

Color-Filter 및 Microlens를 포함한 CMOS Image Sensor의 Optical Stack 구조 별 Pixel FPN 특성 및 원인 분류

최운일¹, 이희덕^{1,a}

¹ 충남대학교 전자전파정보통신공학과

Pixel FPN Characteristics with Color-Filter and Microlens in Small Pixel Generation of CMOS Image Sensor

Woonil Choi¹ and Hi-Deok Lee^{1,a}

¹ Department of Electronic Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

(Received September 28, 2012; Accepted October 26, 2012)

Abstract: FPN (fixed-pattern-noise) mainly comes from the device or pattern mismatches in pixel and color filter, pixel photodiode leakage in CMOS image sensor. In this paper, optical stack module related pixel FPN was investigated and the classification of pixel FPN contribution with the individual optical module process was presented. The methodology and procedure would be helpful in reducing the greater pixel FPN and distinguishing the complex FPN sources with respect to various noise factors.

Keywords: CMOS image sensor, pixel FPN, Microlens, CFA (color-filter-array)

1. 서 론

최근 영상기술과 CMOS 기술의 융합체인 CIS (CMOS image sensor)는 널리 사용되고 있으며 지속적인 영상기술의 발전은 고화소 CIS 구현과 함께 매우 높은 image quality를 요구하고 있다. 센서 연구자들에게는 이러한 고화질 영상 구현을 위하여 영상 잡음성분을 규명하고 그 원인을 제거하거나 잡음 특성을 감소시키는 것이 매우 중요하다.

특히, CIS 분야에서 이러한 잡음 성분과의 활발한 연구는 언제나 주요 연구 주제가 되어왔고 [1], 최근에는 이러한 연구 활동의 성과로 인하여 화질 수준이 CCD (charge coupled device)와 견주어도 손색이 없는 수준에 이르게 되고 있다. 잡음 감소의 성과 [2-4]로 인하여 고화소 영상구현을 이루고 있으나 고화소

구현을 위한 pixel size의 shrink로 인하여 최근에는 미세공정을 기반으로 한 pixel size가 가시광선 파장대역 근방까지 줄어들면서 pixel FPN 특성이 특히 주목받고 있으며 잡음수준 또한 pixel 내부 구성 소자 성분 mismatch 이외에도 pixel 마다의 미세 광학구조 및 그 재료 특성 수준까지 잡음 특성 원인 분석이 필요한 상황에 이르고 있다 [5].

이에 본 논문에서는 color filter, microlens, OCL 등 미소 광학구조의 성분별 pixel FPN 기여성분을 분리 분석하고, 제시하는 실험 방법을 통해 pixel FPN 분리 및 분석 방법을 소개하고자 한다. 소개된 방법으로 분리된 개별 잡음 성분을 바탕으로 모두 합쳐진 잡음 성분을 올바르게 예측하는 것인지를 정량적인 수치로 실례 검증하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 Sample 준비

실험에 사용된 wafer 및 sample은 일반적인 CMOS image sensor인 0.11 μm 1 poly 4 metal 공정을 이용하여 제작되었으며 pixel pitch는 1.75 μm 이다.

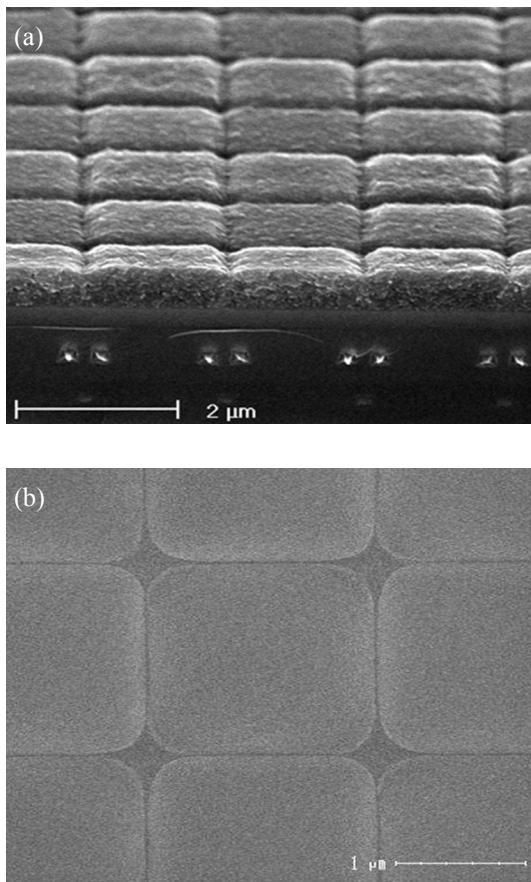


Fig. 1. (a) SEM pictures of cross-section just after the color filter step and (b) TOP view after the completion of full process.

