

論文2000-37SC-5-7

중적외선 감지용 초점면 배열 HgCdTe의 신호 취득 회로 설계 및 열영상 구현

(ROIC Design of HgCdTe FPA for MWIR detection and Implementation of Thermal Image)

金炳赫*, 李熙哲*, 金忠基*

(Byunghyuk Kim, Hee Chul Lee, and Chung-Ki Kim)

요약

모든 물체에서 방출되는 적외선을 감지하여 영상신호로 만들어 주는 적외선 감지 칩은 보편적으로 적외선 감지 소자와 신호 취득 회로가 각기 다른 칩으로 제작되어 하이브리드 본딩 기법을 통해 만들어 진다. 본 논문에서는 신호 취득 회로의 설계 과정과 시뮬레이션 결과를 보여 주며, 실제 제작 결과, 6V의 인가 전압에서 설계 사양에 만족하는 동작 특성을 보임을 확인하였다. 제작된 신호 취득 회로를 이용하여 적외선 감지 칩을 제작하고 이를 자체 제작한 열영상 시스템에 장착하여 열영상을 구현해 보았다. 얻어진 열영상은 고온과 상온의 물체에 대해서 인식이 가능한 수준이었으며, 열영상 시스템의 잡음 특성을 좀 더 개선할 경우 더 나은 열영상을 얻을 수 있으리라 기대한다.

Abstract

Infrared (IR) detector chip, which detects the IR radiation from all of the objects and converts to image signal, is usually fabricated using hybrid bonding technology with detector array and readout integrated circuit (ROIC). In this study, we designed the readout circuit and simulated its operations. Fabricating readout circuit chips, we measured operation results satisfying its design requirements in 6V supply voltage. After we mount the IR detector chip in the manufactured thermal image system, thermal images were implemented. The obtained thermal images for high and room temperature target objects are sufficiently recognizable. Using the low noise thermal image system, we expect to obtain thermal images with higher temperature resolution.

1. 서론

물체가 방출하는 적외선을 감지하여 전기적 신호를 출력하는 적외선 감지기는 현재 군사용, 산업용, 의료용으로 널리 사용되고 있는 고부가 가치의 제품이지만 현재 국내에서의 개발단계는 아직 선진국에 비하여 미

진한 실정이다.

이러한 적외선 감지기는 적외선을 감지하는 물질 위에 적외선 감지 소자를 제작하고, 고집적이 가능한 실리콘 기판에 감지 소자에서 발생된 전기 신호를 영상 신호에 적합하도록 처리하여 주는 기능의 신호 취득 회로(readout circuit)를 따로 제작한 뒤, 그림 1과 같이 두 개의 칩을 하이브리드 본딩(hybrid bonding)하여 하나의 적외선 감지 칩으로 구현하는 것이 일반적이다.^[1]

우수한 특성을 갖는 적외선 감지기의 구현을 위해서는 좋은 특성의 적외선 감지 소자의 제작은 물론이며, 이로부터 전기적 신호를 읽어내는 신호 취득 회로의

* 正會員, 韓國科學技術院 電子電算學部

(Korea Advanced Institute of science and technology(KAIST))

接受日字:1999年3月19日, 수정완료일:2000年4月19日

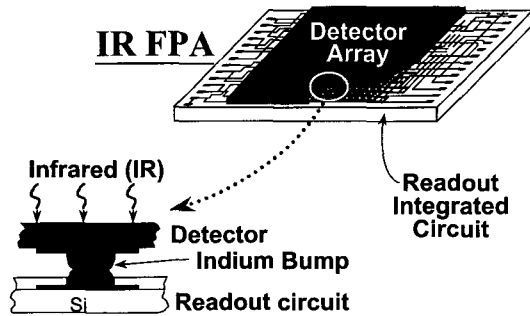


그림 1. 일반적인 적외선 감지 칩의 구조
Fig. 1. General structure of IR detector chip.

특성 또한 매우 중요해서, 제작된 적외선 감지 소자의 특성을 제한하지 않으면서 다양한 기능을 제공하는 고성능의 신호 취득 회로의 구현이 필요하다. 그러므로 고성능의 실리콘 신호 취득 회로의 개발을 위해서 적외선 감지 소자의 특성을 고려한 신중한 회로의 설계와 제작, 그리고 특성을 평가하는 일련의 반복되는 회로의 개발 과정이 필요하다고 하겠다.

