

경장벽 산화막 절연층 MCPCB를 이용한 LED 모듈 구현

홍대운[†] · 이성재

충남대학교 전자공학과 광파전자공학연구실
Ⓣ 305-764 대전광역시 유성구 공동 220

조재현

경기대학교 재료공학과 박막연구실
Ⓣ 443-760 경기도 수원시 영통구 이의동 산94-6

(2009년 6월 3일 받음, 2009년 7월 15일 수정본 받음, 2009년 7월 17일 게재 확정)

LED 조명과 액정 후면 배광 장치와 같이 고방열, 고출력 광원이 요구되는 응용제품에 적합한 LED 광원 모듈을 제작하였다. 제안한 LED 광원 모듈은 기존 패키지 구조의 LED 광원과 다르게 LED 칩을 응용제품의 필요에 따른 배광 분포 제어와 광자 재흡수를 개선하기 위해 반사컵 구조를 적용한 금속 기판의 표면에 LED 칩을 바로 실장하였다. 또한 기존 금속기판에 적용하던 알루미늄 산화막 절연층의 문제점을 개선하여 방열 특성을 향상시켰다. 나아가 방열 특성 개선으로 LED 칩에서 발생하던 열에 의해 발생하던 광효율 저하 문제를 개선하는 결과를 얻었다.

Implementation of LED Module Using MCPCB with Hard Barrier Anodizing Oxide Layer

Dae-woon Hong[†] and Sung jae Lee

Electronics Engineering Department, Chungnam National University, 79 Daehangno, Yuseong-gu, Daejeon 305-764, Korea

Jae-hyun Cho

Department of Materials Science and Engineering, Kyonggi University, Yeongtong-gu, Suwon 443-760, Korea

[†]E-mail: optical@cnu.ac.kr

(Received June 3, 2009; Revised manuscript July 15, 2009; Accepted July 17, 2009)

LED modules, based on MCPCB with a hard barrier oxide layer and an improved thermal dissipation property, are presented. Reflecting cups were also formed on the surface of the MCPCB such that optical coupling between neighboring chips was minimized for improving the photon absorption loss. LED chips were directly attached on the MCPCB by using the COB (Chip On Board) scheme. The LED modules showed significantly enhanced light outputs, compared to the LED modules based on conventional MCPCBs.

Keywords: Light-emitting diode (LED), MCPCB, Hard barrier oxide, COB

OCIS codes: (230.0230) Optical devices; (230.3670) Light-emitting diodes; (230.6080) Sources

I. 서 론

최근 LED 광원 분야의 경우 친환경, 강한 내구성, 소형, 고수명 등의 다양한 장점을 보유하며 기존 광원의 적용이 불가능했던 의료, Display, Mobile Phone, Auto-Mobile, LCD TV용 Backlight Unit 등 매우 다양한 분야에 적용하기 위한 연구가 진행되고 있다. 그러나 LED 광원은 다양한 장점을

보유하고 있는 반면 반도체 소자의 특성 또한 보유하고 있다. 특히 LED 구동 시 발생된 열에 의한 영향이 LED 광원의 광효율에 직접적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있고 Lamp로 응용되는 고출력 LED의 경우 이러한 문제는 더욱 심각하게 부각되고 있다.

최근까지 LED 관련 기술은 LED Chip의 발광효율을 향상시키고 이를 효율적으로 추출하기 위한 연구 위주로 활발하게 진행되어 왔다. 하지만 이러한 노력들에도 불구하고 LED Chip에서 발생하는 열을 외부로 효율적으로 전달하고 광효

[†]E-mail: optical@cnu.ac.kr

율을 유지할 수 있는 패키징 기술과 PCB구조, 모듈 기술 등의 주변 기술들이 성숙되지 못한 것이 LED 응용시장 확대에 장애가 되고 있다. 최근 이러한 문제들은 다양한 LED 응용시장의 확대와 함께 응용 제품에서 여러 구조와 기법이 요구하고 있으며 이러한 문제점과 요구들을 개선하기 위한 연구 또한 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 LED Chip의 Junction에서 발생하는 열을 외부로 빠르게 전달시켜 Chip의 광효율 저하를 최소화시키고 단일 LED 칩에서 방출되는 광출력을 극대화하기 위해 필요한 관련 기술 연구 결과를 서술하고 있으며 구체적인 방법으로 LED 패키징 기술과 PCB 기술에 관하여 논하고 있다. 관련 기술 개발 결과 외부로 빠르게 전달된 열은 LED 칩의 광효율 개선에 직접적으로 영향을 미치고 개선된 광효율(30~50 lm/W) 특성을 바탕으로 LCD back light unit이나 일반조명과 같은 고효율, 고효율 광원의 성능을 향상시키고 나아가 신 광원으로서의 확대를 가속화 할 수 있다는 가능성을 얻었다.

