

CRT의 Spot-knocking 공정에 있어서 몰리브덴 팁 전계 방출 소자 냉음극의 고장 형태 분석

論 文
50C-8-9

Failure Mode Analysis of Mo-tip FEA Cold-Cathode in CRT Spot-knocking Process

朱炳權* · 金勳* · 朴鍾元* · 金南帥** · 金東皓*** · 李允熙*

(Byeong-Kwon Ju · Hoon Kim · Jong-Won Park · Nam-Soo Kim · Dong-Ho Kim · Yun-Hi Lee)

Abstract - Failure modes of Mo-tip FEA were investigated in detail as a preliminary study for the application of Mo-tip FEA to the CRT electron-gun as a cold cathode. It was identified that the destruction of Mo-tip FEA was originated from the reflowing of arc-current during the spot-knocking process followed by secondary arc between gate electrode and cathode substrate. In order to prevent Mo-tip FEA from destruction due to arc-current, two kinds of methods were suggested, that is, one is to provide the by-pass of the reflow current and the other is to install a current limiter in the path of gate connection line.

Key Words : CRT, Spot-knocking, Mo-tip FEA, a reing current, failure mode

1. 서 론

CRT (Cathode-Ray Tube)의 전자총에 있어서 열음극 (thermionic cathode) 대신에 Mo-tip FEA (Molybdenum-tip Field Emitter Array)를 냉음극 (cold cathode)으로써 적용하기 위한 실험 및 결과는 앞서 보고된 바 있으며, 이를 통하여 Mo-tip FEA를 이용한 냉음극 전자총의 동작 특성을 확인하였다[1]. 본 연구에서는 진공 배기, 봉지가 완료된 CRT에 대해 'spot-knocking' 공정을 수행하는 동안에 Mo-tip FEA 소자가 손상되는 현상을 집중 분석하여, 그 치유책 마련을 위한 해결을 모색하고자 한다.

Spot-knocking이라 함은 수~수십 kV에서 동작하는 CRT의 내부에서 임의로 발생할 수 있는 전극간 방전 (inter-electrode arc)이나 플래시오브 (flashover)를 사전에 방지하기 위하여, 진공 배기, 봉지 후에 고의로 강한 펄스전압 (pulsed voltage)을 인가하여 강제 방전을 유도함으로써 CRT 내부의 오염물이나 미세한 돌출부를 제거하는 공정을 말한다. 기존의 열음극은 이러한 과정에 적용할 수 있도록 설계, 제조되었으나, Mo-tip FEA 냉음극의 경우 소자의 구조적 측면에서 볼 때 강한 방전 등에 손상될 우려가 높으며, 따라서 'spot-knocking'에 의한 고장형태 (failure modes)를 분석할 필요가 있다.

2. 테스트용 시편의 제작

본 실험에 사용된 CRT의 냉음극 전자총용 Mo-tip FEA의 규격에 대해서는 앞서 보고된 바 있으며, 조립된 Mo-tip FEA의 구조 및 모양을 그림1에 나타내었다[1].

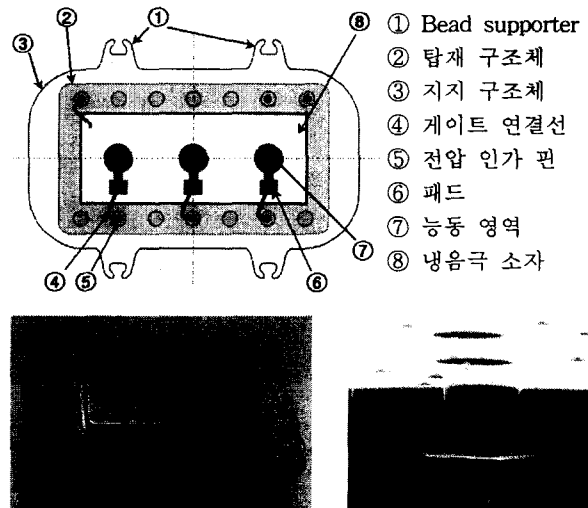


그림1. Mo-tip FEA 냉음극의 구조
 Fig.1. Structure of Mo-tip FEA cold-cathode

이를 이용하여 spot-knocking 과정에서 가능한 모든 영향을 분석할 수 있도록 그림2에 보인 바와 같이 여러 가지 경우의 수를 취하였다. 즉, 그림2(a)에 보였듯이 전자총에 있어서 Mo-tip FEA에 인접한 G1 전극과 G2 전극의 유무를 대상으로 하였고, 그림2(b)와 같이 Mo-tip FEA의 전자 방출