최근에는 신호 취득 회로의 제작이 주어진 적외선 감지 소자로부터 최대로 우수한 특성을 나타내도록, 그리고 가장 저 잡음 특성을 갖도록 많은 연구가 이루어지고 있으며, 점차로 고집적화 됨에 따라 단위 셀이 점점 복잡해지며, 신호 처리 기능이 점차로 추가, 다변화되어지고 있다.^[2-3]

본 논문에서는 파장이 3~5 μm 대역인 중 적외선(MWIR) 대역의 적외선을 감지하는 128×1 HgCdTe PV(photo-voltaic) 형태의 선형 배열 적외선 감지 소자를 위한 실리콘 신호 취득 회로의 구현을 목표로 하였다.^[4]

II. ROIC(Readout IC)의 설계

1. 설계 사양

HgCdTe 다이오드는 엇갈린 선형 배열(staggered linear array) 구조를 가지므로 이를 위한 실리콘 신호 취득 회로는 2개의 채널로 동시에 출력하는 64×2의 단위 셀 배열 구조를 갖도록 하며, 현재 일반적으로 사용되어지는 중적외선 감지용 적외선 감지 칩의 특성을 이용할 때, 신호 취득 회로의 구체적인 제작 사양은 다음과 같다.

General

Array Configuration	128×1 staggered linear (Pitch : 80 μm , staggered pitch : 90 μm)
Detector size, AD	30×40 μm^2
Number of output channel	2 Channels
Max pixel rate(/channel)	1pixel / μs
Integration time	70 μs (min.)~200 μs (max.)
Charge storage capacity	2×10 ⁷ electrons
Operating temperature	75~85 K
Detector bias	reverse bias of zero to 100-V
Optical System	F/1.8

Expected next stage

8-bit quantization
Load capacitance = 3pF

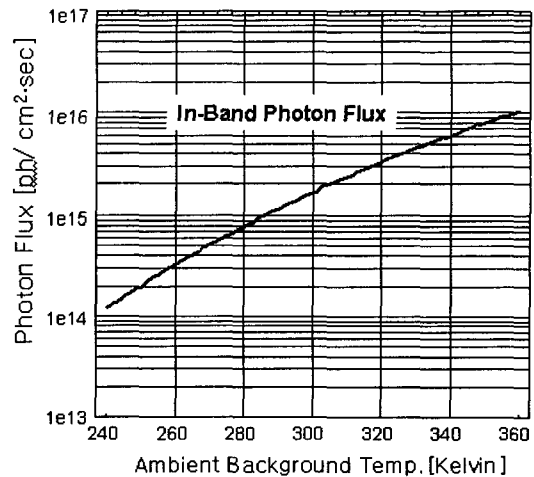


그림 2. 온도에 따른 적외선 광량 (3~5 μm)
Fig. 2. IR photon flux for target temperature.

신호 취득 회로의 설계에 앞서 적외선 감지 소자의 특성을 조사하는 일은 무엇보다도 중요하다. 그 중 가장 큰 영향을 주는 요소는 바로 HgCdTe 다이오드의 전류로서 이는 적외선 감지 소자와 관련된 특성 이외에 광학계와 바라보는 물체의 배경 온도 등에 의해서도 영향을 받게 된다. 본 실험실에서 제작되어지는 적외선 감지 소자의 특성과 앞에서 주어진 사양을 이용하여 물체의 온도에 따른 광량(photon flux)을 계산한 값을 그림 2에 그려보았다. 일반적으로 광량에 따른 광 전류(I_{ph})는 수식 (1)과 같으며, 이에 따라 300 K 배경 온도에 대한 광 전류는 4.9 nA가 된다.

$$I_{ph} = q \cdot QE \cdot FF \cdot Q_{BG} \cdot A_D \quad (1)$$

여기서, q : 전자 전하량

QE : 양자 효율

FF : fill factor

Q_{BG} : 배경 온도에 대한 광량

A_D : 광 흡수 면적

신호 취득 회로의 설계에 있어서 영향을 주는 적외선 감지 소자의 특성은 전류 외에도 적외선 감지 소자 접합 정전 용량과 영 전압 동적 저항 (zero bias dynamic resistance) 등이 있다. 일반적으로 본 실험실에서 제작 되어지는 적외선 감지 소자의 경우 0.5 pF의 자체 정전용량 값을 가지며, BLIP (background limited performance)을 만족하는 적외선 감지 소자는 20 MΩ 이상의 동적 저항을 가져야 하므로 이를 고려하여 설계하였다.^[5, 6]

우수한 잡음 특성을 가진 적외선 감지 칩을 제작하기 위해서는 반드시 적외선 감지 소자로부터의 전류를 일정 시간동안 적분할 필요성이 있다. 이를 위하여 신호 취득 회로에서는 적분용 축전기를 사용 하며, 적분용 축전기의 크기는 전하 저장 용량(charge storage capacity)과 적외선 감지 소자의 전류, 적분 시간(integration time)을 이용해서 계산 할 수 있다. 수식 (2)를 이용하여 적분용 축전기의 크기를 계산한 후, 약간의 여유를 두어 적분용 축전기의 크기를 2 pF로 결정하였다.

$$q \cdot n_e = Q_{int} = C_{int} \cdot \Delta V_{max} = I_{diode} \cdot T_{int} \quad (2)$$

여기서, n_e : 전하 저장 용량[electrons]

Q_{int} : 전체 저장 전하[C]

C_{int} : 적분 정전 용량[F]

ΔV_{max} : C_{int}의 최대 전압 변화량[V]

I_{diode} : 적외선 감지 소자 전류[A]

T_{int} : 적분 시간[s]

2. 신호 취득 회로의 설계 및 시뮬레이션 결과

앞에서 설명된 설계 사양으로부터 그림 3에서 보여지는 신호 취득 회로를 설계하였다. 회로는 M_{unit}과 A_{unit}으로 구성된 입력 회로(input circuit), 광 전류 적분을 위한 축전기(C_{int}), 순차적으로 단위 셀을 선택하기 위한 M_{sel}, 적분 시간을 조정하기 위한 M_{int}, 단위 셀에

저장된 전하를 출력으로 전달하고 이를 전압으로 변환해 주는 A_{bus}, 출력 구동을 위한 A_{buf} 등으로 구성된다.

