

대면적 AMLCD의 신호 지연 감소를 위해 Air-gap을 갖는 게이트-데이터라인 교차 구조

論文
48C-12-3

A Novel Air-Bridge Type Gate-Data Line Inter-Crossing to Reduce Signal Delay for Large Size AMLCD

朴辰雨*·姜智勳**·李旻哲*·韓民九***
(Jin-Woo Park · Ji-Hoon Kang · Min-Cheol Lee · Min-Koo Han)

Abstract - A new TFT-LCD panel with an air-bridge type gate to data line inter-crossing has been proposed and its characteristics have been measured. The proposed structure has air-gap between gate and data line inter-crossing. This air-bridge TFT-LCD panel has very small capacitance between gate and data line. The new panel structure achieves 9 times fast signal propagation compared with conventional panel, which enables to have enough design margin for 20-inch diagonal and larger size UXGA panel. We have examined thermal and mechanical durability of new panel to verify applicability for commercial AMLCD production. After TEOS and polyimide passivation, this panel withstood a thermal stress at 250 °C and a mechanical stress during the rubbing process.

Key Words : TFT-LCD panel, gate-data line inter-crossing, air-gap, signal delay characteristics, durability

1. 서 론

박막 트랜지스터(Thin Film Transistor ; TFT)를 이용한 능동 구동 액정 디스플레이(Active Matrix Liquid Crystal Display ; AMLCD)는 현재 노트북 및 개인용 컴퓨터의 모니터로서 크게 각광받고 있다[1]. 그러나, 고해상도의 AMLCD 패널은 크기가 커질수록 데이터 라인의 신호 지연 문제로 인해 고가의 고속 구동회로가 필요한 단점이 있어서[2] 이러한 문제를 극복하기 위하여 데이터 라인의 특성 개선에 관하여 많은 연구가 이루어지고 있다[3]. 그러나, 기존의 연구들은 주로 라인 자체의 저항 문제에 대해서만 초점을 두고 있으며, 산화막 유전율의 감소를 통한 용량 개선의 문제는 거의 다루지 않고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 게이트-데이터 라인간의 정전 용량을 감소시키는 방법을 통해 라인의 신호 지연 문제를 극복할 목적으로 TFT-LCD 패널의 게이트와 데이터 라인의 교차 영역에 air-gap을 갖는 새로운 구조를 설계, 제작하여 20인치 이상의 대면적 AMLCD 기술에 적용시켜 보았다. 제안된 패널은 라인간의 교차 영역에 있는 air-gap에 의해 용량 성분이 감소하여 기존의 TFT-LCD 패널에 비하여 9배 개선된 신호 전달 특성을 보인다. 제안된 구조의 기계적인 안정성을 파악하기 위하여 LCD 제조 시 일반적으로 행해지는 기

계적 리빙을 행하였고, 열적 안정성을 파악하기 위하여 고온에서의 열화 특성을 연구하였다. 또한 이러한 기계적, 열적인 안정성을 확보하기 위하여 두 가지 타입의 구조를 설계, 제작하였다.

2. Air-bridge type inter-crossing의 설계 및 제작

2.1. inter-crossing 구조의 제작 방법

일반적인 TFT-LCD 패널(4인치, XGA)의 구조와 신호 전달 측정 패턴을 그림 1에 나타내었고, 패널의 제작 과정과 완성된 구조의 단면 그림을 그림 2에 보였다. 그림 2-(a)는 air-gap을 갖는 새로운 구조의 제작 공정이고, 그림 2-(b)는

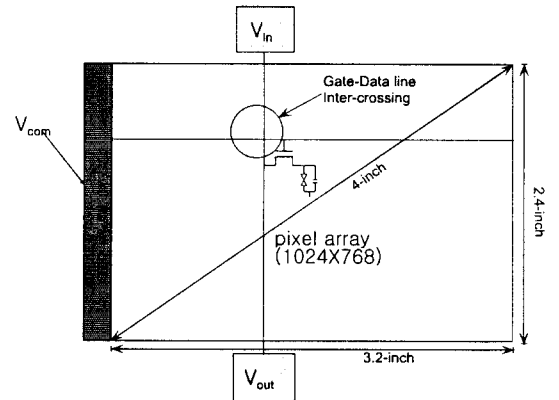


그림 1 4-inch diagonal TFT-LCD 패널(1024×768 XGA panel)의 개략도

Fig. 1 The schematic diagram of 4-inch diagonal TFT-LCD panel(1024×768 XGA panel)