Sample은 Metal4 공정 이후 일반적인 CIS 후공정 순서에 따라 진행되었으며 color filter 공정 이후 평탄화를 목적으로 OCL 공정을 진행하고 microlens를 형성하였다. 특히 미세광학에 의한 잡음성분 분석을 위하여 그림 1에서와 같이 color filter 및 microlens 공정이 1.75 μm pixel에 잘 최적화 하여 진행하였다.

2.2 실험 방법

Pixel 자체의 pixel FPN 성분 이외에 optical stack 구조에 따른 잡음성분 분리 분석을 위하여 wafer split을 그림 2와 같이 진행하였다.

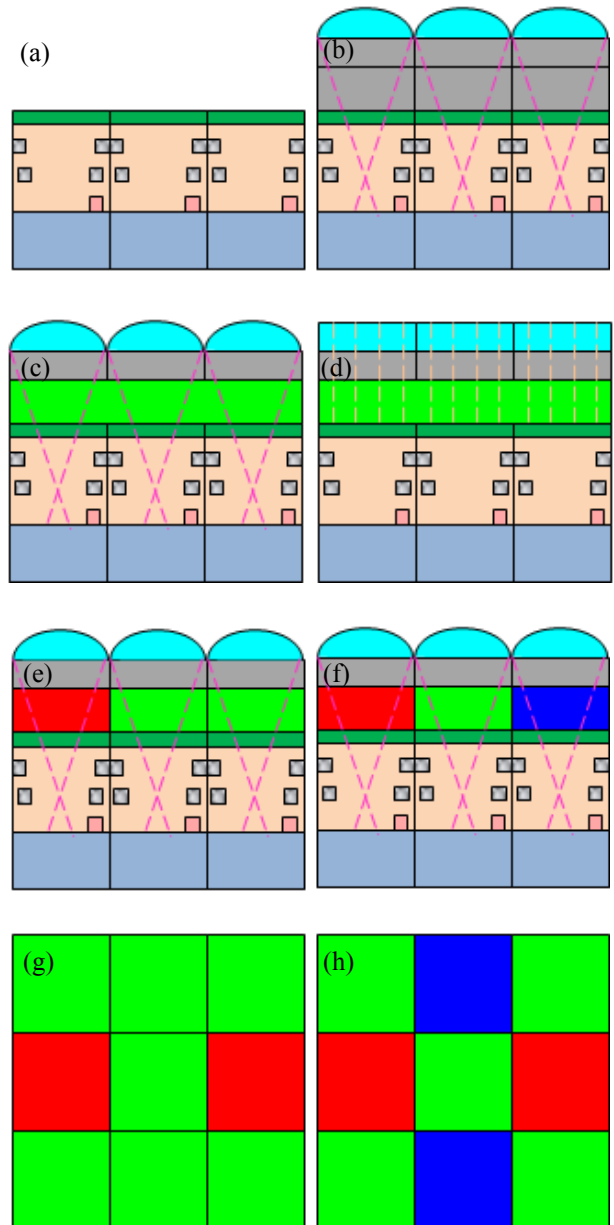


Fig. 2. Split conditions for experiments. (a) split-1 (BW-wafer), (b) split-2 (BW+OCL+ML), (c) split-3 (green+OCL+ML), (d) split-4 (G+OCL+MLcoat), (e) split-5 (R/G+OCL+ML), (f) split-6 (R/G/B+OCL+ML), (g) top view of split-5, and (h) top view of split-6.