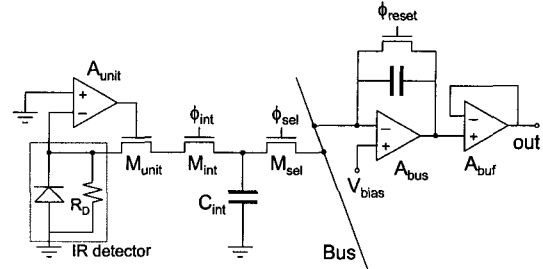


그림 3. 설계한 신호 취득 회로의 회로도
Fig. 3. Circuit diagram of designed ROIC.

설계한 회로의 동작을 살펴보면, 적외선 감지 소자에서 발생한 전류는 입력회로를 거쳐 적분용 축전기에 적분 시간동안 저장된다. 이때 적분 시간이 길수록 출력의 잡음 특성이 우수해 지므로 가능한 크게 하는 것이 좋으나, 이는 frame rate과 적분용 축전기의 면적에 영향을 주게 된다. 따라서 원하는 동작 주파수에서 축전기에 저장되는 전하가 포화되지 않도록 적분용 축전기의 크기를 설계한다.

여기서 적외선 감지 소자에서 발생하는 전류는 적외선 감지소자에 인가되는 바이어스 전압에 의해서 가변되므로 전체 동작 구간에서 적외선 감지 소자의 바이어스는 항상 일정해야 한다. 또한 적외선 감지 소자는 영(zero) 바이어스에서 잡음 특성이 가장 우수하므로 신호 취득 회로에서는 적외선 감지 소자가 영 전압에서 일정하게 유지되도록 조절해야 하며, 이를 위해 간단한 증폭기와 MOSFET으로 구성된 입력 회로를 설계하였다. 일반적으로 주입 형태의 신호 취득 회로는 적외선 감지 소자에 발생하는 광 전류가 모두 신호 취득 회로로 전달되는 것이 아니라 적외선 감지 소자의 동적 저항과 범프 단(적외선 감지소자와 신호 취득 회로의 접합 지점)에서 바라본 신호 취득 회로의 등가 저항에 의해 일부만이 실제 출력 전압으로 기여한다. 여기서 그 기여도를 주입 효율이라 하며, 이를 증가 시키기 위해서는 범프 단에서 바라본 신호 취득 회로의 등가 저항을 가능한 작은 값으로 만들어야 한다. 현재 설계한 회로의 경우 그 등가 저항은 M_{int}의 소스(source) 단에서 바라본 저항을 A_{unit}의 이득으로 나누어 준 값으로 나타난다. 이는 BLIP diode의 영 전압 동적 저항인 20 MΩ에 비해 훨씬 작은 값이므로 적외선 감지 소자에서

발생된 전류는 모두 신호 취득 회로로 전달된다 할 수 있다. 이 때 전달 특성은 증폭기의 이득에 의해 결정되므로 원하는 동작 특성에 맞춰 증폭기의 설계가 필요하다.

단위 셀 증폭기의 설계에 있어서 고려할 점은 면적과 전력 소모, 그리고 증폭기 이득 등이다. 단위 셀 증폭기는 각 셀 마다 설계되어야 하므로 전체 신호 취득 회로 칩에는 128개가 존재하여 전체 소모 전력에 큰 영향을 주며, 셀에 할당된 면적이 제한되므로 단위 셀 증폭기의 면적도 설계에 고려해야 될 것이다. 따라서 비교적 작은 전류에 W/L을 최소화하여 단위 셀 증폭기를 설계하였으며, 바이어스 변화에 의한 오차를 0.01% 이하로 만들기 위해서 적외선 감지 소자의 전류 변화가 1 nA일 때의 바이어스 전압 변화가 0.1 mV 이하가 되도록 단위 셀 증폭기의 이득을 200이상이 되도록 설계하였다.