II. 본 론

2.1. LED 광원용 Metal Core PCB

일반적으로 Metal Core Printed Circuit Board(MCPCB)는 보통의 PCB에 비하여 우수한 방열 특성을 갖고 있기 때문에 LED 칩 마운트를 위한 기판으로 중요하게 사용되고 있는데, LED 제작을 위해 주로 사용되는 MCPCB의 종류를 살펴보면 그림 1에 보인 바와 같다. 그림 1(a)에 보인 구조는 제 1세대 MCPCB 구조라고 할 수 있으며 절연층이 보통 전기적으로 부전도의 특성을 가지고 있는 실리콘이나 에폭시 등과 열전도 특성을 개선하기 위한 알루미늄 또는 구리파우더와 같은 금속재료를 혼합하여 도포하거나 혼합물을 얇은 필름 형태로 가공하여 적용하는 방식으로 제작되기 때문에 그 두께가 100 um 이상의 절연층으로 형성되는 것이 보통이다. 열전도도 특성 또한 사용된 절연물질의 특성상 제작된 MCPCB는 1~4 W/mK 정도로 일반 알루미늄(200 W/mK), 구리(400 W/mK), 철(100 W/mK) 등과 같은 금속재료에 비해 낮은 열전도 수준으로 제작되게 된다. 그림 1(b)에 보인 MCPCB 구조는 제 2세대 MCPCB라고 할 수 있으며 알루미

늄 산화막을 절연층으로 이용하는 방식으로 알루미늄 원판 표면을 전해질 용액과 전기적으로 반응시켜 절연층을 형성하게 된다. 이 방식을 통해 생성된 절연층의 두께는 30~50 um, 열전도도는 5~10 W/mK 정도로 제작이 가능한 것으로 알려져 있다.

그림 1(c)의 구조는 본 논문에서 LED 모듈을 제작하기 위해 사용한 구조로, 절연층이 경장벽 알루미늄 산화막으로 이루어져 있다는 특징을 갖고 있는데 그 두께를 3~5 um, 열전도도는 15~35 W/mK 수준으로 제작이 가능하기 때문에 방열 관점에서 앞의 구조들에 비해 큰 이점을 갖게 된다. 특히 그림 1(b)의 구조의 경우, 산화막 절연층 생성 후 절연층의 구조가 다공(porous) 특성을 갖는 특징이 있다. 다공구조의 경우 구조적 문제가 되고 이를 해결하기 위해 표면의 다공을 막아 구조적 안정과 전기적 절연내압을 향상시키기 위해 BCB(Benzocyclobutene) 용액을 다공구조에 침투시켜 용액의 경화를 위해 400° 이상의 고온 cure공정과 같은 추가적인 표면 가공이 필수적으로 진행되는 것으로 알려져 있다. 반면 본 논문에서 제안하고 있는 경장벽 산화막 구조의 경우 산화막 두께가 기존 2세대 방식에 비해 얇고 생성된 산화막 절연층의 구조가 다공이 아닌 장벽의 구조를 가지는 특징으로 산화막 형성 후 별도의 추가 공정이 필요 없이 MCPCB제조 공정을 진행할 수 있다는 장점이 있다.

2.2. 경장벽 절연 MCPCB 특징

제2세대 MCPCB와 제 3세대 MCPCB에서 절연층을 형성하기 위한 자세한 공정을 설명하면 다음과 같다. 먼저 2세대 산화알루미늄 MCPCB의 경우 2단계 양극 산화법으로 제조되며 알루미늄은 초기 양극 산화 시 형성된 barrier layer가 seed로 역할을 하면서 형성된다. 첫 번째 양극 산화 시 생성되는 알루미늄의 etching은 60° 항온에서 1.5 wt% H₂CrO₄ + 6 wt% H₃PO₄의 혼합용액에서 실시한다.

