

TFT-LCD용 TFT기판에서 저에너지 전자빔을 이용한 전기적 결함 검출 메카니즘 분석

오택식^{1*}, 김호섭¹, 김대욱¹, 안승준¹, 이건희²
¹선문대학교 공과대학 정보디스플레이학과
²LG디스플레이주식회사 생산기술센터 검사기술연구실

Analysis of the Electrical Defect Detection Mechanism using a Low Energy Electron Beam on the TFT Substrate for TFT-LCDs

Tae-Sik Oh^{1*}, Ho-Seob Kim¹, Dae-Wook Kim¹, Seungjoon Ahn¹ and Gun-hee Lee²

¹Department of Information Display, Sun Moon University

²Inspection Engineering Office, LG Display Co., Ltd.

요 약 TFT-LCD용 TFT기판 상에서 저에너지 마이크로 컬럼을 이용하는 전기적인 결함 검출 메카니즘을 분석하였다. 본 연구에서는 고진공 챔버 내에서 7인치 TFT 기판에 저에너지 전자빔을 주사하여 여러 가지 불량 화소에 대한 SEM 이미지를 획득하였다. 더불어 각각의 불량 화소에서 나타나는 현상과 전기적인 거동과의 연관성을 분석하여 검출 메카니즘을 해석하였다. 그 결과로서 저에너지 초소형 전자 컬럼을 이용하는 저에너지 전자빔에 의한 SEM 이미지는 전자간 반발효과에 크게 영향을 받는 일관성 있는 결과를 확인하였다.

Abstract We have analyzed the electrical defect detection mechanism using low energy microcolumn on the TFT substrate for TFT-LCD. In this study, we have acquired the SEM images of the various pixel defects for 7-inch TFT substrate by scanning of low energy electron beam in the high vacuum chamber. Furthermore, we have interpreted the defect detection mechanism through the correlations between the SEM images and electrical behaviors of the defective pixels. As a result, we obtained consistent results as the follows. We can confirm that the SEM images using low energy electron beam are significantly affected by the space charge effect.

Key Words : Low energy microcolumn, TFT-LCD, TFT substrate, Defect inspection

1. 서론

전자 컬럼(electron column)은 전자 현미경(electron microscope)에 주로 사용되어지는 주요 구성 요소로서 전자빔(electron beam)을 방출시켜 가속 및 집속 그리고 주사(scan)시키는 기능을 동시에 담당한다. 전자 현미경에서 가속 및 집속된 전자빔은 분석하고자 하는 시료의 표면에서 탐침(probe)의 역할을 한다. 이러한 기존의 전자 컬럼은 그림 1과 같이 길이가 300~1000 mm 정도이며 전자빔을 가속시키기 위해서는 500 V~30 kV 정도의 고전압이 인가되어진다. 이러한 기존의 전자 컬럼은 광학

현미경으로는 측정할 수 없는 영역이나 극미세한 부분을 측정할 수 있는 장점이 있기 때문에 반도체 소자(semiconductor devices)용 검사(inspection) 장비와 결함수리(defect repair) 장비 그리고 리소그래피(lithography) 장비 등에 활용되어지고 있다[1-3]. 그 뿐만이 아니라 전기적인 결함도 검출할 수 있기 때문에 디스플레이 소자(display devices)의 결함 검사 장비에도 활용되어지고 있다[4-7]. 그러나 이러한 기존의 전자빔 장비는 활용도가 높고 고가격임에도 불구하고 장비의 규모가 크고 생산성이 저조하기 때문에 일부 특수 용도로만 사용되어지고 있는 실정이다.

“이 논문은 한국연구재단의 기초연구사업(2010-0025276)과 LG디스플레이주식회사와의 공동 연구프로그램으로 수행되었음.”

*교신저자 : 오택식(ots99@sunmoon.ac.kr)

접수일 11년 02월 19일

수정일 11년 04월 06일

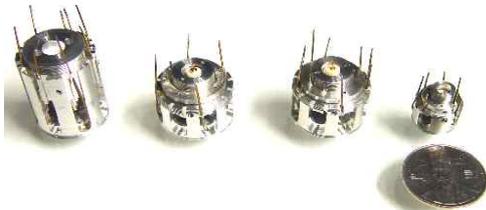
게재확정일 11년 04월 07일



[그림 1] 상용화되어져 있는 FEI사의 전자 컬럼

특히 TFT-LCD(thin film transistor liquid crystal display)나 AM-OLED(active matrix organic light emitting diode) 디스플레이 소자(display devices)의 제조공정에서 TFT 기판(substrate)의 검사장비로 활용하기 위해서는 TFT 회로의 손상을 최소화할 수 있는 저에너지의 전자 컬럼이 요구되어지고 있다. 그러나 기존의 전자 컬럼을 사용하고 있는 검사 장비에서는 10 ekV 정도의 고에너지 전자빔이 방출되어지기 때문에 시료의 손상(damage)을 방지하기 위해서 추가적으로 고전압 감속방식 등이 적용되어지고 있다[8,9]. 또한 실제로 상용화되어져 있는 기존의 전자 컬럼 방식의 측정방식은 주기적인 펄스 전압의 인가에 의해 발생되어지는 전자빔을 TFT 기판의 화소부에 순간적으로 조사시켜 결함의 유무를 전기적인 펄스 신호로 검출하는 방식이다[6].

