

차동 델타 샘플링 기법을 이용한 비냉각형 적외선 검출회로의 설계에 관한 연구

정은식¹, 권오성¹, 이포², 정세진², 성만영^{1,a}

¹ 고려대학교 전기공학과

² (주)실리콘핸즈 부설연구소

A Study on the Design of a ROIC for Uncooled Infrared Ray Detector Using Differential Delta Sampling Technique

Eun-Sik Jung¹, Oh-Sung Kwan¹, Po Lee², Se-Jin Jeong², and Man-Young Sung^{1,a}

¹ Department of Electrical Engineering, Korea University, Seoul 163-713, Korea

² Siliconhands Co., Ltd. R&D Center, Seoul 163-713, Korea

(Received January 17, 2011; Revised March 25, 2011; Accepted April 19, 2011)

Abstract: A uncooled infrared ray sensor used in an infrared thermal imaging detector has many advantages. But because the uncooled infrared ray sensor is made by MEMS (micro-electro-mechanical system) process variation of offset is large. In this paper, to solve process variation of offset a ROIC for uncooled infrared ray sensor that has process variation of offset compensation technique using differential delta sampling and reference signal compensation circuit was proposed. As a result of simulation that uses the proposed ROIC, it was possible to acquire compensated output characteristics without process variation of offsets.

Keywords: Readout IC, Uncooled infrared ray detector, Process variation of offset, Differential delta sampling

1. 서론

비냉각형 적외선 센서(볼로미터 센서)를 이용한 적외선 검출기는 적외선 복사 에너지를 전기적 신호로 변환시키는 볼로미터 센서와 발생된 전기적 신호 변화를 영상 신호에 적합하도록 변환시켜주는 신호검출회로(readout IC, ROIC)로 구성되어있으며, 입사된 적외선의 신호검출 방법은 적외선 입사를 직접 받는 볼로미터 센서부분과 그 센서에서 출력되는 전기적 신호를 영상 신호에 적합하도록 변환시켜주는 신호검출회로 부분으로 나눌 수 있다. 비냉각형 적외선 센서에서의 신호검출방법은 다음과 같이 설명할 수 있

다. 먼저 볼로미터 센서에 적외선이 입사되면 적외선의 복사에너지가 볼로미터로 전달되고 전달된 에너지는 볼로미터의 저항을 변화시킨다. 이때 볼로미터에 바이어스(전압 또는 전류 바이어스)를 인가하면 볼로미터의 저항 변화량에 따른 전기적 신호(전압 또는 전류)의 변화량을 얻을 수 있다. 그림 1(a)는 기본적인 적외선 신호검출회로를 나타내었다. 이 회로는 적외선 입사를 받으면 저항변화가 일어나는 픽셀인 볼로미터(bolometer)와 상온(25°C)에서 일정한 저항값을 가지는 기준 저항을 직렬 연결하여 양 끝단에 전압 바이어스를 인가하면, 두 저항비에 의한 전압 분배로 볼로미터와 기준 저항 사이의 공통모드 전압이 결정되고 이 출력전압은 적분기를 통해 최종 출력되는 방법이다 [1,2].