그림 2는 MCPCB의 절연층으로 사용되는 산화알루미늄층을 성장시키기 위한 공정을 간략하게 보여주고 있다. 양극 산화는 발열 반응으로 양 전극에 걸리는 전류량에 비례하여 발열이 증가하게 된다. 양극 산화 시 초기 5분 동안의 인가 전압은 점차 증가하게 되는데, 이 전압이 60 V가 되는 순간 전류는 급격히 감소하다가 다시 증가하는 현상을 보인다. 이

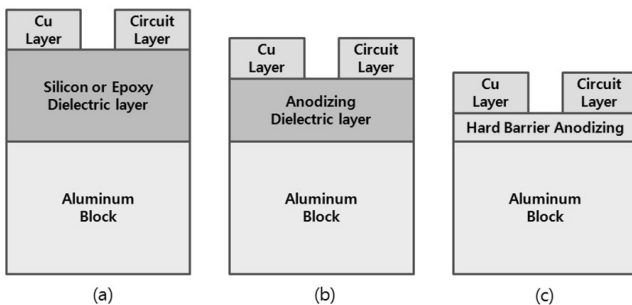


Fig. 1. MCPCB types (a) silicon or Epoxy dielectric layer (b) porous structural dielectric layer (c) hard barrier dielectric layer.

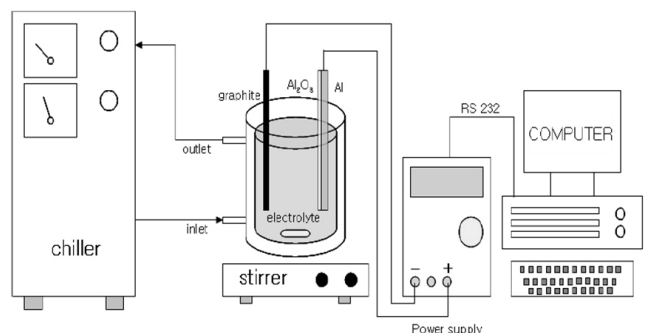


Fig. 2. Aluminum oxide dielectric layer manufacture system.

후 전류밀도는 다공 두께에 비례하여 점진적으로 감소하게 된다. 아래 식은 알루미늄의 산화반응을 나타내고 있다.^[1]

1. $Al(S) \Rightarrow Al^{3+}(oxide) + 3e^{-}$
2. $\frac{3}{2}H_2O(1) \Rightarrow 3H+(aq) + \frac{3}{2}O^{2-}(oxide)$
3. $Al^{3+}(oxide) + \frac{3}{2}O^{2-}(oxide) \Rightarrow \frac{1}{2}Al_2O_3(oxide)$
4. $3H+(aq) + 3e^{-} \Rightarrow \frac{1}{2}H_2(g)$

경장벽 산화막 형성을 위해서는 첫 번째 양극산화 반응만을 이용해야 하기 때문에 충분한 산화막 형성을 위해서는 DC수백V 이상의 고압을 사용하게 된다. 이와 같은 높은 에너지와 다량의 산소를 포함한 전해질 용액은 급격한 산화반응을 알루미늄 표면에서 일으키며 그 결과 다공구조의 pore가 없이도 고압의 에너지가 산화막 형성을 유도하고 이렇게 생성된 순수 산화알루미늄 층은 산화알루미늄의 고유 열전도도인 30~35 W/mK 수준을 유지하게 되며 결과적으로 열전도율이 뛰어난 MCPCB용 절연층으로서 역할을 할 수 있게 된다.^[2]

2.3. 반사컵 구조 COB 광원

PCB표면의 회로층에 소자를 직접 실장하는 기술(chip-on-board: COB)은 반도체 공정 중 assembly technology 분야의 하나로 microchip이나 die를 circuit board에 직접 부착하는 방식을 말한다. 이러한 방식은 기존의 반도체 패키지 공정을 단순화 시킬 뿐만 아니라 전기적, 열적, 기타 특성의 개선이