3. 결과 및 고찰

모든 wafer들은 동일한 공정으로 진행되었으며 마지막 optical module 공정만 그림 2에서와 같이 실험 조건에 따라 분리 진행되었다. 그리고 그 response curve는 그림 3에서 보는 바와 같다. 각 조건 별 saturation level이 서로 다르게 나타나고 있는데 이는 공정 variation에 따른 photodiode의 full well capacity 변화에 의한 것으로서 실험 결과에 따르면 약 6% 정도 variation이 있다. 이러한 변화는 후속 잡음 특성 분석에 영향을 주지 않는다. 왜냐하면, 올바른 광학적 잡음 특성 분석을 위해 saturation의 50% 되는 조명 조건을 사용하기 때문이다. 그리고 pixel FPN 특성 결과는 green color data를 기준으로 추출하였다.

이제 pixel FPN의 비교 결과인 그림 4에서 본다면, 조건 1, 조건 2 및 조건 6은 각각 pixel FPN이 ~ 1.0%, ~0.95%, ~1.5%를 나타내고 있다. 이를 서로 상관성이 없는 잡음 요소들에 대한 square sum의 잡음 계산법으로 계산한다면 조건들 간에 차이로부터 각 성분에 기인한 잡음 성분을 아래와 같이 분리할 수 있다.

$$\begin{aligned} \sigma_{Total}^2 &= \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \dots \\ \sigma_{Focus} &= \sqrt{1.0^2 + 0.95^2} = 0.31\% \\ \sigma_{CFA+ML} &= \sqrt{1.50^2 + 0.95^2} = 1.16\% \end{aligned}$$

상기 계산과 같이 조건 별로 분리하여 본다면 조건 1과 조건 2의 비교로부터 non-focusing 입사광은 pixel 내 non-photodiode 영역의 소자들 - reset transistor, source follower, row select switch- 의 metal routing에 의한 간섭으로 0.31%의 pixel FPN 잡음 기여가 있다. 또한, 조건 2와 조건 6의 비교로부터는 CFA와 microlens에 의해 1.16%의 pixel FPN에 기여하고 있음을 알 수 있다.

$$\begin{aligned} \sigma_{Greenmaterial} &= \sqrt{1.22^2 - 0.95^2} = 0.77\% \\ \sigma_{CFApatterning} &= \sqrt{1.50^2 - 1.22^2} = 0.87\% \end{aligned}$$

그림 5를 통해서도 명기된 조건들의 비교를 통해 color filter material 자체의 잡음 기여 성분과 color filter pattern에 관련된 pixel FPN 특성을 계산할 수

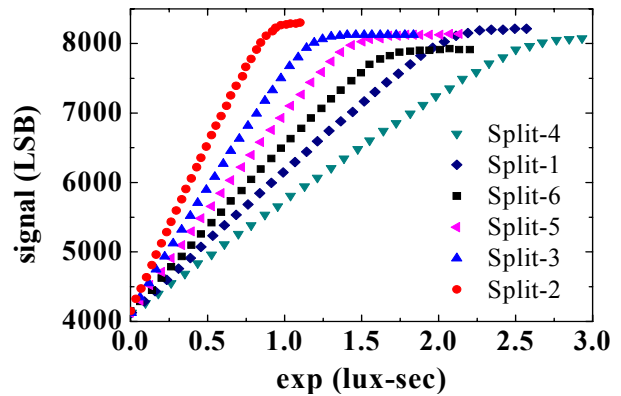


Fig. 3. Green response curve with respect to splits.

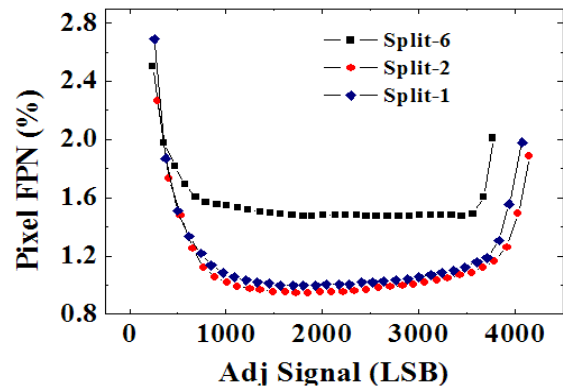


Fig. 4. Pixel FPN result due to microlens focusing.