a. Corresponding author; semicad@korea.ac.kr

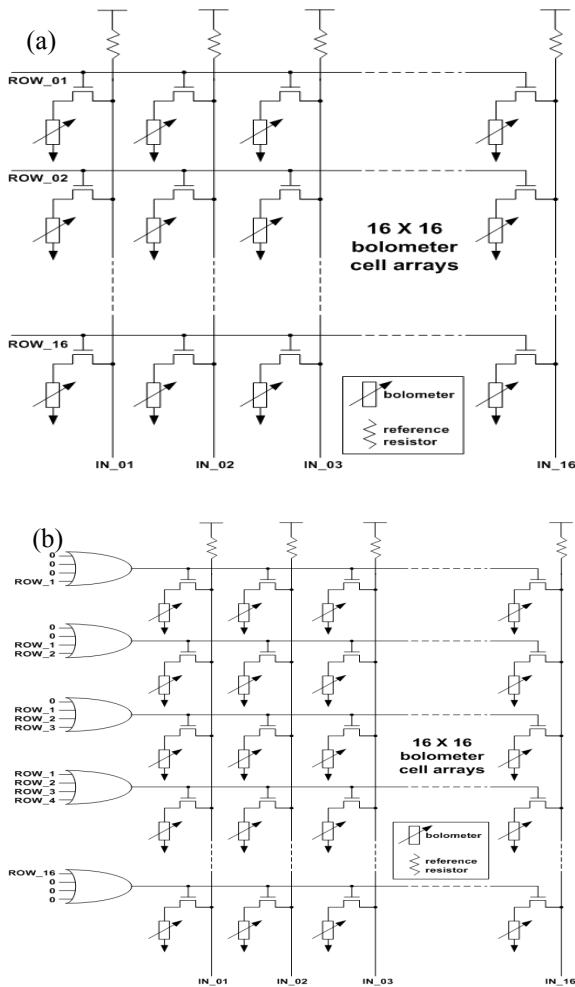


Fig. 1. The bolometer cell structure, (a) the conventional bolometer cell structure, (b) an equalization technique bolometer cell structure.

그러나 이 방식은 공정상의 변동으로 인한 각 셀의 볼로미터 저항들의 값이 각기 다르므로 출력되는 공통모드 전압은 각 셀에 따라 다르게 출력되어 출력신호의 왜곡으로 나타나게 된다. 또한 이 구조는 저항값이 고정되어있는 기준 저항을 사용하게 되는데 기준 저항과 볼로미터 저항 간의 오프셋(offset)과 어레이(array) 및 기준 저항 값이 증가하게 되면 칩 면적에 증가하는 문제점을 야기한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 그림 1(b)와 같이 평균화 기법을 적용한 신호검출회로를 제안하였다. 그림 1(b)에 나타난 신호검출 회로는 평균화 기법을 이용한 셀 구조를 적용하여 각 셀의 불균일성으로 생기는 문제점을 보완하였다. 평균화 기법은 기존의 볼로미터 셀 구조에서 4입

력 OR게이트를 추가하여 4개의 볼로미터 셀을 병렬로 연결하여 볼로미터 저항값을 1/4로 줄이는 기술이다. 이 기법을 사용하면 볼로미터의 불균일성을 기존 대비 4배 감소시킬 수 있다 [3,4]. 하지만 이 구조역시 기준 저항을 사용하고 있으며 안정적이고 균일하게 인가되어야 할 볼로미터 바이어스가 균일하지 못하다.

본 논문에서는 이러한 문제점들을 보완한 차동 델타 샘플링 (differential delta sampling, DDS)기법을 이용한 비냉각형 적외선 검출회로를 제안하였다. 제안된 회로는 셀 간의 불균일성에 대한 왜곡을 차동 델타 샘플링기법을 적용하여 보상하였으며 기준 저항에 의해 생기는 문제점 또한 기준 저항을 사용하지 않고 블라인드 볼로미터 (blind bolometer)로 대체함으로써 해결하였다.

2. 실험 방법

2.1 차동 델타 샘플링을 위한 셀의 구조

그림 2는 차동 델타 샘플링을 위한 셀의 배열을 나타내고 있다. 제안한 셀 어레이 구조에는 두 종류의 볼로미터가 사용된다. 하나는 적외선 입사를 받아들이는 액티브 볼로미터 (active bolometer)와 다른 하나는 적외선 입사를 받지 못하게 블라인드 처리된 블라인드 볼로미터 (blind bolometer)이다. 블라인드 볼로미터는 액티브 볼로미터와 똑같이 MEMS 공정을 통해 제작되고 같은 특성을 가지지만 적외선이 입사되어도 저항변화를 일으키지 못하게 블라인드 처리되었기 때문에 액티브 볼로미터가 적외선 입사를 받지 않을 때의 볼로미터 저항값과 같다.