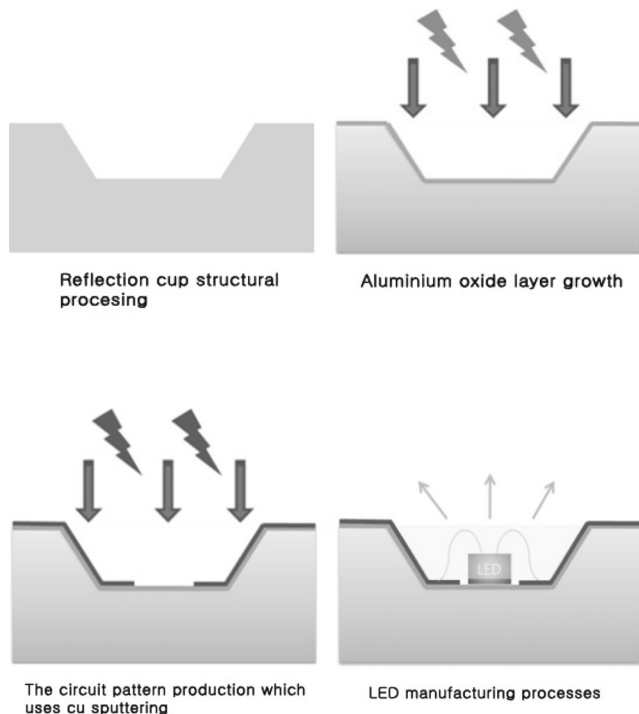


Fig. 3. Reflective cup structural process.

이루어지고 있다.^[3]

본 논문에서는 기존 반도체 공정에 적용되던 COB 기법을 광 반도체 소자인 LED 패키지 분야에 적용하여 열전도도가 개선된 MCPCB의 장점을 최대한 활용하여 고효율, 고효율의 LED 광원 모듈을 구현했다. 기존 리드프레임 표면 실장형 전자부품(surface mount device:SMD) 타입의 패키지 방식이 아닌 COB 방식을 적용하였다.

COB 타입 LED 광원 제작 방식은 기존대비 방열 특성 개선은 물론 패키지 구조의 삭제로 인해 광원 제작 금액 절감이라는 부가적 효과가 발생한다. 반면 COB 방식의 경우 패키지 구조에서 배광분포를 제어하는 반사면 광학 구조가 사라져 배광 분포가 중요한 특성으로 영향을 미치는 특정 LED 광원을 개발 할 경우에 광원을 효율적으로 설계하기 어렵다는 문제가 발생한다. 이러한 문제를 개선하기 위해 본 논문에서는 반사컵 구조를 포함한 광원을 제안하게 되었으며 아래 그림 3은 COB 기법과 함께 기술의 문제를 보완하기 위한 반사컵 구조 구현을 위한 제조 공정에 관하여 설명하고 있다.

반사컵 구조를 포함한 COB LED 광원을 제작하는 공정은 알루미늄 원판 표면에 정밀한 금형을 이용해 반사컵의 형상을 사전 가공하게 되며 이후 산화막 반응을 통해 열전도도가 개선된 균일한 절연층을 반사컵 내부와 PCB 전면에 생성할 수 있게 된다. 생성된 절연층 표면에는 회로층을 구성할 수 있는 구리층을 증착하게 되며 이러한 회로층을 이용해 LED chip을 실장하고 회로층과 미세 금속선을 이용하여 연결한 후 형광체가 혼합된 봉지체를 반사컵 내부에 채워 백색 광원으로 제작되게 된다.^[4] 특히 COB 구조의 반사컵 형태는 청색 LED chip과 형광체를 이용한 백색 광원의 효율이 높고 제작이 다른 백색 광원 제작 방식에 비해 구현이 손쉽게 때문에 매우 바람직한 구조를 가지고 있음을 알 수 있다.

2.4. 반사컵 구조 COB 광원

최근 LED 광원은 LED 조명과 LED BLU 관련 시장이 급격히 증가하고 있으며 이러한 분야에는 주로 5 mm (가로) × 5 mm (세로) 이내 크기의 LED 패키지 제품이 적용되어 사용되고 있다.