* 正 會 員 : KIST 情報材料素子研究센터 先任研究員 · 學生研究員 · 責任研究員

** 正 會 員 : 忠北大 電氣電子 및 컴퓨터工學部 副教授

*** 正 會 員 : 嶺南大 物理學科 副教授

接受日字 : 2001年 3月 26日

最終完了 : 2001年 6月 7日

부에 대해서는 게이트 패턴이 없는 경우, 게이트 전극의 패턴만 형성된 경우, 게이트 전극 및 절연막의 패턴이 형성된 경우, 그리고 완성된 소자에 대해서, 그림2(c)와 같이 Mo-tip FEA의 음극부에 대해서는 게이트 연결선 (gate wire)의 유/무를 대상으로 하였다. 이러한 테스트용 시편들을 전자총에 탑재하였는데, 탑재 과정은 앞서 보고한 바 있으며[1], 완성된 Mo-tip FEA 전자총의 구조와 모양을 그림3에 보였다.

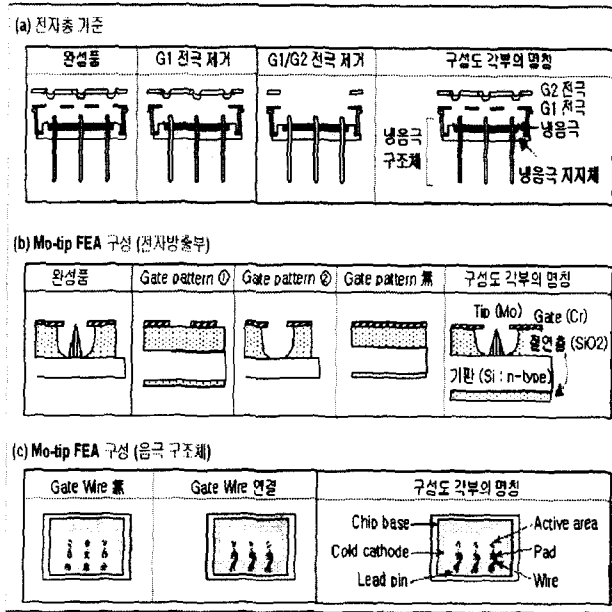


그림2. 시편의 준비

Fig.2. Sample preparation

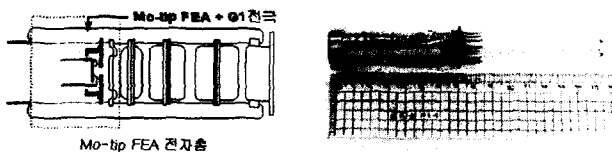
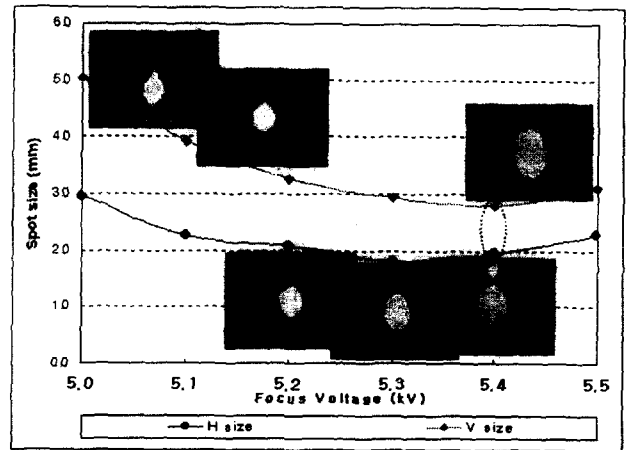