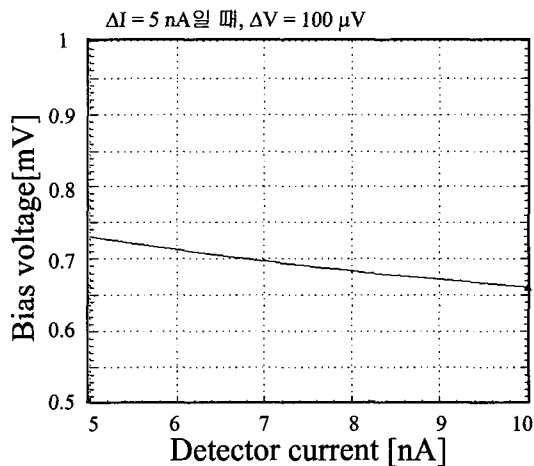


그림 4. 단위 셀 증폭기의 시뮬레이션 결과
Fig. 4. Simulation result of unit cell amplifier.

그림 4는 설계한 증폭기의 특성을 살펴본 HSPICE 시뮬레이션 결과이다. 이 결과로부터 설계한 증폭기는 원하는 바이어스 유지 특성을 가지는 것을 알 수 있었다.

제작할 신호 취득 회로는 아날로그 부분과 디지털 부분이 함께 있는 혼성 신호(mixed signal) 회로이다. 실제 중요한 동작 특성은 대부분 아날로그 부분이지만 디지털 부분 중, 셀을 선택하는 신호를 만들어 주는 shift register의 동작 역시 중요한 역할을 한다. shift register의 출력 신호(ϕ)는 그림 3에서 각 셀의 적분용

축전기에 저장된 전하를 순차적으로 출력 단으로 연결시켜 주는 역할을 한다. shift register의 동작 시뮬레이션 결과는 그림 5에 나타나 있다. 그림으로부터 입력 클럭 신호(ϕ_1, ϕ_2)에 맞춰 그 주기만큼 shift register의 출력이 shift 되어 나타남을 확인할 수 있다. 이 때, $V_{O1}, V_{O2}, V_{O3}, V_{O4}$ 는 4 stage를 가지는 shift register의 각 단 출력 파형이다.

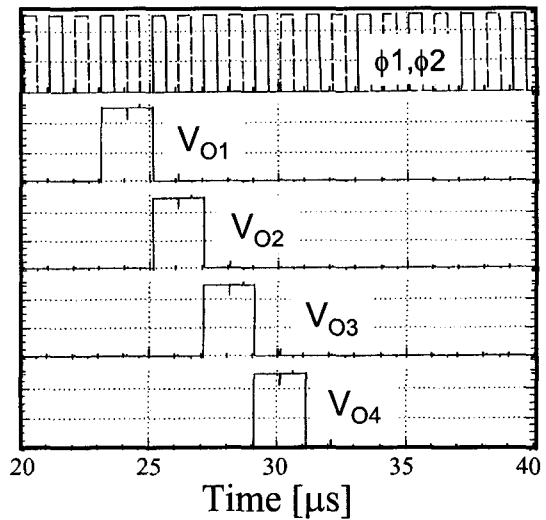


그림 5. shift register의 시뮬레이션 결과
Fig. 5. Simulation result of designed shift register.

각 단위 셀에 있는 적분용 축전기에 저장된 전하는 shift register에서 발생된 switching 신호에 의해 출력 단으로 이동하며, 이에 의해 출력 전압이 나타나게 된다. 이때 신호 취득 회로의 출력 특성은 출력 단 증폭기에 의해 결정되어 지므로 출력 단 증폭기의 동작 특성은 전체 신호 취득 회로의 동작 특성에 중요한 영향을 끼치게 된다.

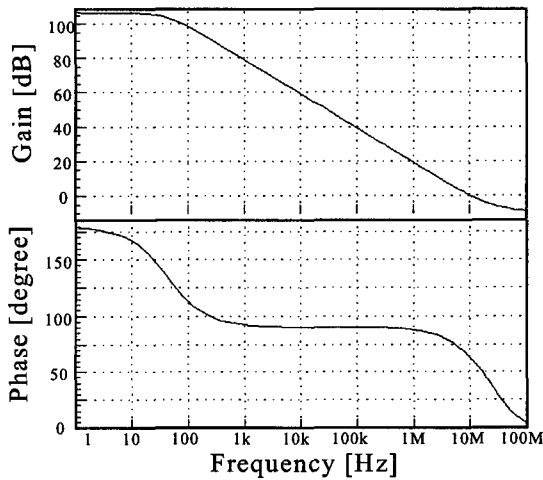
출력 단의 증폭기는 신호 취득 회로의 동작 속도를 1pixel/ μ s에 맞추기 위해 정착 시간을 400ns 이내로 하고 slew rate을 5 V/ μ s 이상으로 하여야 한다. 여기서 정착 시간(settling time)을 결정함에 있어서 오차 한계가 중요한데, 출력 단 증폭기의 다음에 연결되는 부하는 8bit AD converter인 것을 전제로 하였으므로 양자화 오차를 고려하여 정착의 오차는 0.1%로 하였다. 0.1% 정착 시간을 400 ns 이내로 하기 위하여 수식 (3), (4), (5)로부터 증폭기의 동작 주파수, 즉 단위 이득 주파수는 2.5 MHz 이상이 되어야 함을 알 수 있다.