본 연구의 저에너지 초소형 전자 컬럼(low energy microcolumn)은 실리콘 웨이퍼를 MEMS(micro electro mechanical systems) 기술로 미세 가공한 전극 부품들과 레이저를 이용한 초정밀 조립기술에 의해 기존의 전자 컬럼을 그림 2와 같이 약 10~30 mm 정도의 크기로 대폭 축소하였다. 또한 전자빔의 가속과 집속도 100 V~1 kV 정도의 전압으로 이루어지기 때문에 저에너지 전자빔을 이용하는 것이 특징이다[10-12].



[그림 2] 다양한 저에너지 초소형 전자 컬럼

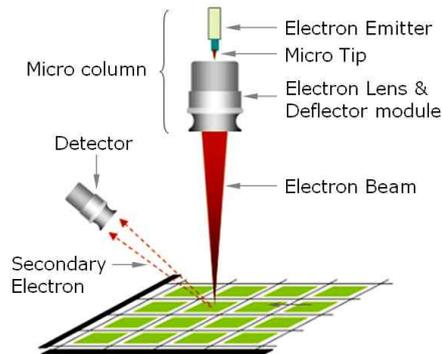
따라서 저에너지 초소형 전자 컬럼은 복수개의 전자 컬럼을 이용하여 멀티 어레이(multi-array) 형태로 제작할 수 있기 때문에 기존의 전자 컬럼 방식에서 문제시되는 장비 규모의 문제나 생산성 저조의 문제를 해결할 수 있

는 가능성이 높다. 또한 저에너지 전자빔으로 구동되어지기 때문에 디스플레이 소자에 손상을 거의 주지 않는 검사 장비를 구현할 수 있다[13,14]. 뿐만 아니라 본 연구의 검사 시스템은 개개의 단위화소에서 물리적인 결함이 전기적인 동작에 미치는 현상을 영상(image)으로 구현하는 방식이기 때문에 기존의 펄스 신호 검출 방식과는 전혀 다른 새로운 개념의 검사 방식이다[7].

본 연구에서는 상기의 저에너지 초소형 전자 컬럼을 이용하는 TFT-LCD용 TFT 기판의 화소 결함 검사에 있어서 다양한 불량 화소들에서 나타나는 현상들과 전기적인 동작특성과의 연관성 분석을 통해서 그 검출 메커니즘을 고찰하였다.

2. 검사 시스템의 구조와 측정 원리

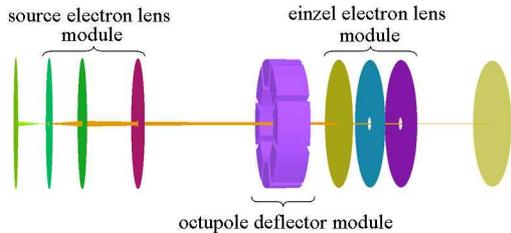
본 연구에 적용된 검사 시스템은 1 kV 이하의 가속전압으로 구동되는 초소형 전자 컬럼이 장착되는 컬럼 챔버(column chamber)와 12 인치급의 TFT 기판 시료가 들어갈 수 있는 메인 챔버(main chamber)로 구성되어 있다. 시스템의 상부에 위치하는 컬럼 챔버에는 안정적인 전자빔 방출을 위해서 초고진공(ultra high vacuum, 10^{-9} torr)을 유지하기 위한 개별적인 ion pump가 장착되어 있고, 메인 챔버에는 고진공(high vacuum, 10^{-7} torr) 상태를 유지하기 위한 별도의 진공펌프와 측정시료의 교환을 원활히 하기 위한 진공 차등구조가 설치되어 있다. 또한 이미징 구현을 위해서 측정시료에서 발생하는 2차 전자를 검출하기 위한 검출기(detector)가 부착되어 있다.



[그림 3] 초소형 저에너지 전자 컬럼의 구조

본 검사 시스템의 핵심 부품인 저에너지 초소형 전자 컬럼은 그림 3에서 보는 바와 같이 금속 와이어(metal wire)의 끝부분을 화학적으로 침예하게 에칭 가공한 마이

크로 팁(micro-tip) 형상의 에미터(emitter)와 이로부터 전자를 인출하여 전자빔의 크기를 제한시키기 위한 소스 전자렌즈 모듈(source electron lens module)과 전자빔을 편향시키기 위한 8중극 편향 전극 모듈(octupole deflector module) 그리고 전자빔을 집속시키기 위한 아인젤 전자렌즈 모듈(einzel electron lens module)로 이루어져 있다 [10-12]. 실제로 저에너지 초소형 전자 컬럼에 사용되는 8중극 편향전극 모듈과 전자렌즈 모듈의 모델링 구조를 그림 4에 나타내었다.