*準會員 : 서울大 電氣工學部 碩士課程

**正會員 : LG電線 光·通信研究所 光素子研究室 研究員

***正會員 : 서울大 電氣工學部 教授·工博

接受日字 : 1999年 5月 31日

最終完了 : 1999年 11月 17日

기존 구조의 제작 공정이다. 먼저, 5000 Å 두께의 산화막이 형성된 실리콘웨이퍼 위에 게이트 라인을 형성하기 위하여 실리콘 기판에 7000 Å 두께의 알루미늄을 스퍼터링하고, 사진 식각 공정을 통해 패터닝하였다. 층간 절연막(ILO)을 형성하기 위하여 5000 Å 두께의 TEOS(Tetraethoxysilicon) 산화막을 증착하고 식각하였다. 이 단계까지는 기존의 공정과 같다. 이후 제안된 구조에서는 층간 절연막 위의 사진 감광막을 벗겨내지 않은 상태에서 데이터 라인을 형성하기 위한 3000 Å 두께의 알루미늄 막을 상온에서 evaporator를 이용하여 증착하고, 패터닝하였다. 이 때 남아있는 사진 감광막(1.2 μm)은 희생층으로 나중에 공기 갭 형성부가 된다. 마지막으로 산소 플라즈마를 이용하여 데이터 라인과 층간 절연막 위에 남아있는 사진 감광막을 동시에 제거하여 제안된 구조를 완성하였다(그림 2-(a)). 반면에 기존 구조에서는 층간 절연막 위에 데이터 라인을 직접 스퍼터링하고 패터닝하므로 두 라인 사이에 공기 갭이 생기지 않게 된다(그림 2-(b)). 이렇게 해서 완성된 구조는 게이트와 데이터 라인의 사이에 공기 갭(air-gap)을 가지게 되며, 산화막보다 유전율이 작은 이 공기 층이 데이터 라인과 게이트 라인간의 정전 용량을 감소시키는 역할을 한다. 본 연구에서는 패널의 제조 후 열과 기계적 스트레스에 대한 검증은 위하여 poly-imide만을 보호막으로 한 구조 및 TEOS 막과 poly-imide 막을 함께 입힌 구조의 두 가지로 제작하였다. 후자의 경우, Air-bridge의 기계

적인 스트레스에 대한 저항력을 확보하기 위하여 1 μm 두께의 TEOS 산화막을 증착하였고, 이러한 TEOS 산화막은 약 100 mTorr 정도의 진공도를 지니게 한다. 공기 층을 형성함에 따라 외부로부터의 열에 대하여 열팽창을 일으킬 수 있으므로, 온도 증가에 따라 poly-imide막에 어느 정도의 기포가 생기지는지를 진공을 형성하지 않은(즉, TEOS를 증착하지 않은) 경우와 비교해 보았다. poly-imide의 도포는 LCD 제조에 있어서 평판화 공정이나 러빙 등을 위하여 일반적으로 행해지는 공정이다.

2.2. 완성된 Air-bridge type 교차 구조의 이론적 고찰

본 연구에서 제안된 Air-bridge type의 구조를 패널의 게이트-데이터 라인의 교차 영역에 채용함으로써 얻을 수 있는 가장 큰 장점은 정전 용량 성분의 감소이다. 반도체 공정에 사용되는 실리콘 산화막이 가지는 상대 유전 상수가 3.9인데 반해 공기의 상대 유전 상수는 1이므로 air-gap을 갖는 교차 영역의 산화막은 일반적인 경우보다 훨씬 감소된 상대 유전 상수를 갖게 된다. 본 연구에서 사용된 사진 감광제인 AZ-1512 PR의 두께는 1.2 μm이므로 이를 식각한 후 얻어지는 공기 갭의 두께도 1.2 μm가 된다. 실리콘 산화막의 두께를 5000 Å, gate line과 data line의 선 폭이 각각 5 μm일 경우의 등가 용량을 기본적인 전자기학 이론을 사용하여 계산하면 다음과 같다. (그림 3 참조)