기존 회로에서 사용하던 기준 저항을 제거하고 그 대신에 블라인드 볼로미터 저항을 사용함으로써 기준 저항으로 발생하는 문제점인 기준저항과 볼로미터 저항간의 오프셋은 크게 감소하게 된다. 또한 기준 저항이 증가하여 생기는 칩 면적의 불리함도 크게 줄어든다. 제안한 셀 어레이 구조는 차동 델타 샘플링을 위해 설계되었으며 이를 통해 공정 변화에 의한 오프셋과 노이즈 (noise)를 아주 쉽게 제거할 수 있게 된다.

2.2 차동 델타 샘플링

차동 델타 샘플링 회로도를 그림 3(a)에 나타 내었

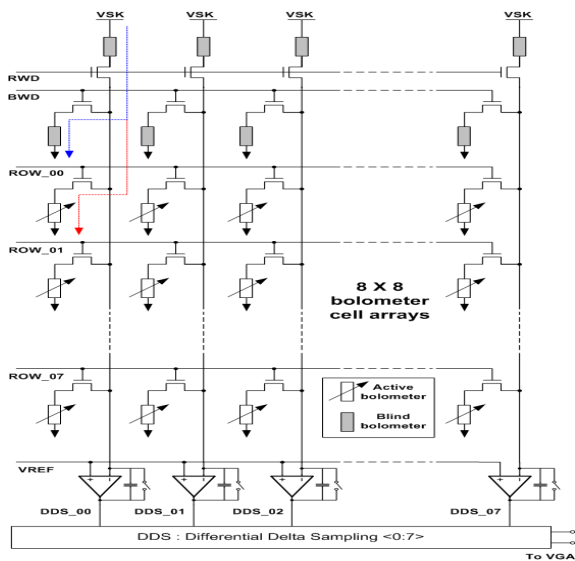


Fig. 2. The bolometer cell structure for differential delta sampling.

다. 차동 델타 샘플링은 적분기로부터 출력되는 액티브 볼로미터 데이터와 블라인드 볼로미터 데이터 값을 각각 저장하는 커패시터 2개, 각각의 입력을 컨트롤하는 스위치 2개(AD_SW, BD_SW), 두 데이터를 초기화하는 스위치 RESET_SW 1개, 받아들인 입력을 출력하는 소스 폴로워 (source follower) 2개, 출력을 컨트롤하는 스위치 CS_SW 2개와 소스 폴로워의 전류바이어스 2개로 간단하게 구성된다. 차동 델타 샘플링의 동작원리는 그림 2의 볼로미터 셀 구조와 그림 3(a), (b)에 나타난 DDS와 신호검출 회로의 전체 구성도를 보면 쉽게 알 수 있다. 초기에 적분기는 적분 스위치가 닫혀있어 적분기의 기준전압인 VREF가 그대로 출력이 되고 이 때 RWD가 신호가 "High"되어 VSK전압과 연결되어있는 블라인드 볼로미터들에 전압 바이어스가 인가되어 일정한 전류를 출력한다. 이때 BWD 신호가 "High"가 되면서 접지와 연결되어 있는 블라인드 볼로미터에 전압 바이어스가 인가되고 적분 스위치가 열려 블라인드 볼로미터 간의 전류 차를 적분한다. 적분된 전압 신호는 다음 DDS의 BD_SW 스위치를 통해 node_R에 연결되어있는 커패시터에 저장된 후 BWD 신호가 "Low"가 되고 바로 ROW_<*>의 신호가 "High"가 되어 적외선 입사를 받은 액티브 볼로미터의 데이터를 위와 같은 과정을 통해 적분되어 DDS의 AD_SW 스위치를 통해 Node_S에 연결되어있는 다른 한쪽 커패시터에 저장