[그림 4] 8중극 편향 전극 모듈과 전자 렌즈 모듈

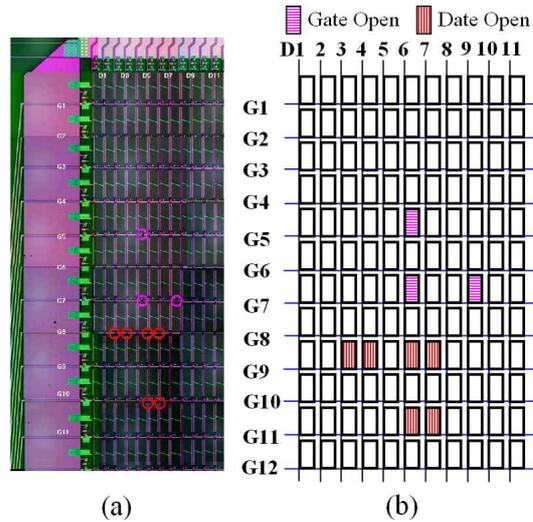
본 연구에 적용한 검사 시스템의 결함 검출 원리는 다음과 같다. 저에너지 초소형 전자 컬럼에서 방출되어 TFT 기판의 단위화소 전극에 집속되어지는 전자빔을 8중극 편향 전극 모듈에 의해 래스터 스캔(raster scan)방식으로 주사하여 각각의 단위화소(sub-pixel, cell) 전극에서 방출되는 2차 전자(secondary electron)를 검출기로 검출한다. 검출된 위치별 2차 전자의 양을 데이터 처리하여 단위화소의 특정부분에 있는 물리적인 결함이 전기적인 동작 특성에 미치는 현상을 영상으로 디스플레이하는 방식이다.

따라서 본 검사 시스템은 화소의 구조뿐만 아니라 결함의 유무나 결함의 종류에 따라 다르게 발생되어지는 2차 전자의 방출량을 검출하여 이미지 처리기법에 의해 영상으로 구현한다. 이는 SEM(scanning electron microscope)에서의 이미지 측정방식과 동일한 것으로 전자빔 측정방식에 의해 구현되어지는 영상을 voltage contrast image라고 하며 시료 표면의 형상을 측정할 수 있을 뿐만 아니라 TFT의 동작 상태에 따라 변화되어지는 다양한 정보를 추출해 내는 것이 가능하다.

3. 측정 시료

본 연구의 검사 시스템으로 TFT-LCD용 TFT 기판에서의 결함 검출 가능성을 실험하기 위해서 LCD 제조라인에서 7인치 시료를 발취한 후 레이저(laser) 장비로 그

림 5에 나타난 바와 같은 단선(open) 결함들을 임의로 형성시킨 후 그 위치들을 광학 현미경으로 확인하였다.



[그림 5] 7인치 TFT-LCD용 TFT 기판

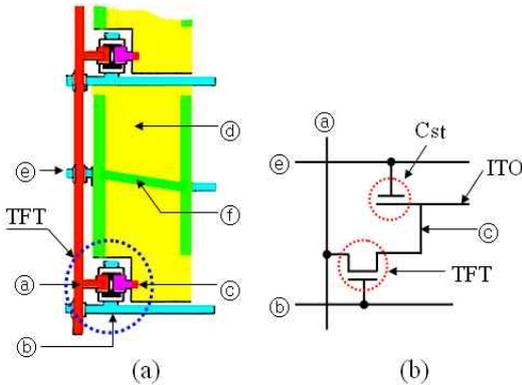
(a) 광학 현미경 사진

(b) 단선 결함 단위화소의 위치와 결함 형태 구분

그림 5(a)는 본 연구에서 사용한 TFT-LCD용 TFT 기판의 일부분을 광학 현미경으로 확대 촬영한 파노라마 사진을 나타낸 것이고, (b)는 단선 결함(short defect)이 있는 단위화소의 위치와 결함의 종류를 나타낸 것이다. 단위화소의 위치는 종방향으로 순차적으로 형성되어 있는 스캔 전극 라인(scan electrode line) 즉 게이트 전극 라인(gate electrode line)들과 횡방향으로 형성되어 있는 데이터 전극 라인(data electrode line) 즉 소스 전극 라인(source electrode line)들이 교차하는 위치로 나타내었다. 그 예로서 위에서 5번째의 스캔 라인과 좌측에서 6번째의 데이터 라인이 교차하는 부분을 [5,6]으로 나타낸다.

TFT 기판에서의 단위화소의 모식도를 그림 6에 나타내었다. TFT는 스위칭(switcing) 소자의 역할을 하는 액티브 소자(active device)로서 소스(source) 전극과 게이트(gate) 전극 그리고 드레인(drain) 전극으로 구성된다. 소스 전극은 영상 신호인 데이터 전압이 인가되는 데이터 전극 라인에 연결되며 게이트 전극은 스캔 신호 전압이 인가되는 스캔 전극 라인에 연결되고 드레인 전극은 단위화소 전극인 ITO(indium tin oxide) 전극에 바로 연결된다. 또한 이 단위화소 전극에는 축적용량(storage capacitor, Cst)이 병렬로 설치되어 있다. 이 축적용량은 유리 기판에 게이트 전극을 형성할 때 동일 재질로 금속 박막전극을 동시에 형성시키고 그 위에 게이트 절연체를

도포한 후에 단위화소 전극인 ITO 전극이 도포되면 부가적으로 형성되어진다.



[그림 6] 단위 화소의 모식도와 등가 회로도
(a) 단위화소 구조의 모식도 (b) 단위화소의 등가 회로도

- ① 데이터 전극 라인 ② 스캔 전극 라인
- ③ 드레인 전극 라인 ④ 화소전극(ITO)
- ⑤ 축적용량 전극 라인 ⑥ 축적 캐패시터(Cst)

게이트 전극에 문턱전압(threshold voltage) 이상의 전압(V_g)이 인가되면 수소화된 아몰퍼스 실리콘(hydrogenated amorphous silicon, a-Si:H)으로 형성된 활성 채널(active channel)과 게이트 절연체와의 경계면에 이동 가능한 캐리어(carrier)들이 축적되어진다. 이 상태에서 소스 전극과 드레인 전극 사이에 전압이 인가되면 캐리어들이 반대 극성의 전극으로 이동하게 되므로 결국 소스 전극에 인가되어진 영상 신호 전압이 드레인 전극을 통하여 ITO 전극에 인가되어진다. 이때 ITO 전극과 병렬로 연결되어 있는 축적 용량(Cst)에도 전압이 인가되어지므로 전하가 충전되어진다. 이 축적용량은 ITO 전극에 인가되는 영상 신호 전압을 1 프레임(frame) 기간 동안 유지시켜주는 기능을 한다.