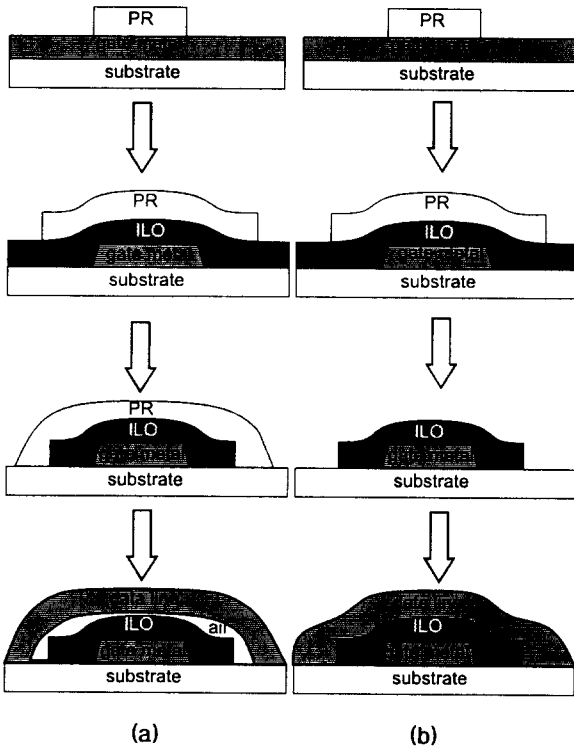
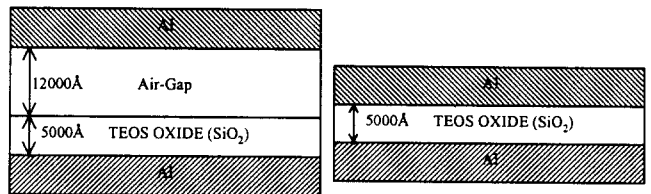


그림 2 Gate-data line의 inter-crossing 공정 순서도 (a) air-gap을 갖는 제안된 구조의 공정 순서 (b) 기존 구조의 공정 순서

Fig. 2 Fabrication process steps of gate-data line inter-crossing (a) Proposed structure with air-gap inter-crossing (b) Conventional structure



(a) 제안된 구조 (b) 기존의 구조

그림 3 등가 용량 계산을 위한 평판 capacitor의 단면도 Fig. 3 The cross-sectional view of parallel-plate capacitor for calculation of equivalent capacitance (a) Proposed structure (b) Conventional structure

표 1 게이트-데이터 라인간의 용량 계산에 필요한 상수값 Table 1 Constants for calculation of capacitance between gate-line and data-line

parameter	ϵ_0		ϵ_{air}	
value	8.85×10^{-18}		1	
parameter	ϵ_{SiO_2}	S	D	
value	3.9	$25 \mu m^2$	$1.2 \mu m$	

$$C_{air} = \epsilon_0 \times \epsilon_{air} \times \frac{S}{D} = 1.844 \times 10^{-16} (F) \quad (1)$$

$$C_{ox} = \epsilon_0 \times \epsilon_{SiO_2} \times \frac{S}{D} = 1.726 \times 10^{-14} (F) \quad (2)$$

따라서, 이들이 직렬로 연결된 등가 용량은

$$C_{eq} = \frac{C_{air} \times C_{ox}}{C_{air} + C_{ox}} = \frac{0.184 \times 17.26}{0.184 + 17.26} = 0.182(fF) \quad (3)$$

로 주어진다. 여기에서 C_{ox} 가 일반적인 경우의 라인 간 용량 성분이고, C_{eq} 가 제안된 구조의 용량 값이므로 대략 100배정도 용량 성분이 감소할 것으로 예상해 볼 수 있다. 또, 위에서 구한 용량으로부터 등가 상대 유전율을 계산해 보면,

$$\epsilon_{eq} = \frac{C_{eq}}{\epsilon_0} \times \frac{D}{S} \approx 1.40 \quad (4)$$

이 되어, 기존의 공기 갭을 갖지 않는 경우의 상대 유전율 3.9와 비교해 볼 때 상대 유전율이 훨씬 감소하였음을 알 수 있다. 따라서 제안된 구조를 채용함으로써 기존의 구조에 비하여 대폭 감소된 용량 성분을 갖게 됨을 확인할 수 있다.