그림3. Mo-tip FEA가 탑재된 전자총의 구조

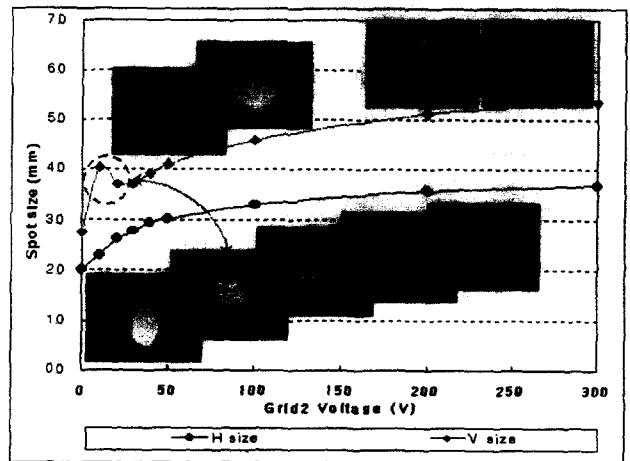
Fig.3. Structure of the Mo-tip FEA-mounted electron gun

Mo-tip FEA를 적용한 전자총이 삽입된 CRT에 대해 spot-knocking 이전에 기본적인 동작 여부를 평가하였다. 즉, 포커스 전극 (focus electrode)에 인가되는 전압을 5.0kV~5.5kV로 변화시키면서 화면상에 나타나는 spot의 수직 및 수평 크기를 측정된 결과, 그림4(a)와 보인 것과 같이 Mo-tip FEA를 적용한 전자총에 있어서 포커스 전극은 정상적인 기능을 발휘함을 확인할 수 있었으며, 포커스 전압이 5.4kV 부근일 때 spot의 크기가 최소로 됨을 알 수 있었다. 또한, Mo-tip FEA를 적용한 CRT용 전자총의 경우 전자빔 형성영역인 삼극부에서 크로스오버 (cross-over)점을 형성하지 않으며, Mo-tip 끝단에서 방사된 전자빔은 발산한다. 그러므로 그림4(b)에서 가속전극인 G2 전극에 인가하는 전압 (이하 G2 전압이라 함.)과 화면상에 나타나는 spot 크기의 관계를 관찰하여 G2전압에 의한 전자빔 발산 정도를 확인하였으며, 그

결과 G2 전압이 증가함에 따라 spot의 100V 이상에서는 포화치에 접근함을 알 수 있다.



(a)



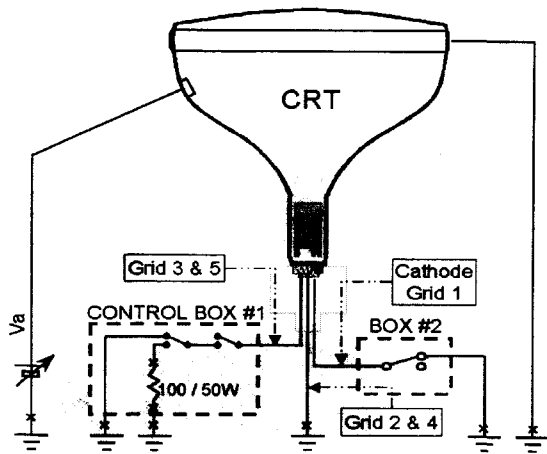
(b)

그림4. 포커스 전압(a)과 그리드2 전압(b)에 따른 전자 빔 spot 크기의 변화

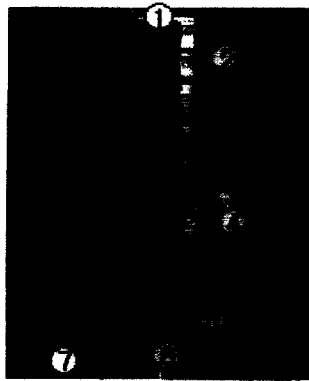
Fig.4. Dependence of e-beam spot size on focus voltage(a) and grid2 (G2) voltage(b)

3. Spot-knocking 공정

전자총에 탑재 완료된 시편들은 일반적인 공정을 통하여 CRT 내에 삽입되어 배기 후 봉지된다. 최종 완성된 CRT를 그림5(a)에 보인 바와 같은 spot-knocking system에 장착하였으며, 양극 전압 (Va)을 35~70kV에서 변화시켰으며, 주기는 11초, duty ratio (pulse-on time/pulse-off time)는 10으로 설정하여 양극전압/펄스 인가 횟수가 35kV/3회, 35kV/3회, 40kV/4회, 45kV/3회, 50kV/3회, 55kV/3회, 57kV/4회, 60kV/4회, 62kV/4회, 64kV/4회, 64kV/3회, 66kV/4회, 68kV/3회, 70kV/2회, 등이 되도록 하였다. Spot-knocking 과정에서 아크 (arc)가 발생하는 부위를 그림5(b)에 나타내었는데, 주로 neck 전역에 걸쳐 아크가 발생하며, 특히 전극 간격이 짧은 G1 전극과 G2 전극 사이에서 많이 발생하였다.