또한 0.1% 이내로 정착 하기 위해서는 증폭기의 이득이 1000이상이 되어야 한다.

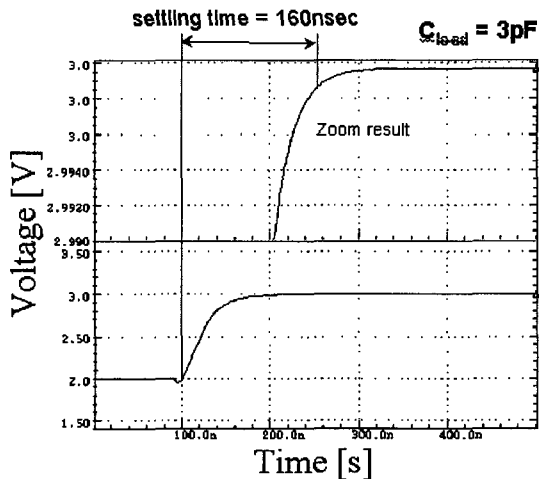
$$e^{-\frac{t_{settle}}{\tau}} = 0.001 \quad (3)$$

$$\tau = \frac{t_{settle}}{\ln 1000} \quad (4)$$

$$f = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{\ln 1000}{2\pi \cdot t_{settle}} \quad (5)$$



(a) AC simulation



(b) Transient simulation

그림 6. 출력 단 증폭기의 시뮬레이션 결과
Fig. 6. Simulation results of output stage amplifier.

설계한 증폭기에 대한 시뮬레이션 결과가 그림 6에 나타나 있다. 그림 6의 (a)는 AC 시뮬레이션 결과로 단위 이득 주파수는 10 MHz, DC 이득은 100 dB 이상이 됨을 알 수 있다. 그림 6의 (b)는 transient 시뮬레

이션 파형으로 정착 시간(settling time)이 160 ns의 결과를 나타내었다. 여기서 시뮬레이션 결과를 설계 사양과 비교해 볼 때, 시뮬레이션 결과가 원하는 특성을 모두 만족함을 알 수 있다.

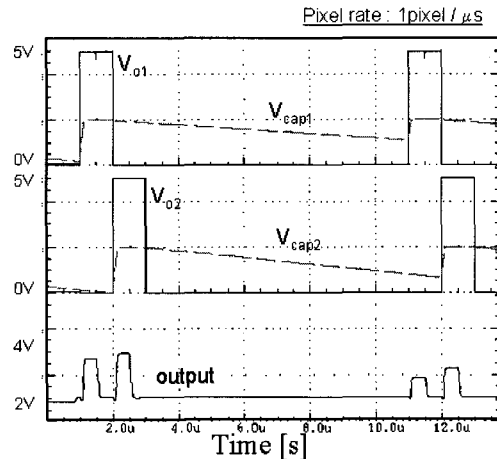


그림 7. 전체 신호 취득 회로의 시뮬레이션 결과
Fig. 7. Simulation result of total ROIC.

지금까지 설계한 내용을 바탕으로 전체 신호 취득 회로의 동작에 대한 시뮬레이션 결과가 그림 7에 나타나 있다. 그림 7은 두 단의 단위 셀에 대한 시뮬레이션 결과로서 서로 다른 적외선 감지 소자의 전류에 따라 서로 다른 출력 전압이 나타나며, 적분용 축전기 단의 전압 변화 기울기도 바뀌는 것을 확인 할 수 있다.

III. ROIC의 제작 및 측정 결과

신호 취득 회로의 제작은 1.2μm design rule의 single-poly double-metal N-well CMOS 공정을 사용하였으며, 제작한 회로의 칩 사진이 그림 8에 나타나 있다. 제작된 신호 취득 회로의 동작을 확인하는 작업에서 가장 먼저 해야 할 부분은 바로 디지털 부분의 핵심인 shift register의 동작이다. 그림 9는 동작온도 77 K, 동작 주파수 1 MHz에서 동작을 측정된 것이다. φ는 shift register를 구동하는 신호며, Vin은 shift register의 시작 신호로서 Vin이 들어간 이후 68 주기 후에 Vo68, 즉 68번째 단의 shift register 출력이 좌우측 모두 동작 주파수에 만족하여 나타나는 것을 볼 수 있었다.

shift register의 동작을 확인한 후, 단위 셀의 동작을

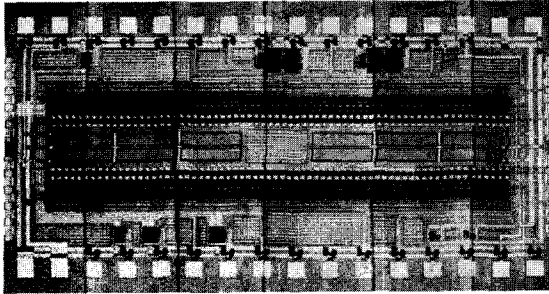


그림 8. 제작된 ROIC의 칩 사진
Fig. 8. Microscopic image of fabricated ROIC.