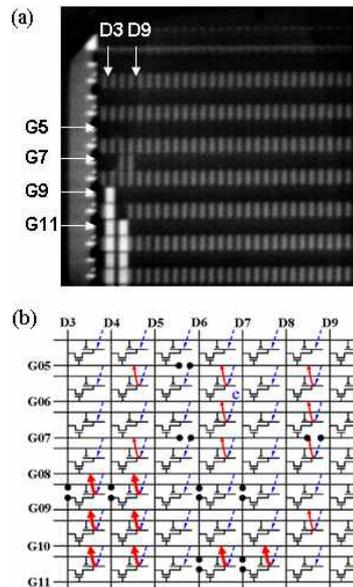
4. 측정 결과와 고찰

그림 5(a)와 같은 TFT 기판을 측정 시스템의 메인 챔버 내부에 장착하고 $10^{-7} \sim 10^{-8}$ torr 정도의 진공상태를 유지하면서 300 eV로 가속 및 집속시킨 저에너지의 전자빔을 주사시켜 기관 전면에서 방출되는 2차 전자를 검출하여 SEM 이미지를 구현하였다. 측정은 표 1에 나타난 M_1 , M_2 , M_3 , M_4 의 4가지 구동조건으로 실시하였다.

[표 1] TFT 기판의 결함 검출 구동전압 조건

구분	Gate [V_g]		Data [V_d]		Cst [V_c]
	odd	even	odd	even	
M_1	-5	20	G	F	-3
M_2	20	20	F	G	-3
M_3	-5	G	5	G	0
M_4	G	-5	G	5	0

* G: Ground / F: Floating

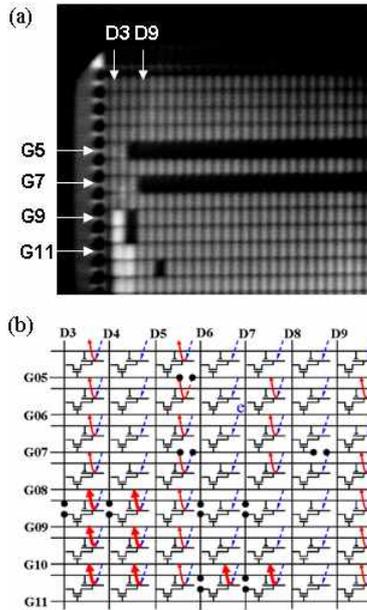


[그림 7] M_1 조건하에서의 SEM 이미지와 등가 회로도에서의 2차 전자 발생 모식도

그림 7(a)는 표 1의 M_1 의 조건으로 구동했을 때의 SEM 이미지를 나타낸 것이다. 그림 7(b)는 TFT 기판의 측정영역을 그림 6(b)에 나타난 단위화소의 등가 회로도로 연결하여 나타낸 것으로 각각의 단위화소에서 방출되는 2차 전자의 방출 상태를 모식적으로 나타낸 것이다. 여기서 파선 화살표는 저에너지 초소형 전자 컬럼으로부터의 1차 전자(primary electron)를, 실선 화살표는 시료에서의 2차 전자를, 실선의 굵기는 2차전자의 방출량을 각각 나타낸 것이다.

M_1 구동조건에서는 홀수번째 스캔 전극 라인에는 -5 V가 인가되어지고 짝수번째 스캔 전극라인에는 20 V가 인가되어지며, 동시에 홀수번째 데이터 전극 라인은 ground로 연결되어지고 짝수번째 데이터 전극 라인은 floating으로 처리하였다. 또한 축적용량 전극 라인에는 공통적으로 -3 V가 인가되어지고 있다. 그림 7(a), (b)에서 보는 바와 같이 결함의 위치와 결함 형태에 따라서 각

각의 단위화소에서 발생하는 2차 전자의 발생 정도가 상이한 형태의 이미지로 구현되어지는 것을 확인할 수 있다.

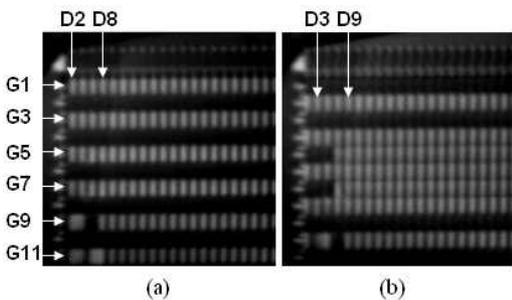


[그림 8] M₂ 조건하에서의 SEM 이미지와 등가 회로도에서의 2차 전자 발생 모식도

그림 8(a)는 표 1의 M₂ 조건으로 구동하여 측정된 SEM 이미지를 나타낸 것이고, 그림 9(b)는 측정시료의 등가회로도에서의 2차 전자의 발생 상태를 모식적으로 나타낸 것이다.