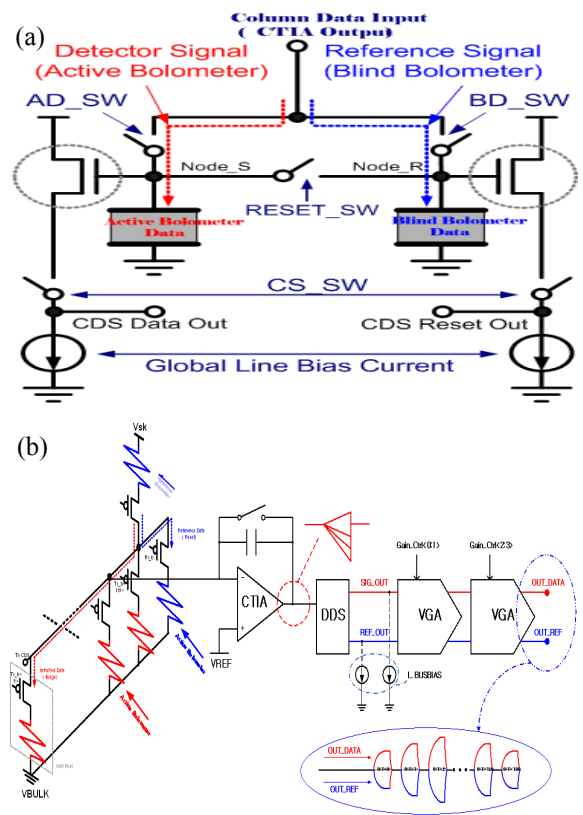


Fig. 3. Differential delta sampling & total structure of the ROIC, (a) differential delta sampling, (b) total structure of the ROIC.

되고, 이 저장된 데이터들은 CS_SW 스위치 신호에 의해 각각 차동 출력된다. 이 출력신호는 차동 입력을 받는 그 다음 단 VGA (variable gain amplifier)를 통해 최종 출력된다.

여기서, 공정 변화에 의한 오프셋과 노이즈 보상은 DDS에서 차동으로 출력된 데이터들이 그 다음 단인 VGA를 통해 차동 출력되기 때문에 공정 변화에 의한 오프셋과 노이즈들이 서로 상쇄되어 쉽게 제거된다.

3. 결과 및 고찰

제안한 검출회로의 검증은 위해서 8x8 어레이로 설계한 검출회로의 전체 블록도를 그림 4에 나타내었다. 그림 4에 나타낸 전체 블록도의 구성은 다음과 같다. 전체 타이밍을 컨트롤 해주는 timing control block, 볼로미터 픽셀의 row를 컨트롤하는 row top

Table 1. Target temperature variation vs resistance variation of the bolometer.

Target Temp.	Bolometer Resistance Value [Mohm]		
	-5%	-	+5%
10°C	1.045472	1.100497	1.155522
20°C	1.036536	1.091090	1.145645
30°C	1.026406	1.080427	1.134448
40°C	1.014843	1.068256	1.121669
50°C	1.000311	1.052959	1.105607
60°C	0.983865	1.035647	1.087429

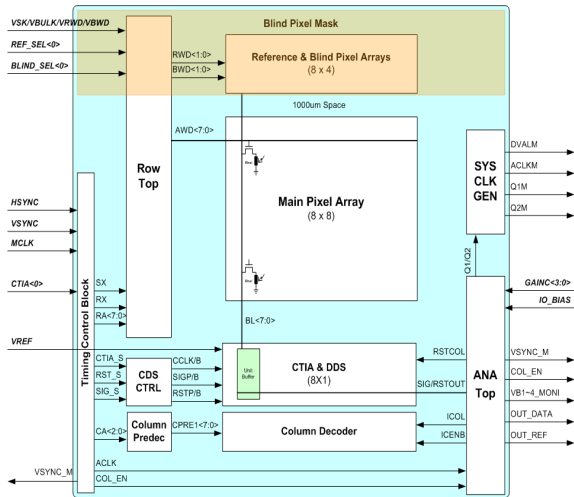


Fig. 4. Top block of the proposed ROIC.

block, CTIA (capacitive trans-impedance amplifier)와 DDS를 컨트롤하는 CDS (correlated double sampling) block, 볼로미터 픽셀의 column을 컨트롤하는 column predec과 column decoder block, 볼로미터가 모놀리식 공정으로 연결되는 reference&blind pixel arrays와 main pixel array block, VGA와 Bias회로 등 아날로그 회로가 들어있는 ANA top block과 ANA top의 클럭을 컨트롤하는 SYS CLK GEN block으로 구성된다. 설계를 위해 사용된 공정은 0.35 μm UMCJ 3.3 V/5 V CMOS mixed-signal process이다. 그림 4에 나타낸 전체 블록도는 공급전압 VCC3= 3.3 V (3.3 V power), VCC5= 5 V(5 V power), VSK= 4 V, VBWD= 3.3 V, VREF= 2 V 그리고 VGA Gain= X4