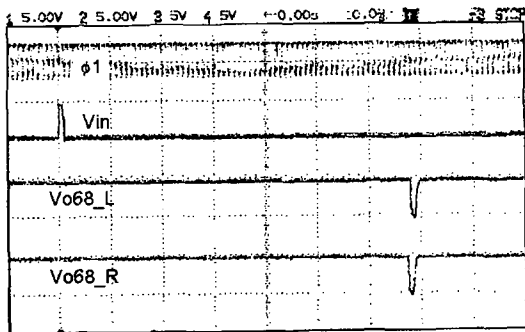
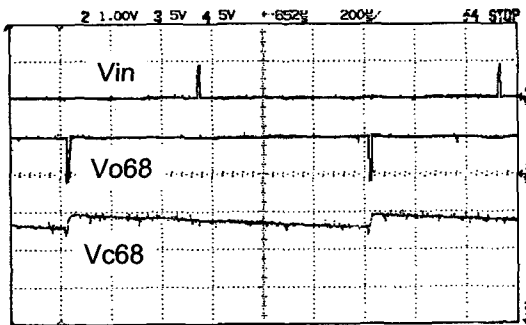
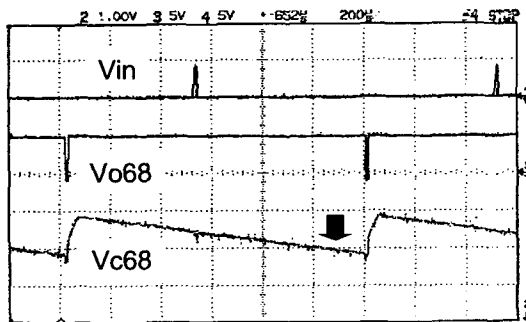


그림 9. shift register의 동작 측정 파형
Fig. 9. Measurement of shift register operation.



Bump단에 적은 전류를 흘린 경우



Bump단에 많은 전류를 흘린 경우

그림 10. 범프 단에 흐르는 전류 변화에 따른 적분용 축전기 단의 전압 변화
Fig. 10. Voltage variation of integration capacitor with the current of bump node.

확인해 보았다. 이를 확인하기 위해 적외선 감지 소자와 신호 취득 회로를 하이브리드 본딩하지 않은 상태에서 테스트를 목적으로 뽑아 둔 범프 단에 전류 원을 직접 달아 그 동작을 측정하였다. 그림 10은 적분용 축전기 단의 전압 변화를 본 것으로 전류 값의 변화에 따라 적분용 축전기 단의 전압이 달라지는 것을 볼 수 있으며, shift register로부터 스위칭 신호가 들어오는 순간 리셋 됨을 확인할 수 있다.

측정 결과로부터 50 kHz에서 신호 취득 회로가 동작하는 것을 확인 할 수 있었으나, 원하는 동작 주파수인 1 MHz에서는 그 동작이 제대로 이루어지지 않았다. 이는 설계 시 부하 정전 용량을 3 pF으로 고려한 것이 실제에 맞지 않는 값이어서 실제 동작에서 100 pF 정도의 부하 정전 용량에 대해서는 출력 단 증폭기가 고주파 동작을 이루어 내지 못함 때문이다. 증폭기의 동작 사양 중 또 다른 중요한 요소인 DC 이득의 경우 그림 11로부터 주어진 사양을 만족하는 결과를 얻을 수 있었다.

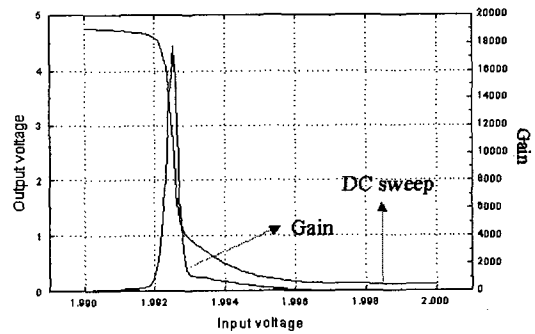


그림 11. DC 측정을 이용한 출력 단 증폭기의 DC 이득 측정

Fig. 11. DC gain of output stage amplifier using DC measurement.

1MHz에서 신호 취득 회로가 동작하기 위해서는 인가 전압을 증가시키고, 부하 정전 용량을 줄일 필요가 있다. 이를 위해 6V의 인가 전압에 30pF 정도의 부하 정전 용량을 가지는 시스템에 적외선 감지 소자와 신호 취득 회로의 하이브리드 칩을 장착하여 동작을 측정해 보았다. 그림 12는 그 측정 결과로서 동작 주파수 1 MHz에서 출력이 제대로 나타나는 것을 확인할 수 있으며, 또한 그림 13은 서로 다른 적외선 광량에 따른 출력 전압을 본 것으로 광량에 따라 출력 전압이 변화하는 것을 확인할 수 있다.