(a)



(b)

No.	발생 부위
1	내장흑연 끝단
2	G6 - G5A 間
3	G3 - G2 間
4	G1 - G2 間
5	Connector & stem pin 間
6	Stem pin 間
7	Socket 내부

그림5. Spot-knocking 평가를 위한 시스템 구축(a) 및 아크 발생 영역(b)

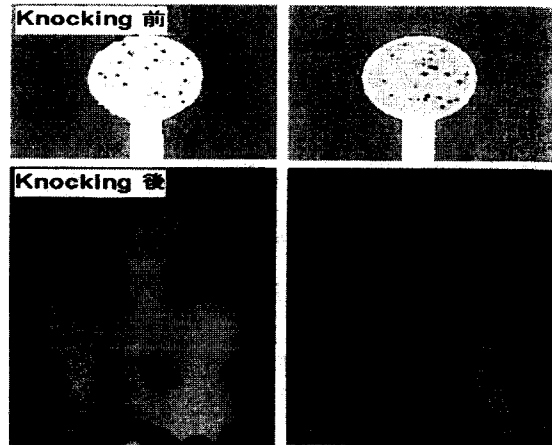
Fig.5. System set-up for spot-knocking test(a) and arc-generating regions(b)

4. 고장형태 분석

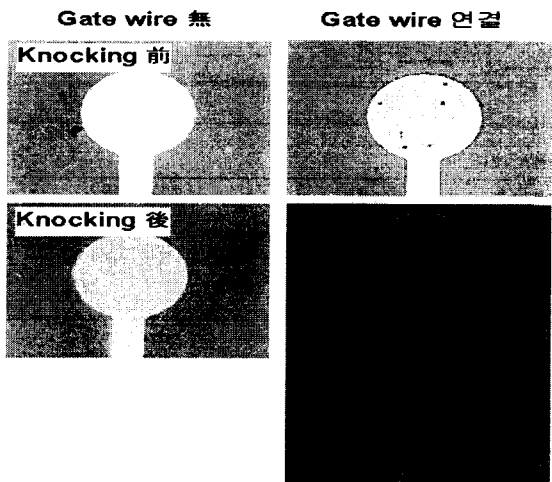
그림6은 spot-knocking 전과 후의 Mo-tip FEA 소자의 전형적인 예를 보인 것이며, spot-knocking 이전에 능동 영역에 형성되어 있는 미소한 파괴는 성능 검사를 위하여 CRT에 장착하기 이전에 진공 챔버(chamber) 안에서 전계 방출 특성을 평가하는 과정에서 비롯된 것이다. 그림6(a)는 양극 전압을 50kV와 70kV로 하였을 경우로 소자의 파괴는 능동 영역과 패드에서 일어나며, 양극 전압이 높을수록 소자의 파괴 정도가 심하다는 점을 알 수 있다. 그림6(b)는 게이트 연결선의 유/무에 따른 소자의 파괴 정도를 비교한 것으로 게이트 연결선이 없을 경우 소자의 파괴가 진행되지 않고 있다.

그림7은 spot-knocking 후에 Mo-tip FEA의 능동 영역과 패드 부분, 그리고 게이트 연결선이 wire bonding된 핀 부분을 확대한 것이다. 그림7(a)의 능동 영역을 살펴보면, 자체치유형(self-healing mode)이 아닌 전파형(propagation mode)으로 넓은 영역에 걸쳐 파괴되는 것을 알 수 있다. 그림7(b)의 패드 부분에서는 가장자리의 게이트 금속(Cr)이 증발하여 계