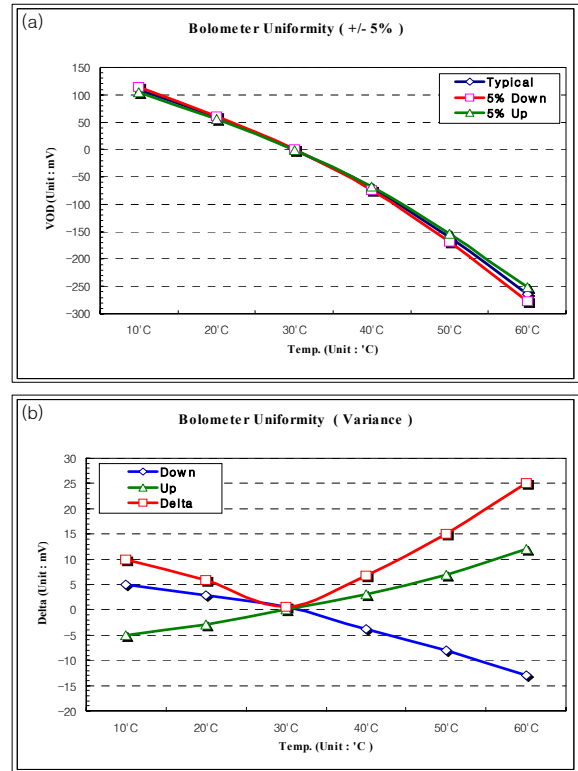


Fig. 5. Top simulation result when bolometer uniformity $\pm 5\%$, (a) temperature variation vs. differential output voltage, (b) the difference between typical and $\pm 5\%$ uniformity results.

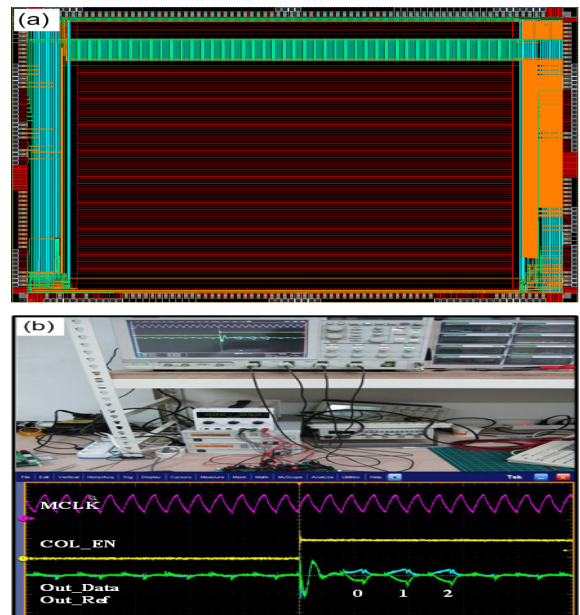


Fig. 6. Top layout & chip test results, (a) top layout, (b) fabricated chip test results.

의 조건으로 Hspice 시뮬레이션 되었고, 그 시뮬레이션 결과를 그림 5에 나타내었다. 검증에 위해 사용된 볼로미터는 (주)오카스에서 제공한 타겟 (target) 온도의 변화에 따른 볼로미터의 저항변화 데이터를 기준으로 일반 저항으로 모델링하여 검증하였고, 볼로미터의 타겟 (target) 온도 변화에 대한 저항변화량을 표 1에 나타내었다.