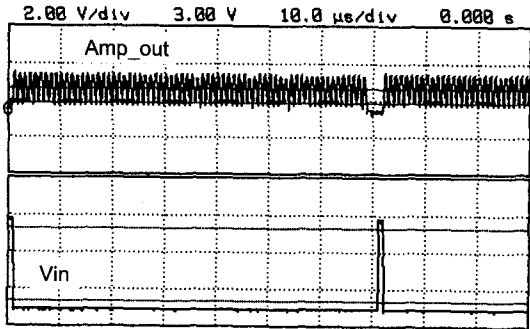
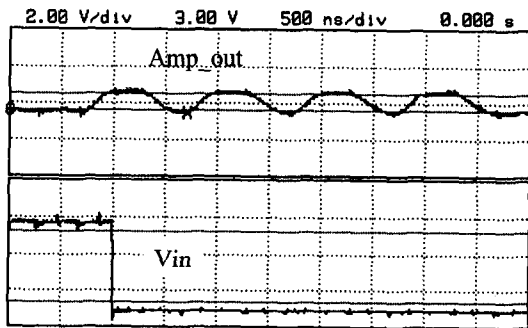
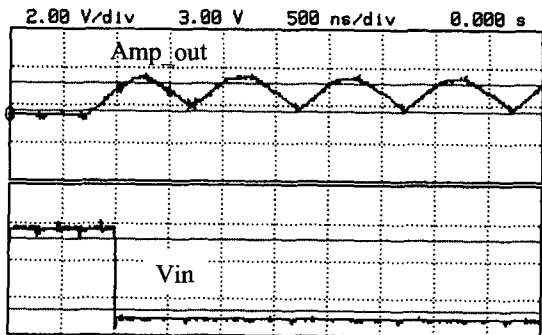


그림 12. 1MHz의 동작 주파수에서 하이브리드 칩의 동작 측정 파형
Fig. 12. Operation waveform of IR hybrid chip.



IR 광량이 적을 경우



IR 광량이 많을 경우

그림 13. 광량에 따른 하이브리드 칩의 출력 전압 변화 측정 파형
Fig. 13. Output voltage variation of IR hybrid chip with photon flux variation.

IV. 적외선 영상 구현

제작된 신호 취득 회로와 적외선 감지 소자의 하이브리드 칩을 그림 14와 같이 제작한 열영상 시스템에 장착하여 적외선 영상을 구현해 보았다.^[7] 열영상 시스템은 1차원 구조의 배열을 이용하여 2차원 영상을 얻

기 위해 필요한 주사 거울(scan mirror), 물체의 초점을 잡기 위한 적외선 렌즈(IR lens), 필요한 대역의 적외선만을 선택적으로 투과하기 위한 적외선 창(IR window), 칩을 저온으로 내리고 출력을 뽑아내는 듀워(dewar), 구동신호를 만들어 주는 구동 신호 발생부, 칩의 출력 전압으로 영상을 만들어 내는 PC 등으로 구성된다. 여기서 주사 거울로는 적외선 방출도(IR emissivity)가 매우 낮아 자체에서 방출되는 적외선이 없는 금(Au)을 도금한 거울을 사용하였으며, 적외선 창은 적외선 대역의 파장만을 투과할 수 있도록 실리콘 웨이퍼(Silicon wafer)를, 적외선 투과 렌즈로는 실리콘과 게르마늄으로 제작된 렌즈를 사용하였다. 적외선 감지 소자인 HgCdTe는 77 K온도에서 동작하므로 이 온도도 칩을 냉각하기 위하여 듀워를 사용한다. 그림 14에서와 같이 듀워에는 하이브리드 적외선 감지 칩이 장착되며, 저온을 유지하기 위해 액체 질소를 넣게 된다.^[8-9]

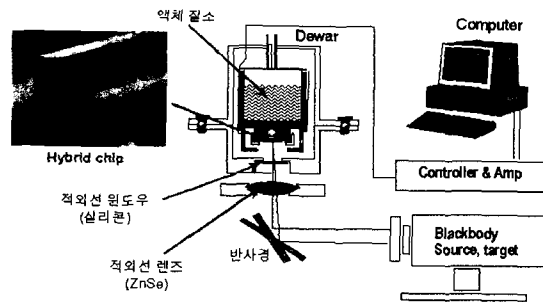
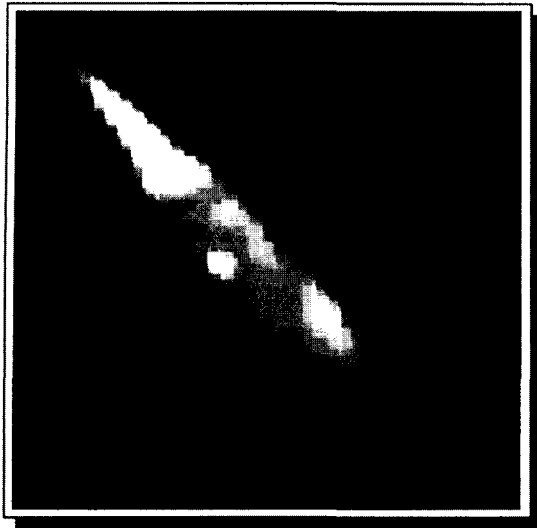


그림 14. 열영상 시스템
Fig. 14. Thermal image system.