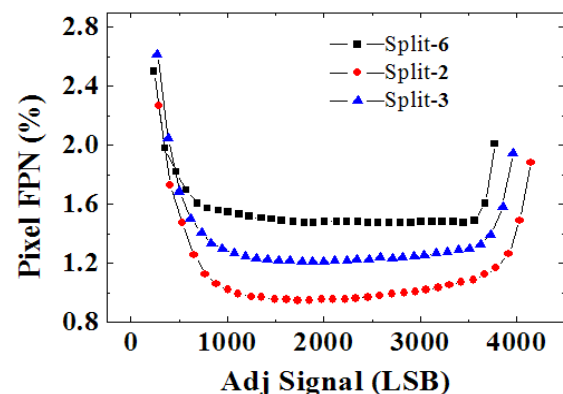


Fig. 5. Pixel FPN result due to the color pattern.

있다. 주어진 결과에서와 같이 조건 2, 조건 3, 조건 6은 각각 ~0.95%, ~1.22%, ~1.50%를 나타내고 있다. 조건 2와 조건 3의 비교에서 유일한 차이는 green color

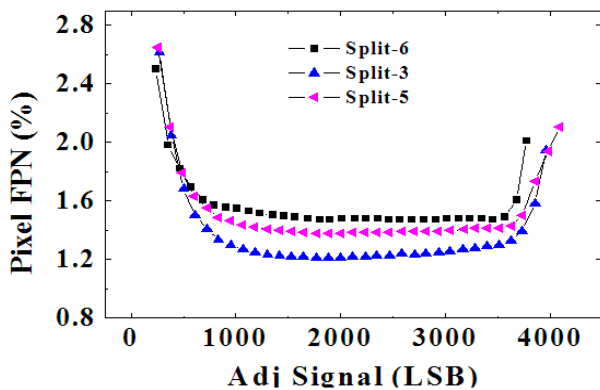


Fig. 6. Pixel FPN result with split of color pattern.

filter 또는 OCL 인가의 차이이며 잡음 계산법에 따라 green color filter material 자체의 pixel FPN 잡음성분이 0.77%로써 무시할 만큼 작지 않음을 알 수 있다.

이는 또한 그동안 많은 연구자들과 산업체에서 pixel shrink와 함께 color filter 재료 개발이 이루어져 왔으나 아직 평가되어지지 못해 왔던 color filter 재료 자체에 기인한 pixel FPN 잡음 성분을 평가하는 첫 시도이기도 하다. 그리고 조건 3과 조건 6의 비교에서는 color filter의 patterning으로 인하여 green pattern 4면에서 각기 다른 color로 인접함으로 인한 잡음기여 성분이 ~0.87%임을 알 수 있다.

Pattern 기여 성분을 가로 방향과 세로 방향으로 보다 세분화하여 보기 위해 그림 6에서와 같이 조건 3(1.22%), 조건 5(1.38%) 및 조건 6(1.50%)을 비교하여 보았다. 조건 5의 경우 green을 중심으로 가로방향으로 red color pattern이 인접하므로 조건 3과 비교하여 가로 방향 pattern edge에서의 non-uniformity에 의한 pixel FPN은 ~0.64%이다. 이와 유사한 방법으로 조건 5와 조건 6의 비교로부터 세로 방향 pattern edge에 의한 pixel FPN 잡음 성분은 ~0.59%임을 알 수 있다.

$$\sigma_{Vertical} = \sqrt{1.50^2 - 1.38^2} = 0.59\%$$

$$\sigma_{Horizontal} = \sqrt{1.38^2 - 1.22^2} = 0.64\%$$

이상과 같이 계획된 실험 조건에 따라 앞서 서술된 방법을 토대로 pixel FPN 잡음을 성분 별로 분리할 수 있다. 이에 종합적으로 각 성분에 대한 pixel FPN 잡음 기여도를 표 1과 같이 정리하였다.

Table 1. Summary of each component's contribution to pixel FPN.