본 논문에서는 이러한 추세를 토대로 그림 4에 보이는 바

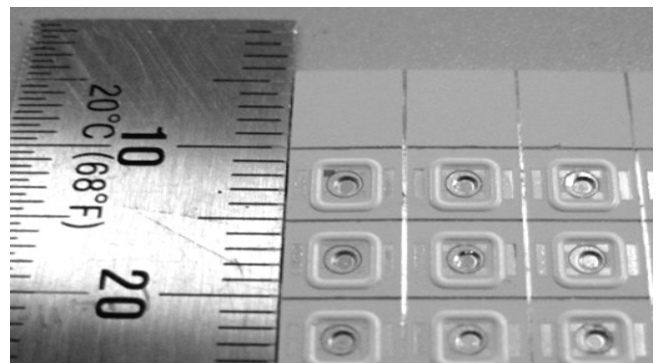


Fig. 4. COB type MCPCB which produces.

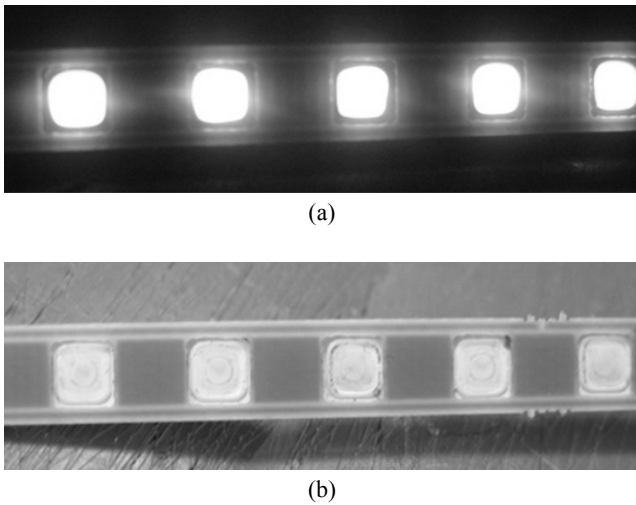


Fig. 5. The light source module (a) The light source module (b) Bar type light source module.

와 같이 알루미늄 원판에 설계한 반사컵 구조를 형성하고 알루미늄 표면에 장벽구조 산화알루미늄 절연층을 3 um 두께로 생성하여 열전도도 30 W/mK 수준의 LED 광원 샘플을 제작하였다. 참고적으로 비교 측정을 위해 사용된 기존 다공구조 절연층 두께는 50 um 수준으로 적용되었다. 여기서 절연층의 두께가 얇아지면 전기 절연 내압은 낮아지게 된다. 하지만 산화알루미늄 절연막의 두께가 3 um 수준에서 직류 전압 300V 수준으로 단위 소자 LED 여러 개를 직렬로 연결하여 구동하는 응용제품 제작에 어려움이 없을 것으로 판단하여 샘플로 제작하였다. 또한 반사컵 표면에는 광원의 효율을 향상시키기 위해 전해 은도금을 추가적으로 적용하여 특성을 개선하였다. 제작된 제품은 기존 2세대 MCPCB와 동일한 구조로 제작하여 특성을 비교 평가 하였다.

그림 5는 제작된 LED 광원을 이용해 제작한 백색 LED 광원 모듈을 보여주고 있다. 제작한 광원모듈은 응용제품에서 요구되는 광출력에 맞추어 array 형태로 사용하는 구조로 일반 패키지 구조에서부터 multi-array 방식에서도 적합하도록 제작 되었음을 알 수 있다.

