알 수 있다. 이때 전체적으로는 누설전류가 증가했지만 이는 Ta₂O₅ 계면사이의 전위장벽이 낮아져서 defect들이 사라짐을 의미한다. 즉 Ta₂O₅박막은 열처리후에 각 전극으로 확산이 일어나는 것을 의미한다.

이 MIM소자가 앞으로 기존의 트랜지스터를 대신할 2단자 소자로 사용된다면 공정과정을 줄일 수 있으며, 양극산화 과정으로 Ta₂O₅를 성장시키므로 제작비용도 크게 줄일 수 있을 것으로 예상된다. 또한, Ta 증착과 양극산화과정을 모두 실온에서 했다는 것은 향후 이 소자가 플라스틱 기판에 응용될 수 있다는 가능성을 보여주는 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Yasuhiro Nishioka, Hiroshi shinriki, and Kiichiro Mukai, *J. Appl. Phys.* **61**, (1988).
- [2] R. B. V. Eindhoven, *SID 95 Digest*, 7 (1995).
- [3] S. Herminghaus, D. Boese, D. Y. Yoon, and B. A. Smith, *Appl. Phys. Lett.* **59**, 1043 (1991).
- [4] T. Nitta, T. Ohmi, M. Otsuki, and T. Shibata, *J. Electrochem. Soc.* **139**, 922 (1992).