물체로부터 입사 되는 적외선은 하이브리드 적외선 감지 칩의 출력전압 변화를 유발하고, 이것을 컴퓨터에서 받아들여 영상신호로 만든 후, pseudo color mapping하여 화면에 표시하면 적외선 영상(열영상, thermal image)이 얻어 지게 된다. 그림 15는 열영상 시스템에 제작된 적외선 감지 칩을 장착하여 얻어낸 적외선 영상이다. 그림 15의 (a)는 고온의 물체인 납땀 인두에 대한 열영상이며, (b)는 사람에서 발생하는 적외선을 감지한 열영상이다. 얻어진 열영상에서 보이는 약간의 잡음은 열영상 시스템으로부터 기인한 것으로 좀 더 깨끗하고 온도 해상도가 높은 영상을 얻기 위해서는 시스템의 잡음을 줄이는 것이 필요하다.



(a) high temperature target (soldering iron)



(b) room temperature target

그림 15. 제작된 칩을 이용한 적외선 영상
Fig. 15. Implemented thermal images.

V. 결 론

파장이 $3\sim 5\mu\text{m}$ 대역의 중적외선을 감지하는 HgCdTe 적외선 감지 소자의 신호 취득 회로를 설계 제작하였으며, 제작한 신호 취득 회로를 이용하여 만든 적외선 감지 칩을 측정된 결과 6V 인가 전압에서 동작 사양에 만족하는 결과를 얻을 수 있었다. 또한 열영상을 구현하기 위해 적외선 광학 시스템, 저온 유지를 위한 듀워, 영상 처리를 위한 프로그램 등을 포함하는 열영상 시스템을 제작하였으며, 제작된 열영상 시스템에 적외선 감지 칩을 장착하여 열영상을 얻어낼 수 있었다. 이로부터 제작한 신호 취득 회로는 원하는 바와 같이 적외선 감지 소자로부터 발생된 전류를 일정 시간 적분한 후, 전압으로 변환하여 순차적으로 출력하는 동작을 잘 수행함을 확인할 수 있었으며, 얻어낸 열영상은 열영상 시스템에서 발생하는 잡음에 의해 성능에

제한을 받게 되었으나 충분히 사물을 인식할 수 있을 만큼의 성능을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] D. A. Scribner, M.R. Kruer, and J. M. Killiany, "Infrared Focal Plane Array Technology", Proc. IEEE, Vol. 79, Jan. 1991.
- [2] R. D. Willanrdson and A.C. Beer, Semiconductor and Semimetals, Vol. 18, Academic Press, New York, 1981.
- [3] J.L. Vampola, "Readout Electronics for Infrared Sensors", SPIE Opt. Eng., Vol. 3, pp. 125-175, 1993.
- [4] 김영호 외, "Hg0.7Cd0.3Te 1x128 선형 다소자 제작 및 열영상 system 구현", 한국 반도체 학술 대회, 1996
- [5] A.F. Milton, "Readout Mechanisms for Infrared Focal Plane Arrays", in Pro. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng., Vol. 443, 1983.
- [6] E. R. Rossum and B. Pain, "Infrared Readout Electronics for Space Science Sensors : State of the Art and Future Directions", SPIE, Vol. 2020, 1993.
- [7] I. M. Baker and R. A. Ballingall, "Photovoltaic HgCdTe-Silicon Hybrid Focal Planes", In Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng., Vol. 510, 1984.
- [8] J. Cates, C. Causley, R. Hayden, J. Licata, R. Rees, and J. Weaver, "Affordable MWIR Staring Sensor", Proc. SPIE \, Vol. 2225, April 1994.
- [9] 김병혁 외, "Fabrication of Readout Circuit for 1×128 HgCdTe IR detector and its Applicatin to IR Image System", 한국 반도체 학술 대회, 1997

저 자 소 개



金 炳 赫(正會員)

1972년 11월 11일생, 1995년 2월 경북대학교 전자공학과 공학사, 1997년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사, 1997년 3월~현재 한국과학기술원 전자전산공학부 박사과정. <주관심 분야 : 신호취득

회로 설계, 저잡음 회로 및 시스템 설계>



金 忠 基(正會員)

1942년 10월 1일생, 1965년 서울대학교 전자공학과 공학사, 1967년 Columbia University 공학석사, 1970년 Columbia University 공학박사, 1970~1975 Fairchild Camera and Instrument Inc. session head,

1975~현재 한국과학기술원 전자전산공학부 교수 <주관심 분야 : CCD, HgCdTe 적외선 감지 소자, 신호취득회로, MEMS>



李 熙 哲(正會員)

第 31卷 A編 第 10號 參照

현재 한국과학기술원 전자전산공학부 교수. <주관심분야 : HgCdTe 적외선 감지소자, 신호취득회로, BST, PZT 등의 고유전 박막의 특성평가 및 응용>