3. Air-bridge type inter-crossing의 특성 분석

그림 4는 제작된 air-bridge 형 게이트-데이터 라인 교차 영역의 SEM (Scanning Electron Microscope) 사진이다. 그림 4를 통하여 게이트 라인과 층간 절연막 위에 air-bridge가 성공적으로 제작되었음을 확인할 수 있다. Poly-imide 보호막을 형성한 후 1시간 동안 250 °C의 열적 스트레스를 가한 air-bridge inter-crossing을 그림 5와 6에 보였다. 그림 5는 poly-imide passivation 공정을 행하기 이전에 TEOS 막을 증착한 경우이다. 이 경우에는 열적인 스트레스를 가해도 기포가 발견되지 않았다. 이는 100 mTorr에서 수행된 TEOS passivation으로 인해 air-bridge의 공기 층이 거의 진공상태가 되어 공기의 열팽창 문제를 없앨 수 있기 때문이다. 통상

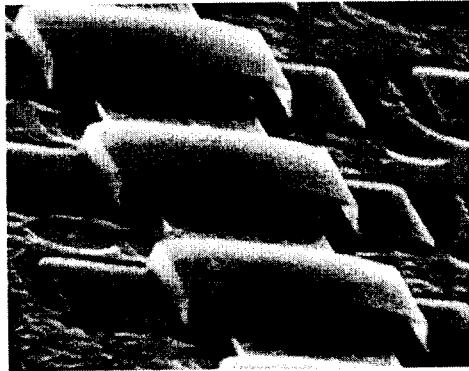
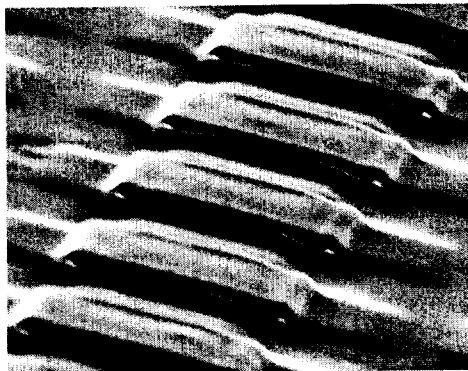
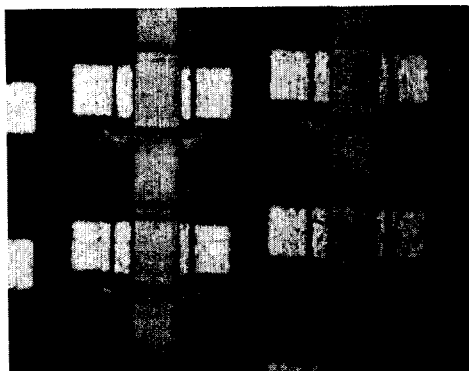


그림 4 완성된 구조의 SEM 사진

Fig. 4 The corresponding SEM image



(a) SEM 사진

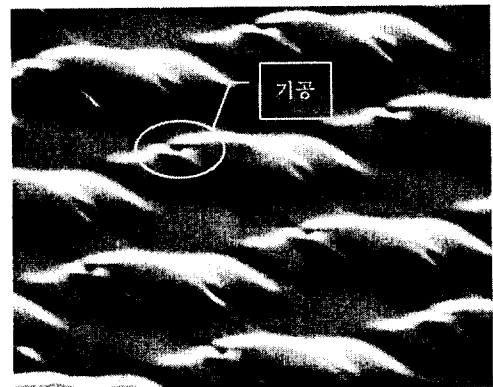


(b) 광학 현미경 사진

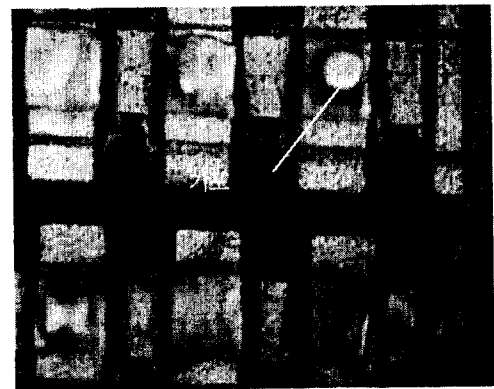
그림 5 Passivation oxide 형성 후, 열적인 스트레스를 가한 air-bridge 교차 구조