조건 1 : $V_{max} = 50kV$ 조건 2 : $V_{max} = 70kV$



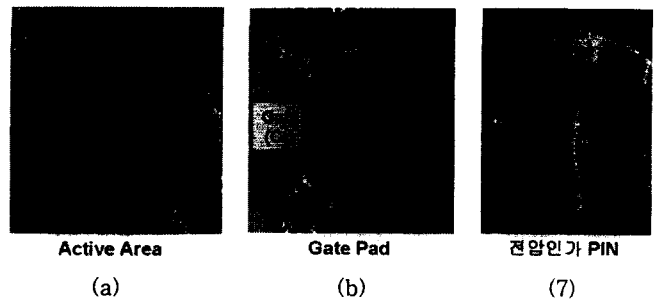
(a)



(b)

그림6. Spot-knocking 시 양극전압(a) 및 게이트 연결선(b)에 따른 소자의 상태

Fig.6. Dependence of device status on anode voltage(a) and gate wire(b) in spot-knocking process



Active Area

(a)

Gate Pad

(b)

전압인가 PIN

(c)

그림7. 냉음극 구조체에 있어서 Mo-tip FEA의 능동 영역(a)과 패드(b) 그리고 핀(c)의 고장 형태

Fig.7. Failure mode of active area(a), pad(b) Mo-tip FEA and pin(c) in cold-cathode assembly

이트 절연막(SiO₂)이 노출되어 있는 현상을 볼 수 있었으며, 그림7(c)에 보인 게이트 연결선과 핀 사이에는 아무런 이상을 발견할 수가 없었다.

Spot-knocking 후에 나타난 현상을 요약하여 표1에 나타내었는데, 이는 그림2에서 제시한 시편들을 대상으로 하였다. Spot-knocking 후 소자의 상태를 살펴보면 게이트 연결선이 없는 경우(게이트가 핀에 연결되지 않은 경우)를 제외하고는 모든 경우에 능동 영역(active area : Mo-tip이 형성된 영역)과 패드(pad) 부분이 그림6과 그림7에서와 같이 심하게 파괴된 것을 알 수 있었다. Mo-tip FEA의 전자 방출부에 있어서 게이트 전극 및 절연막 패턴의 유무, 전자총에 있어서 G1 전극과 G2 전극의 유/무 등은 spot-knocking에 의한 Mo-tip FEA의 손상 여부에 크게 영향을 미치지 않았으며, 단지 게이트 연결선의 유/무가 소자의 파괴 정도에 크게 작용하였다.

표1. Spot-knocking 공정 후의 Mo-tip FEA의 상태

Table1. Status of Mo-tip FEA after spot-knocking process

No	Mo-tip FEA 구성		전자총 구성	Spot-knocking 전/후 음극 상태
	전자방출부 구성	Gate Wire		
1	완성품	無	완성품	변화없음
2	완성품	無	G1/G2 전극 無	변화없음
3	완성품	有	완성품	파괴됨
4	완성품	有	G1/G2 전극 無	파괴됨
5	Gate pattern ①	無	완성품	변화없음
6	Gate pattern ①	有	완성품	파괴됨
7	Gate pattern ②	無	G1 전극 無	변화없음
8	Gate pattern ②	無	G1/G2 전극 無	변화없음
9	Gate pattern ②	有	G1 전극 無	파괴됨
10	Gate pattern ②	有	G1/G2 전극 無	파괴됨

상기 관찰 결과들에 의하면, 게이트 전극에 전압을 인가하는 연결선이 없으면 어떠한 경우라도 Mo-tip FEA가 손상되지 않는 것을 알 수 있다. 이것으로부터 양극전극과 인접전극간의 진공방전(vacuum arc)이 Mo-tip FEA 파괴에 직접적으로 관여하지는 않으며, 게이트 전극으로 유기된 방전전류(discharge current)가 Mo-tip FEA 파괴에 결정적인 역할을 한다는 것을 알 수 있다. 결과적으로 spot-knocking 과정에서 Mo-tip FEA가 파괴되는 것은 전자총의 양극전극에 고전압이 인가될 때 인접 전극에서 진공방전이 발생하고 이렇게 발생한 방전의 결과로 생성된 방전전류가 CRT 외부로 흐를 때 그림5(b)의 ⑤번과 ⑥번 위치에서 2차적인 아크가 발생하여 게이트 전극이 연결된 핀으로 역류되어 게이트 연결선을 거쳐 게이트 전극에 도달하면 게이트 전극과 기판 혹은 Mo-tip 사이에서 아크가 발생하고, 이것에 의해 Mo-tip과 게이트 전극인 크롬(Chromium : Cr) 막이 용융, 파괴되는 것으로 사료된다.