M₂ 구동조건에서는 모든 스캔 전극 라인에 20 V가 인가되어지며 홀수번째 데이터 전극 라인은 floating으로 처리되어지고 짝수번째 데이터전극 라인은 GND로 연결되어진다.

다음의 그림 9는 표 1의 M₃ 조건과 M₄ 조건으로 구동하여 측정된 SEM 이미지를 각각 나타낸 것이다.



[그림 9] (a) M₃ 구동조건 (b) M₄ 구동조건 에서의 SEM 이미지

그림 7에서부터 그림 9에 걸쳐 보는 바와 같이 동일한 TFT 기판일지라도 구동조건에 따라서 2차 전자의 발생 정도가 달라져 다른 형태의 SEM 이미지로 나타나는 것을 알 수 있다. 이러한 측정 결과를 분석해 보면 다음과 같이 요약하여 정리할 수 있다.

(1) 그림 6(b)와 같은 결함이 없는 정상적인 단위화소에서는 게이트 전극에 20 V의 전압이 인가된 상태에서 데이터 전극이 GND로 연결될 때에는 black 상태의 SEM 이미지가 나타나며, floating으로 처리될 때는 white 상태의 SEM 이미지로 나타나게 된다. 이는 게이트 전극에 문턱전압 이상의 (+)전압이 인가되는 경우에는 TFT의 활성 채널 영역 내에 (-) charge인 전자들이 유기되어 축적되어지기 때문이다. 그림 7의 [6,3]과 그림 8의 [6,4]와 같이 데이터 전극 라인이 GND로 연결되어지면 초소형 전자 컬럼으로부터 조사되어지는 전자빔에 의해 ITO 전극에 쌓이는 (-) charge의 영향으로 데이터 전극이 상대적으로 (+)극성화되어지므로 결국 채널내의 전자와 ITO 전극 위의 전자들은 데이터 전극라인 쪽으로 빠져나가게 된다. 이 경우와 같이 ITO 전극에 charging 현상이 발생하지 않는 경우는 전하간 상호 반발 효과(space charge effect)가 일어나지 않기 때문에 detector로 검출되는 2차 전자의 양이 감소하여 black 상태의 SEM 이미지로 나타나게 된다. 그러나 그림 7의 [6,4]와 그림 8의 [6,5]와 같이 데이터 전극이 floating 처리되어지는 경우는 채널내의 전자와 ITO 전극에 쌓이는 전자들이 빠져나가지 못하기 때문에 ITO 전극의 charging 효과로 인해 전자간 반발 현상이 발생하게 되므로 detector로 검출되는 2차 전자의 증가에 의해서 다양한 white 상태의 SEM 이미지로 나타나게 된다.

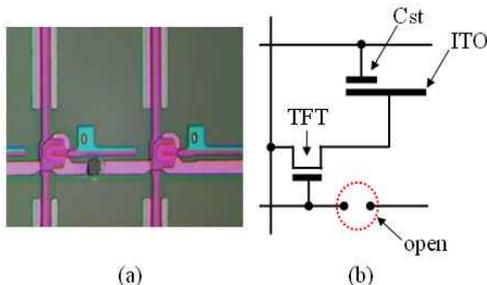
(2) 그림 7과 같이 결함이 없는 정상적인 TFT의 게이트 전극에 -5 V의 전압이 인가되어지는 경우, 홀수번째와 짝수번째 데이터 전극 라인이 GND와 floating으로 각각 교번하여 처리되어질 때는 양측 모두에서 black 상태의 SEM 이미지가 나타나게 된다. 이는 게이트 전극에 (-)전압이 인가되는 경우는 TFT의 채널에 존재하는 (+)charge인 소수의 정공(hole)이 유기되어지기 때문에 그림 7의 [5,3]과 같이 데이터 전극 라인이 GND로 처리되어지면 ITO 전극에 쌓이는 (-)charge의 전자들에 의해 화소 전극이 상대적으로 (-)극성화되어지므로 채널에 유기된 정공이 ITO 전극 쪽으로 이동하게 되므로, 결국 전자의 흐름이 ITO 전극에서 데이터 전극 쪽으로 일어나게 되어 ITO 전극의 charging은 발생하지 않기 때문에 black 상태의 SEM 이미지가 나타나게 된다. 또한 그림 7의 [5,4]와 같이 데이터 전극 라인이 floating 되어지는 경우에는 전류의 흐름은 발생하지 않지만 ITO 전극에 쌓이는 전자와 채널의 (+)charge가 상호작용하여 전기적으로 중화되어

지므로 이 경우도 ITO 전극의 charging은 발생하지 않기 때문에 black 상태의 SEM 이미지가 나타나게 된다.

(3) 그러나 그림 9와 같이 게이트 전극에 -5 V의 전압이 인가되어지는 경우에도 홀수번째와 짝수번째 데이터 전극 라인에 5 V 전압과 GND가 각각 교번하여 연결되어질 때는 5V측은 white 상태의 SEM 이미지로, GND측은 black 상태의 SEM 이미지로 각각 나타나게 된다. 이는 상기 (2)에서와 같이 TFT의 채널에 정공(hole)이 유기되어지기 때문에 데이터 전극 라인에 GND보다 높은 5V의 전압이 인가되는 경우에 채널측으로 정공이 주입되어지므로 채널내의 정공은 더욱 원활히 ITO 전극 쪽으로 이동하게 된다. 결국 ITO 전극에 조사되는 1차 전자는 정공의 흐름이 원활한 채널을 통하여 데이터 전극 쪽으로 빠져 나가게 되기 때문에 5 V측이 black 상태의 SEM 이미지로, GND 측이 White 상태의 SEM 이미지로 나타나게 된다.