Fig. 5 Thermal stressed air-gap inter-crossing with passivation oxide

(a) SEM image (b) microscope image



(a) SEM 사진



(b) 광학 현미경 사진

그림 6 Passivation oxide를 형성하지 않고 열적인 스트레스를 가한 air-bridge 교차 구조

Fig. 6 Thermal stressed air-gap inter-crossing without passivation oxide

(a) SEM image (b) microscope image

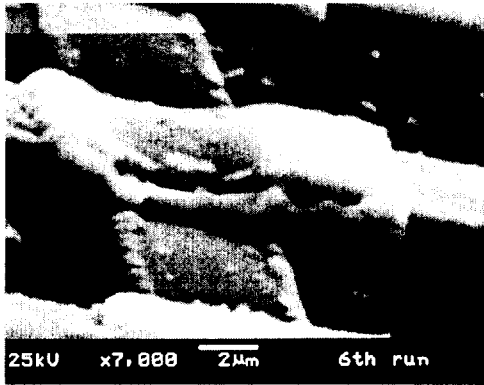


그림 7 Passivation oxide를 형성하지 않고 기계적인 스트레스를 가한 air-bridge 교차 구조

Fig. 7 Mechanical stressed air-gap inter-crossing without passivation oxide



그림 8 Passivation oxide를 형성한 후, 기계적인 스트레스를 가한 air-bridge 교차 구조

Fig. 8 Mechanical stressed air-gap inter-crossing with passivation oxide

LCD를 사용하는 온도의 범위를 $-30\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 라고 할 때 제안된 구조는 대량생산에도 충분히 응용 가능하다는 결론을 내릴 수 있다. 그러나, poly-imide passivation만을 행한 경우 (그림 6)에는 많은 기포가 발생하여 poly-imide 층이 붕괴되고, 액정이 공기 층에 침투할 수 있는 위험도가 높으며, 불균일한 표면 상태로 인하여 다음 공정을 진행하기가 어려워 상업적인 적용이 어렵다.

기계적 러빙을 행한 이후의 SEM 사진을 그림 7에 보였다. 그림 7은 TEOS passivation을 행하지 않은 경우이며 air-bridge가 심하게 내려앉은 사실을 확인할 수 있다. 그러나, TEOS + poly-imide passivation을 행한 경우에는 기계적 러빙으로 인한 파괴가 발견되지 않았다(그림 8). 위의 두 실험으로부터 TEOS passivation 층을 이용하는 것이 이 구조의 기계적이고 열적인 스트레스로부터 안정한 구조임을 결론 지을 수 있다.

본 연구에서는 4-inch diagonal 패널에 근사하기 위한 신호 전달 패턴을 설계하였다. 이 신호 전달 패턴은 1,125개의 게이트-데이터 라인의 교차 영역을 가지며, 라인의 총 길이는 6.444cm이다. 이는 4인치 UXGA 패널(1600×1200 Array)

에 근사하여 적용할 수 있는 구조이다. 제안된 패널 구조의 전기적 특성을 확인하기 위해 새로운 구조의 신호 전달 패턴과 기존의 공기 갭을 형성하지 않은 신호 전달 패턴에 각각 주파수 1MHz, 진폭 10V의 구형파를 인가하고 출력 신호를 Tektronix TDI 510A 로 측정하였다. 그림 9와 10에 그 측정 결과를 보였다. 그림 9에서 확인할 수 있듯이 제안된 구조에서는 기존의 신호 전달 패턴에 비하여 신호 지연이 크게 감소되었음을 확인하였다. 그림 10에서 보듯이 제안된 신호 전달 패턴에서의 신호 지연이 기존의 경우에 비하여 대략 1/9 정도로 감소된다.