5. Spot-knocking에 의한 고장 방지

상기 분석 결과를 토대로 하면, spot-knocking에 의해 neck 부분에서 아크가 일어나며 이로 인한 방전전류에 의해

소자가 파괴되며, 따라서 방전전류가 게이트 전극에 이르는 것을 방지하기 위한 방법이 모색되어야 한다. 이를 위해 표2에 보인 두 가지 방법을 고려할 수 있다. 즉, 하나는 게이트 전극으로 역류된 전류의 흐름 경로를 제공하는 방법이고 다른 하나는 방전전류가 게이트 전극에 이르지 못하도록 전류제한기(current limiter)를 설치하는 방법이다.

그림8(a)는 두 번째 방법 중의 하나로 게이트 연결선 경로에 전류 제한기로서 부하 저항(1kΩ ~ 1MΩ)을 설치한 경우이다. 이러한 상태에서 spot-knocking 공정을 행한 결과 그림8(b)에 보인 바와 같이 Mo-tip FEA의 파괴 현상이 관찰되지 않았다. 이러한 결과로부터 Mo-tip FEA가 파괴되는 원인으로 방전전류가 역류하여 게이트 전극과 Mo-tip 및 기판 사이에서 유도된 아크에 의한 것이라는 것을 검증할 수 있다. 따라서 분석 결과와 이를 근거로 한 전류 제한기의 설치가 효과적임을 판단할 수 있다. 물론 이는 기본 개념을 입증한 것에 불과하며, 금후 보완 실험을 통하여 부하 저항의 최적 저항치와 연결 위치 등의 구체적인 데이터가 설정되어야 한다.

표2. 아크 전류의 역류에 의한 게이트 전극의 파괴 방지 방안

Table2. Methods for preventing gate electrode from destruction by reverse arc-current

개선방안	개선 방안의 구성도	개선방안의 동작원리
두개의 Gate pad 형성 및 wire 연결		1) 대칭적으로 gate pad를 형성하여 각각에 wire 연결한다. 2) Spot knocking 시 ①과 ②를 접지에 연결하여 방전전류가 흐를 수 있는 회로를 구성한다. 3) Spot knocking 완료시 ③를 floating 하여 둔다.
방전 보호회로 구성		1) 좌도(左圖)와 같은 회로를 구성한다. 2) 방전 시 방전전류는 ④의 방전보호 회로를 통하여 흐른다. 3) 정상적인 동작 중에 일정한 전압이 인가될 때에는 ④의 방전보호 회로의 전류 흐름은 적고 ⑤의 회로로 전류가 흐른다. 4) ④의 방전보호 회로에서 surge 보호 소자가 없을 때, spot knocking 완료시 ⑤를 floating 하여 사용한다.

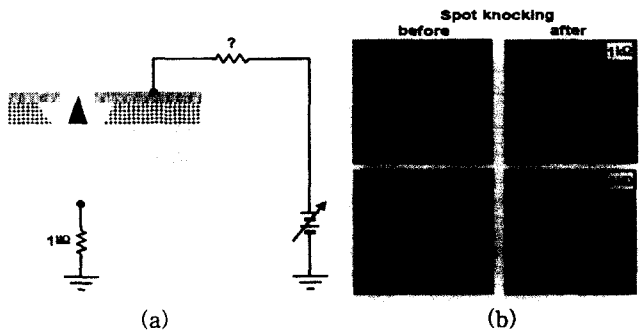


그림8. 전류제한기로서 저항의 연결(a) 및 이의 보호 효과(b)
Fig.8. Connection of load resistor as a current limiter(a) and its protecting effect(b)

6. 결 론

Mo-tip FEA를 냉음극으로 사용하여 제조된 전자총에 대해, CRT 장착 후 spot-knocking 과정에서 소자의 고장 형태 및 원인을 분석하고 이의 해결책을 간단히 제시하여 보았다. 본 연구를 통하여 알 수 있는 점은 다음과 같다.