(4) 그림 7과 그림 8에서 보는 바와 같이 스캔 전극 라인이 단선되어 있으면 그 단선 이후에 위치하고 있는 모든 단위 화소에서는 데이터 전극 라인에 GND와 floating으로 각각 교번하여 처리되어질 때도 양측 모두에서 black 상태의 SEM 이미지가 나타나게 된다.

이는 그림 10과 같이 스캔 전극 라인의 특정 부분이 단선된 것으로 그림 7에서 -5 V가 인가되는 스캔 전극 라인의 단위화소 [5,6]에서부터 단선되어진 단위화소들의 경우 절단부분에 전자빔이 조사되어지므로 인해 (-)charge의 영향을 받게 되어 단선된 이후의 스캔 전극 라인에도 (-)전압이 인가되어지는 경우로 볼 수 있으므로 상기 (2)번의 경우와 같이 해석할 수 있다. 또한 그림 8에서 스캔 전극 라인에 20 V가 인가되는 라인에 있는 단위화소 [5,6]이 단선되어져 있기 때문에 절단부분이 전자빔의 영향으로 (-)charge의 영향을 받게 되므로 단선된 이후의 스캔 전극 라인에는 20 V가 아닌 (-)전압이 인가되어진 경우와 동일하므로 상기 (2)번과 동일하게 해석할 수 있다.



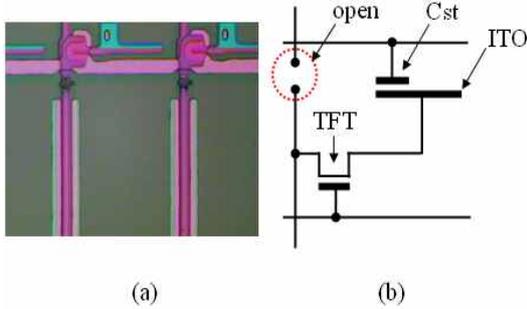
[그림 10] 스캔 전극라인의 단선 형태

(5) 그러나 그림 9와 같은 경우는 상기 (4)의 경우와는 확연히 다르게 나타나는 것을 볼 수 있다. (a)는 게이트 전극라인에 -5V가 인가되고 있는 것으로 단선부분에 전자빔이 조사되어지면서 단선 이후의 스캔 전극 라인에도 (-)전압이 인가되어지는 경우로 볼 수 있으므로 상기 (4)번의 경우와 같이 데이터 전극 라인이 GND로 연결된 단위화소들에서 white상태의 SEM 이미지로 나타난다. 또한 (b)에서는 게이트 전극라인에 GND가 연결되어 있지만 이 역시 단선부분에 전자빔이 조사되어지면서 (-)charge의 영향으로 채널에 정공이 유기되면서 단선 이후 데이터 전극 라인이 GND로 연결된 단위화소들에서 약간 약한 white상태의 SEM 이미지로 나타난다.

(6) 단위화소 [7,6]~[7,9]와 같이 스캔 전극 라인의 양단이 단선되어 있으면 그 사이에 위치하는 단위 셀들은 게이트 전압과는 무관하게 데이터 전극 라인이 ground로 연결되는 경우는 black상태로, 데이터 전극 라인이 floating되어 있는 경우는 white상태의 SEM 이미지가 나타나게 된다. 이는 특정 스캔 전극 라인의 양단이 단선되어진 것으로 단선된 양단 부분에 전자빔이 조사되어지기 때문에 그 절단된 스캔 전극 라인에 있는 게이트 전극들은 마치 단락(short)된 상태인 것처럼 동작할 수 있다. 따라서 스캔 전극라인에 -5 V가 인가되는 경우나 20 V가 인가되는 경우 모두 이 영역에는 영향을 미치지 않게 된다. 그러나 데이터 전극 라인이 ground로 연결되어지는 경우에는 채널에서 미소한 전류의 흐름이 발생하여 black 상태의 SEM 이미지가 나타나게 되며 데이터 전극 라인이 floating되는 경우는 전류의 흐름이 없어 ITO전극 상에 전자가 축적되어지게 되므로 white상태의 SEM 이미지가 나타나게 된다.

(7) 단위화소 [9,3]과 [9,4]와 같이 데이터 전극 라인이 단선되어 있으면 그 단선 이후에 위치하고 있는 모든 단위화소에서는 게이트 전압과 데이터 전압 상태와는 무관하게 모두 강하게 발광하는 white상태의 SEM 이미지가 나타나게 된다.

이 경우는 그림 11과 같이 데이터 전극 라인의 특정 부분이 단선된 것으로 데이터 전극 라인에 인가되는 전압조건에는 영향을 받지 않는다. 그러나 절단되어진 부분에 조사되어지는 전자빔의 영향으로 절단부 이후의 데이터 전극 라인에는 (-)전압이 인가되어지는 경우와 동일하게 고려할 수 있으므로 이것은 데이터 전극 라인이 floating 되거나 GND 처리되는 경우보다도 carrier에 미치는 영향력이 크게 된다.