그림 5(a)는 볼로미터의 타겟 온도가 10°C~60°C로 변할 때 최종 출력단의 차동전압 (VOD) 값과 볼로미터의 uniformity가 $\pm 5\%$ 일 때의 출력 전압을 비교한 것이다. 그림 5(b)는 제안된 검출회로가 볼로미터 uniformity에 얼마나 영향을 받는지 알아보기 위해서, 그림 5(a)의 결과에서 typical 출력 값과 +5% 출력 값의 차를 up으로 -5% 출력 값의 차를 down으로 나타내고 +5%와 -5% 값의 차를 절대값 delta로 나타낸 것이다. 그림 5(a)에 나타낸 결과와 같이 볼로미터의 uniformity가 $\pm 5\%$ 일 때 최대 변화량은 -13.5 mV~+12 mV 이내이고 그 비율은 -5.1%~+4.5%이다.

제안된 검출기회로는 블라인드 볼로미터와 액티브 볼로미터가 픽셀어레이부분에 모놀리식 공정으로 연결되게 설계되었으며 검출기회로의 자체 테스트를 위하여 볼로미터 대신에 저항을 달수 있게끔 테스트핀들을 포함하여 설계되었다. 제작된 검출기회로는 자체 테스트를 위해서 테스트보드를 직접 제작하였으면 테스트핀들을 이용하여 볼로미터 대신에 외부에 가변저항을 연결하여 검출기회로만을 테스트하였다.

그림 6은 실제로 제작된 칩 layout과 테스트결과를 나타낸 것이다. 테스트를 위해 볼로미터 대신에 사용된 저항은 1 M Ω +200 k Ω 가변저항을 사용하였으며 사용된 장비는 오실로스코프 (Tektronix DPO 7,354) 1대와 파워서플라이 2대 (Agilent U8,002A)이다. 그림 6(b)에 나타낸 결과는 블라인드 볼로미터대신에 사용된 저항과 액티브 볼로미터 대신에 사용된 저항의 차이가 50 k Ω ~100 k Ω 차이를 보일 때의 Out_Data와 Out_Ref 이고, 이때의 차동출력 VOD (Out_Ref - Out_Data)는 약 260 mV이다.

4. 결론

본 논문에서는 MEMS 공정으로 제작되는 비냉각형 볼로미터 센서의 공정 시 발생하는 불균일성에 의한 출력 신호의 오프셋과 잡음을 보상하고자 기준신호와 검출신호의 차이를 보상하여 출력하는 차동 델타 샘플링 기법을 이용한 비냉각형 적외선 검출기 회로를 제안하였다. 차동 델타 샘플링을 통한 차동 출력을 위해선 검출 신호 이외에 적외선 복사 에너지에 따라 변하지 않는 일정한 기준 신호가 필요하다. 이를 위해 블라인드 볼로미터를 이용한 셀 어레이 구조를 새로 제안하였으며 이를 통해 생성된 신호는 각각 샘플링 되어 차동 델타 샘플링 회로를 통해 두 샘플링 된 신호의 차이를 출력함으로써 공정 변화에 의한 오프셋을 보상하며 안정적인 신호 전달을 하게 된다. 제안된 검출회로는 공정변화에 의한 신호 왜곡의 범위를 최대 9.6% 까지 보상할 수 있으며 기존의 평균화 기법을 이용한 검출회로(약 15%) 보다 약 5.4% 향상 되었다 [3].

감사의 글

본 논문은 '서울시 산학연 협력사업(JP10064)'에 의한 것임.

REFERENCES

- [1] S. J. Hwang, A. Shin, H. H. Shin, and M. Y. Sung, *Proc. of IEEE ISIE*, 2778 (2006).
- [2] S. J. Hwang, S. W. Ryu, H. H. Shin, and M. Y. Sung, *Proc. of SPIE.*, **1**, 6414 (2006).
- [3] H. H. Shin, S. J. Hwang, E. S. Jung, S. W. Yu, and M. Y. Sung, *Trans. Electr. Electron. Mater.*, **8**, 196 (2007).
- [4] H. H. Shin, S. J. Hwang, E. S. Jung, S. W. Yu, and M. Y. Sung (The 15th Korea Conference on Semiconductor, *Pyeongchang, Korea*, 2008) p.597.