- 1) Spot-knocking 이전에 포커스 전압과 G2 전압을 가변시키면서 전자빔의 spot 크기를 관찰하였고, 이로서 Mo-tip FEA 전자총이 CRT 내에서 기본적인 기능을 발휘할 수 있다는 것을 확인하였다.
- 2) Spot-knocking을 통한 Mo-tip FEA 소자의 파괴 정도를 관찰한 결과, 게이트 연결선이 없는 경우를 제외하고는 대부분의 경우 능동 영역과 패드 부분이 심하게 파괴된 것을 확인할 수 있었다.
- 3) 결과적으로, spot-knocking 과정에서 양극전극과 인접전극들 간의 강한 아크에 의해 발생된 전류가 CRT 내부에서 스템 핀(stem-pin) 간 혹은 스템 핀과 각종 커넥터간에 2차적인 아크를 발생시키고, 이것이 다시 게이트 연결선을 거쳐 게이트 전극에 도달하면, 게이트 전극과 Mo-tip 혹은 기판 사이에서 아크를 발생시켜 Mo-tip과 게이트 전극이 용융, 파괴되는 것으로 사료된다.
- 4) 이의 해결 방안으로서, 게이트 전극으로 역류된 전류의 흐름 경로를 제공하거나 혹은 방전전류가 게이트 전극에 이르지 못하도록 전류 제한기(current limiter)를 설치하는 방법이 제안될 수 있으며, 간단한 실험을 통하여 그 효과를 입증하였다.

다음 단계의 연구로서, 상기 제안된 두 가지의 방안에 대한 구체적인 분석과 함께 이의 실용화를 위한 연구가 수행될 예정이다.

감사의 글

본 연구는 LG 전자 디스플레이 Device 연구소의 지원으로 수행되었으며, 이에 진심으로 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

[1] 주병권, 김 훈, 서상원, 박종원, "몰리브덴 팁 전계 방출 소자를 이용한 CRT의 냉음극 전자총의 제조 및 특성 평가", 대한 전기학회 논문지, (투고중).

저 자 소 개



주 병 권 (朱炳權)

1962년 12월 2일 생. 1986년 서울시립대 전자공학과 졸업. 동대학원 전자공학과 졸업(석사). 1995년 고려대 전자공학과 졸업(공학박사). 1995년 3월 현재 KIST 정보재료소자연구부 선임연구원 관심분야: FPD, MEMS, Packaging
Tel : 02-958-5775
E-mail : jbk@kist.re.kr



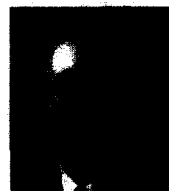
김 훈 (金勳)

1970년 5월 23일 생. 1997년 상지대 물리학과 졸업. 1999년 경희대학교 물리학과 졸업(석사). 1999년~현재 경희대 물리학과 박사과정. 관심분야 : 전계방출표시소자(FED)
Tel : 02-958-5773
E-mail : hoon@kist.re.kr



박 종 원 (朴鍾元)

1966년 12월 19일 생. 1992년 영남대 물리학과 졸업. 1994년 동 대학원 물리학과 졸업(석사). 1997년~현재 동 대학원 물리학과 박사과정. 1994년~현재 LG전자 디스플레이 Device 연구소 주임연구원. 관심분야 : FED, CRT
Tel : 02-958-5773



김 남 수 (金南帥)

1954년 1월 21일 생. 1977년 서울대 물리학과 졸업. 1984년 Univ. of Connecticut 대학원 물리학과 졸업(석사). 1988년 동 대학원 물리학과 졸업 (이박). 1988년~1991년 현대전자 반도체 연구소. 1992년~현재 충북대 전기전자 및 컴퓨터공학부 부교수



김 동 호 (金東皓)

1957년 1월 6일 생. 1979년 서울대 물리학과 졸업. 1981년 한국과학기술원 물리학과 졸업(석사). 1989년 Univ. of Minnesota 대학원 물리학과 졸업(이박). 1994년~현재 영남대 물리학과 부교수



이 윤 희 (李允熙)

1963년 2월 5일 생. 1985 고려대 물리학과 졸업. 1987년 동 대학원 물리학과 졸업(석사). 1995년 동 대학원 물리학과 졸업(이박). 1987년 포항공대 연구원. 1988년~1994년 KIST 정보전자연구부 연구원. 1994년~2001년 KIST 정보재료소자연구센터 선임연구원. 2001년~현재 KIST 정보재료소자연구센터 책임연구원. 주관심분야 : CNT 및 FED