Components	Pixel FPN Contribution
Pixel itself	0.95%
CFA material itself	0.76%
CFA patterning	0.87% (0.59%(V), 0.64%(H))
Non-Focusing@BW	0.31%
OCL Process	~ 0%
Total pixel FPN	~ 1.50%

분석 결과에 따라 pixel 자체가 가지고 있는 pixel FPN 성분은 0.95%가 있다. 이는 pixel를 이루는 transfer gate, source-follower, reset noise 및 dark current non-uniformity에 기인한다 [6,7]. Pixel 내부 원인 이외 optical module 관련 pixel FPN 잡음 성분은 ~1.16%로서 pixel 자체 잡음 기여 성분보다 높다. 상기 분석의 결과가 올바르게 분리된 것인지를 검증하는 방법으로서 실험 조건 별 비교 분석을 통해 분리된 각 잡음 성분들을 모두 square sum을 한 결과와 total pixel FPN 값을 비교하여 볼 수 있다. 각 성분들의 square sum 값은 ~1.53%이며, 이 값은 total pixel FPN 값과 ~1.50%에 매우 근접한 결과를 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 pixel FPN을 CFA, OCL 및 microlens 등 pixel optical module 공정에 따른 성분별 잡음 기여를 분리하고 분석하는 방법을 제시하였다. 이러한 optical 성분 별 잡음 분석 과정에서 실험 진행 이전에 조건 1에서와 같은 non-focusing light 경우는 pixel FPN 기여도가 높을 것으로 추정하였으나 실제 실험 결과에서는 non-focusing에 의한 잡음 기여 성분 보다는 color filter material 자체 또는 color filter pattern edge에 의한 잡음 기여가 훨씬 높다는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 방법을 통해 pixel 개발 및 image sensor 특성 개선할 때 원인을 올바르게 분리할 수 있을 것이다. 다만, 본 제시된 실

험 조건은 여러 wafer를 필요하거나 wafer-to-wafer variation이 존재할 수 있다는 단점을 가지고 있다. 그러나 다음과 같이 하나의 chip에 영역을 분할하고 sub-window 별로 제시된 optical 실험 종류를 탑재한다면 실험 재현성 및 wafer variation에 대한 유의차를 줄이면서 결과를 도출할 수 있을 것이다 [8,9].

감사의 글

본 연구에 많은 도움을 주신 충남대 권혁민 박사께 감사의 말씀을 올립니다. 또한 본 과제 (연구)는 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 전략 기술 인력 양성 사업으로 수행된 결과임.

REFERENCES

- [1] E. R. Fossum, *IEEE Trans. Electron Dev.*, **44**, 1689 (1997).
- [2] H. Y. Cheng and Y. C. King, *IEEE Electron Devices Lett.*, **23**, 538 (2002).
- [3] B. C. Burkey, W. C. Chang, J. Littlenhale, T. H. Lee, T. J. Tredwell, J. P. Lavine, and E. A. Trabka, *IEDM Tech. Dig.*, 28 (1984).
- [4] R. M. Guidash, T. H. Lee, P. P. K. Lee, D. H. Sackett, C. I. Drawley, M. S. Swenson, L. Arbaugh, R. Hollestein, F. Shapiro, and S. Domer, *IEDM Tech. Dig.*, 927 (1997).
- [5] T. Lulé, S. Benthien, H. Keller, F. Mutze, P. Rieve, K. Seibel, M. Sommer, and M. Böhm, *IEEE Trans. Elec. Dev.*, **47**, 2110 (2000).
- [6] N. V. Loukianova, H. O. Folkers, J. P. V. Maas, D. W. E. Verbugt, A. J. Mierop, W. Hoekstra, E. Roks, and A. J. Theuwissen, *IEEE Trans. Elec. Dev.*, **50**, 77 (2003).
- [7] H. Kwon, I. Kang, B. Park, J. Lee, and S. Park, *IEEE Trans. Elec. Dev.*, **51**, 178 (2004).
- [8] I. Inoue, N. Tanaka, H. Yamashita, T. Yamaguchi, H. Ishiwata, and H. Ihara, *IEEE Trans. Elec. Dev.*, **50**, 43 (2003).
- [9] M. Mori, M. Katsuno, S. Kasuga, T. Murata, and T. Yamaguchi, *IEEE J. Solid-State Circuits*, **39**, 2426 (2004).