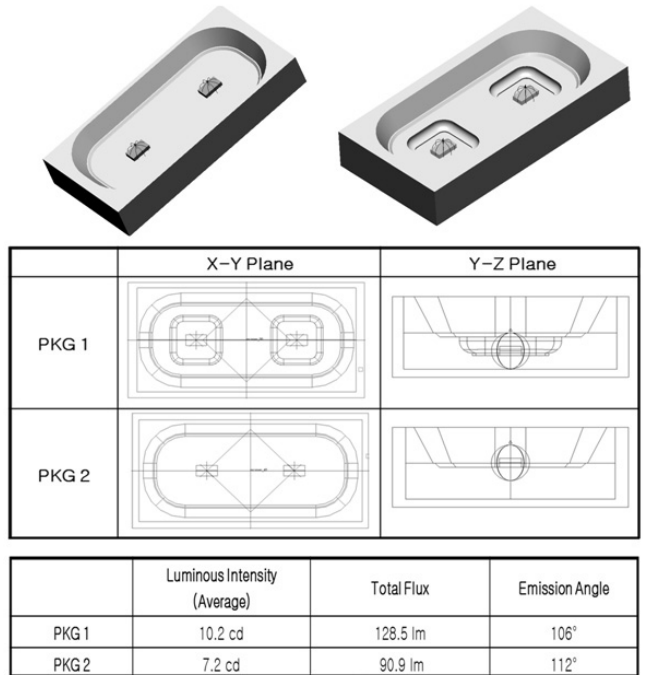
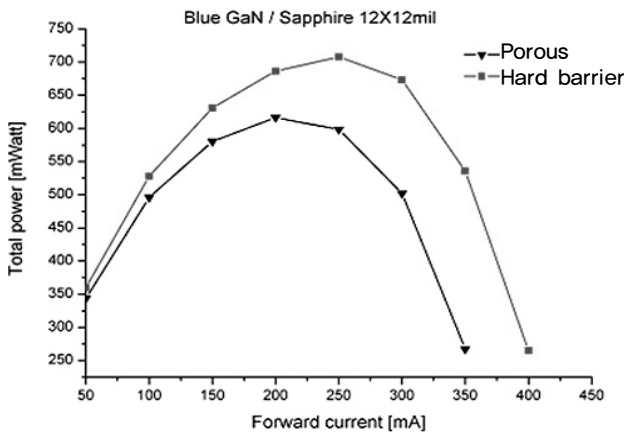


Fig. 6. Reflective cup structure and optical character.

III. 결 론

본 논문에서는 MCPCB 기판의 표면을 단순 평면으로 하는 대신 반사컵 구조를 포함하도록 가공함으로써 인접한 LED chip 간의 광 재흡수로 인한 광출력 저하 문제를 개선함은 물론, 응용제품에 따른 배광분포 특성도 개선할 수 있었다.

그림 6은 다수개의 근접한 LED를 동시 구동 시 소자간 독립된 반사컵 유무에 따른 광학 특성을 분석한 결과로 배광분포의 변화와 광출력의 향상에 영향을 미칠 수 있다고 자료를 통해 알 수 있다. 또한 기존 다공구조 MCPCB와 본 논문에서 제작된 경장벽 산화막 절연층을 적용한 MCPCB를 동일한 PCB 패턴으로 제작하여 특성을 평가한 결과 고전력 구동 시 광출력과 중심파장 변화를 그림 7에서 볼 수 있다. 광학

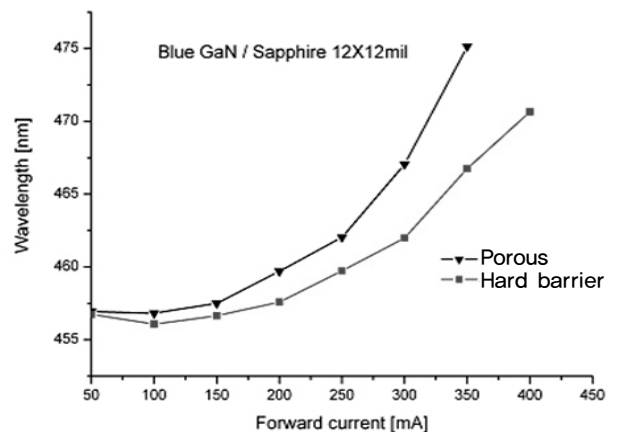


Fig. 7. Oxidation type and optical character.

적 평가결과에서 기존 MCPCB와 비교하여 특성이 향상되었음을 확인할 수 있다.

한편 본 논문에서는 MCPCB의 개선된 방열특성을 최대한 활용하기 위해, COB (Chip On Board) 기법을 이용하여 LED 모듈을 제작하였다.

References

1. D. I. Kang, M.S., "Discharge characteristics and residual gas analysis of Xe lamp," Myongji University, Yongin (2006), pp. 17-20.
2. J. R. Dickey and J. L. Davidson, "Improved dielectric properties for anodic aluminum oxide films by soft/hard two-step electrolytic anodization," *Journal of The Electrochemical Society* **136**, 1772-1777 (1989).
3. M. W. Shin and J. P. Kim, *Introduction to LED Packaging Technology* (Bookshill, Seoul, Korea, 2009), pp. 243-246.
4. R. E. Simons, "Thermal management of electronic packages." *Solid State Technology* **26**, 131-137 (1983).