4. 결론

본 연구에서는 air-gap을 갖는 gate-data line의 inter-

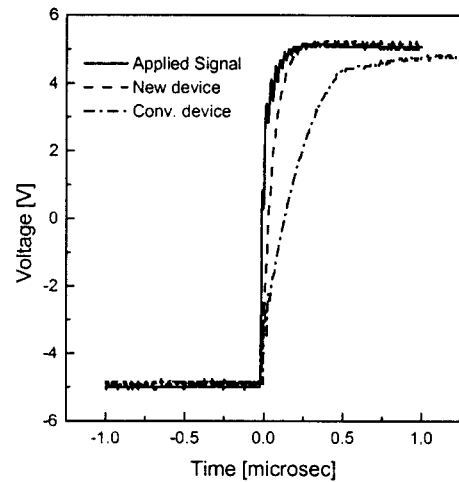


그림 9 제작된 inter-crossing에 $-5\text{ V} \sim 5\text{ V}$ 의 구형파를 인가한 후의 전달 특성 파형

Fig. 9 The delay signal wave form of fabricated inter-crossings applied -5 V to 5 V square wave

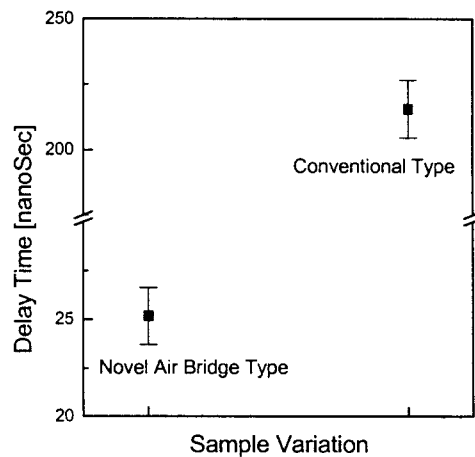


그림 10 제안된 구조의 패널과 기존 구조의 패널 비교

Fig. 10 The comparison between proposed air-bridge type and conventional inter-crossing

crossing 방법을 제안하고 제안된 구조의 신호 전달 패턴을 제작하였다. 이 새로운 구조는 두 라인 사이에 형성된 공기층의 낮은 유전율로 인하여 층간 산화막만을 이용한 기존의 구조에 비하여 두 라인 사이의 정전 용량이 감소하여 신호 전달 특성이 현저하게 개선된다. 또한 기계적이고 열적인 스트레스로부터 안정한 air-bridge를 만들기 위하여 TEOS 막을 이용하는 방법을 제안하였다. 제안된 구조는 기존에 단지 poly-imide passivation만을 행하던 경우에 비하여 우수한 열적-기계적 안정도를 확보할 수 있다. 이 구조를 이용한 패널은 기존의 패널에 비하여 9배 빠른 신호 전달 특성을 보인다.

참 고 문 헌

- [1] T. Shinomiya, M. Kawabata, N. Nagae, Y. Izumi, K. Fujimori, S. Fujiwata, M. Shiota, Y. Ishii and F. Funada, "A 40-in. diagonal direct view TFT-LCD by seamless connection technique", SID 97 Digest, p. 497, 1997.
- [2] K. Meinstein, C. Ludden, D. Spanjol, M. Hagge and S. Bily, "A Low- power high-voltage column/dot inversion drive system", SID 97 Digest, p. 391, 1997.
- [3] H. S. Seo, J. B. Choi, D. C. Yun, C. D. Kim and H. S. Soh, "Simple process of hillock-free Al-gate metalization without ITO/Al contact problems for large-area TFT-LCDs", SID 98 Digest, p. 375, 1998.

저 자 소 개



박진우 (朴辰雨)
 1976년 5월 14일 생. 1999년 서울대 전기공학부 졸업. 1999년~현재 동 대학원 전기공학부 석사 과정
 E-mail : jwpark@emlab.snu.ac.kr



이민철 (李旼哲)
 1975년 4월 20일 생. 1998년 서울대 전기공학부 졸업. 1998년~현재 동 대학원 전기공학부 석사 과정
 E-mail : mean@emlab.snu.ac.kr



강지훈 (姜智勳)
 1973년 4월 2일 생. 1997년 서울대 전기공학부 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학부 석사과정 졸업. 1999년~현재 LG전선 광통신연구소 광소자 연구실 연구원
 E-mail : jihoon@cable.lg.co.kr



한민구 (韓民九)
 1948년 7월 21일 생. 1971년 서울대 전기공학과 졸업. 1975년 University of Michigan, Electrical Engineering 석사, 1979년 Johns Hopkins University, Electrical Engineering 박사. 1984년~현재 서울대학교 전기공학부 교수

Tel : 880-7992, Fax : 883-0827
 E-mail : mkh@emlab.snu.ac.kr