[그림 11] 데이터 전극 라인의 단선 형태

따라서 게이트 전극에 20 V가 인가되는 경우는 채널에 전자가 유기되므로 ITO 전극에 쌓이는 전자들은 전혀 흘러나가지 못하고 계속 쌓이게 되므로 charging에 의해 강한 전자 반발 효과가 나타나게 된다. 또한 게이트 전압에 -5 V가 인가되는 경우는 채널에 정공이 유기되므로 초기에는 정공과 ITO 전극의 전자들이 상호작용을 하지만 (-)전압이 인가되고 있는 데이터 전극 라인으로부터 채널로 정공이 공급되지 않기 때문에 상호작용이 중단되어지므로 ITO 전극에 쌓이는 전자들은 더 이상 흘러나가지 못하고 계속해서 쌓이게 되므로 charging에 의해 강한 전자 반발효과가 발생하기 때문에 매우 밝은 white상태의 SEM 이미지가 나타나게 된다.

(8) 단위화소 [9,6]~[10,6] 그리고 [9,7]~[10,7]과 같이 데이터 전극 라인의 양단이 단선되어 있으면 그 사이에 위치하는 단위화소들은 게이트 전압과 데이터 전극라인의 연결 상태와는 무관하게 모두 black상태의 SEM 이미지가 나타나게 된다. 이 경우는 특정 데이터 전극라인의 양단이 단선되어진 것으로 단선된 양단에 전자빔이 조사되어지기 때문에 그 절단된 데이터 전극 라인에 있는 단위화소들의 소스 전극들은 마치 단락(short)된 상태인 것처럼 동작할 수 있다. 따라서 ITO 전극에 조사되어지는 전자들은 쌓이지 않고 계속해서 흘러 나가기 때문에 ITO 전극에서 charging에 의한 전자간 반발 효과는 발생하지 않으므로 black상태의 SEM 이미지가 나타나게 된다.

5. 결론

본 연구에서는 7인치 TFT-LCD용 TFT 기판의 단선 결함을 저에너지 초소형 전자 컬럼으로 검출하는 메커니즘을 분석하였다. 금회의 연구에 적용된 검사 시스템은 기존의 전자 컬럼을 적용하여 상용되어져 있는 펄스 신호 검출 방식과는 다른 개념으로 물리적인 결함이 전기

적인 신호 특성에 미치는 영향을 SEM 이미지로 검출하는 방식을 적용하였다. 검사 시스템에 적용된 저에너지 초소형 전자 컬럼은 100~300 eV 정도로 가속된 저에너지 전자빔이 프로브의 역할을 하므로 기존의 전자 컬럼을 사용하는 방식보다 측정 시료에 미치는 영향을 대폭 줄여줄 수 있을 뿐만 아니라 컬럼이 초소형이기 때문에 향후 멀티 컬럼 방식으로 적용하면 생산성 문제도 해결할 수 있는 장점을 가지고 있다.

본 연구의 저에너지 초소형 전자 컬럼의 메커니즘을 검토해 본 결과, 각 화소의 결함의 유무와 결함의 형태에 따라서 다른 형태의 SEM 이미지를 측정할 수 있었다. 따라서 각각의 불량 화소에서 나타나는 현상에 대해 전기적인 동작 특성과의 연관성을 분석하여 결함의 유무와 결함의 형태를 정확하게 분류해 낼 수 있었다. 또한 저에너지 전자빔을 이용하는 SEM 이미지의 구현 메커니즘은 공간전하 반발효과가 크게 영향을 미치는 것으로 해석할 수 있었다. 상기의 검토 결과, 실제의 제조공정에서 발생할 수 있는 다양한 단선 불량들의 위치나 형태를 정확히 식별해낼 수 있는 가능성을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] Y. C. Kim, D. W. Kim, S. Ahn, T. S. Oh, J. B. Kim, Y. S. Roh, D. G. Hasko, and H. S. Kim, "Inspection method for contact/via-holes using a low-energy electron microcolumn," *J. Vac. Sci. Technol. B*, 27(6), pp. 3208, 2009.
- [2] H. S. Kim, S. Ahn, D.W. Kim, Y.C. Kim, S. J. Ahn, "Photo-mask fabrication by low-energy microcolumn lithography," *Microelectronic Engineering*, 86, pp. 2049, 2009.
- [3] "Applied Materials Enhanced Aerial Imaging Technology Addresses 22nm Photomask Inspection Challenges," <http://www.businesswire.com/news/home/20100913005583/en/Applied-Materials-Enhanced-Aerial-Imaging-Technology-Addresses>.
- [4] J. C. Hunter, M. Brunner, R. Schmid, and F. Abboud, "Issues and Challenges Associated with Electrical Testing of Large LCD-TV Arrays," *SID Symposium Digest of Technical Papers*, Vol. 36(1), pp. 1800, 2005.
- [5] T. Tanaka, "Large Area Processing PECVD System," *Proc. of ASID'06*, 8-12 Oct, New Delhi, pp. 12, 2006.
- [6] "AKT Introduces AKT-40K EBT for Testing 7th

Generation Flat Panel Display Substrates," <http://www.physorg.com/news176.html>

- [7] Tae-Sik Oh, Dae-Wook Kim, Young Chul Kim, Seungjoon Ahn, Gun-hee Lee, H. S. Kim, "Inspection of open defects in a thin film transistor-liquid crystal display panel by using a low-energy electron micro-column," J. Vac. Sci. Technol. B 28, pp. C6C69, 2010.
- [8] H. S. Kim, D. W. Kim, S. J. Ahn, Y. C. Kim, S. S. Park, K. W. Park, N. W. Hwang, S. W. Jin and S. Y. Bae, "Feasibility study of TFT-LCD array tester using low voltage micro-columns," Microelectronic Engineering, Vol. 85(5-6), pp. 782, 2008.
- [9] H. Weigand, S. Gautsch, W. Strohmaier, M. Fleischer, U. Staufer, N.F. de Rooij, D.P. Kern, "Microcolumn design for a large scan field and pixel number," J. Vac. Sci. Technol. B, 27(6), pp. 2542, 2009.
- [10] E. Kratschmer, H. S. Kim, M. G. R. Thomson, K. Y. Lee, S. A. Rishton, M. L. Yu, S. Zolgharnain, B. W. Hussey, and T. H. P. Chang, "Experimental evaluation of a 20×20mm footprint microcolumn," J. Vac. Sci. Technol. B 14, pp. 3792, 1996.
- [11] E. Kratschmer, H. S. Kim, M. G. R. Thomson, K. Y. Lee, S. A. Rishton, M. L. Yu, and T. H. P. Chang, "An electron-beam microcolumn with improved resolution, beam current, and stability," J. Vac. Sci. Technol. B 13, pp. 2498, 1995.
- [12] C. Stebler, T. Pfeffer, U. Staufer, and N. F. de Rooji, "Microfabricated double layer octupoles for microcolumn applications," Microelectronic Engineering 46, pp. 401, 1999.
- [13] T. H. P. Chang, M. G. R. Thomson, E. Kratschmer, H. S. Kim, M.L. Yu, K.Y. Lee, S. A. Rishton, B. W. Hussey, and S. Zolgharnain, "Electron-beam micro-columns for lithography and related applications," J. Vac. Sci. Technol. B 14, pp. 3774, 1996.
- [14] H. S. Kim, D. W. Kim, S. J. Ahn, S. S. Park, M. H. Seol, and Y. C. Kim, "Multi-Beam Microcolumns Based on Arrayed SCM and WCM," J. of Korean Phys. Soc. 45(5), pp. 1214, 2004.

오 태 식(Tae-Sik Oh)

[정회원]



- 1985년 2월 : 성균관대학교 전자공학학과 (공학사)
- 1990년 8월 : 경희대학교 산업정보대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2005년 8월 : 성균관대학교 나노과학공학과 (공학박사)
- 1984년 12월 ~ 2003년 7월 : 삼성 SDI 중앙연구소 수석연구원
- 2003년 7월 ~ 2006년 2월 : 삼성종합기술원 디스플레이 Lab 전문연구원
- 2006년 3월 ~ 2009년 2월 : 선문대학교 전자공학부 부교수
- 2009년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 정보디스플레이학과 부교수

<관심분야>

전자렌즈 설계 및 전자빔 응용기술, 디스플레이 소자 구조 해석 및 설계 기술, 디스플레이 특성 평가 기술

김 호 섭(Ho Seob Kim)

[정회원]



- 1984년 2월 : 인하대학교 물리학과(이학사)
- 1986년 12월 : 미국 미조리주립대학교 물리학과 (이학석사)
- 1992년 5월 : 미국 미조리주립대학교 물리학과 (이학박사)
- 1992년 5월 ~ 1996년 10월 : 미국 IBM Watson Research 연구소, 연구원
- 1999년 2월 : Etec System, Inc 전자빔 리소그래피 설계/제작 팀장
- 1999년 2월 : 선문대학교 신소재과학과 교수
- 2007년 3월 ~ 2009년 4월 : 영국 Cambridge 대학 방문교수
- 2009년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 정보디스플레이학과 교수

<관심분야>

전자빔 리소그래피, 멀티전자빔 기술, 반도체 및 디스플레이용 전자빔 MI 및 디스플레이 장비 기술

김 대 옥(Dae-Wook Kim)

[정회원]



- 1984년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (공학사)
- 1988년 12월 : 서울대학교 물리학과 (이학석사)
- 1992년 2월 : 서울대학교 물리학과 (이학박사)
- 1992년 3월 : 선문대학교 물리학과 교수

- 1999년 2월 : 선문대학교 신소재과학과 교수
- 2009년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 정보디스플레이학과 교수

<관심분야>

레이저 스펙트로스코피, 반도체, 나노과학

이 건 희(Gun-Hee Lee)

[정회원]



- 1993년 2월 : 경북대학교 공과대학 전기공학과 (공학사)
- 1993년 2월 ~ 현재 : LG Display 생산기술센터 검사기술연구실 수석연구원
- 2009년 3월 ~ 현재 : 경북대학교 대학원 모바일통신공학과

<관심분야>

Display 제조공정 및 장비기술, Display 결함검사 알고리즘, Laser 미세가공기술, 전자빔 응용 기술

안 승 준(Seungjoon Ahn)

[정회원]



- 1985년 2월 : 경북대학교 자연과학대학 물리학과 (이학사)
- 1989년 2월 : 한국과학기술원 물리학과 (이학석사)
- 1993년 2월 : 한국과학기술원 물리학과 (이학박사)
- 1989년 2월 ~ 1997년 2월 : 삼성전자 반도체연구소 선임 연구원

- 1997년 3월 : 선문대학교 물리학과 교수
- 1999년 2월 : 선문대학교 신소재과학과 교수
- 2009년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 정보디스플레이학과 교수

<관심분야>

반도체 공정 및 장비기술, 레이저 Annealing, 레이저 미세가공, 전자빔 기술, 접지기술