

Photomask 고해상도 검사기에서 설계 데이터 비교 알고리즘 (The comparative algorithm of the design data in the photomask inspection machine with high resolution)

*김희섭, 오창석, 안태완
(Hoi Sub Kim, Chang Seog Oh, Tae Wan Ahn)

요 약

Photomask 고해상도 검사기를 개발함에 있어서 기계 설계, 제어 설계, 소프트웨어 설계 등 3개의 카테고리가 필요하다. 그 중에서 소프트웨어 설계는 CAD 데이터와 Photomask로부터 카메라로 읽어 들인 실제 영상과의 비교를 통하여 불량을 검출한다. 픽셀 단위로 비교하기 때문에 전체 영역이 커서 블록으로 나누어서 비교하는 블록 매칭 알고리즘을 사용한다. 그리고 기계 조립 정도에서 오는 오차를 보정하기 위하여 Calibration 알고리즘을 쓰고, Photomask의 곡면을 보정하기 위하여 카메라 사전 초점 알고리즘을 제시한다.

Abstract

Three categories such as the design of a machine, control and software are necessary in the development of the photomask inspection machine with high resolution. Among them, the design of a software detects inferiority through the comparison of CAD data and real data read by camera from photomask. The block matching algorithm is used since the domain is large and the comparison of data by pixel is accomplished. To correct the error arising from the assembly of a machine, calibration algorithm is used and prefocusing algorithm is suggested to correct the surface of the photomask.

* 이 논문은 2005년도 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국대학교육협의회 대학교수 국내교류 연구비 지원에 의한 것임.

Key words : Photomask, Block Matching Algorithm, Calibration

© THE KOREAN SOCIETY FOR INDUSTRIAL AND APPLIED MATHEMATICS, 2006

1. 서 론

최근 반도체 및 LCD 제조 시 매우 중요한 원재료로 사용되는 포토마스크(Photomask)는 유리기판 위에 반도체의 미세회로 혹은 LCD 제품의 각종 Pattern을 형상화한 것이다. 즉, 투명한 석영기판 상층에 도포된 크롬 박막을 이용하여 반도체 집적회로와 LCD 패턴을 실제 크기의 1~5배로 식각해 놓은 제품을 말한다. 설계자가 설계한 회로 또는 각종 패턴을 첨단 노광시스템(MEBES : Manufacturing Electronic Beam Exposure System)을 이용해 웨이퍼에 묘사시키는 사진 원판이기 때문에 감광물질이 입혀진 기판에 패턴을 묘사할 수 있게 해준다는 점에서 사진의 필름과 유사한 역할을 수행한다고 할 수 있다. 이 포토마스크에 담겨져 있는 전자회로 선폭은 마이크로 단위의 초미세 형상 기술을 통해 실현되는 것이다. 제품이 나노 급으로 발전하면서 이 Photomask가 점점 정밀하게 설계되고 제작되어서 기존의 10um까지 성능을 가진 검사 장비로는 대응이 불가능하다. 따라서 5um 이하까지 분해능을 가지는 2-D 카메라를 사용하여 정규 패턴이 아닌 임의의 패턴도 검사 가능한 알고리즘을 연구, 개발하고 Vision system에서 프로그래밍 하여 이 첨단 부품에 대응 가능한 검사 설비를 제작할 필요가 있다.

검사설비를 개발하는데 있어서 필요한 기본 알고리즘으로는 블록 매칭, Calibration, 카메라 초점 사전조정, CAD data를 영상 데이터로 변환 등의 알고리즘이 필요하다.

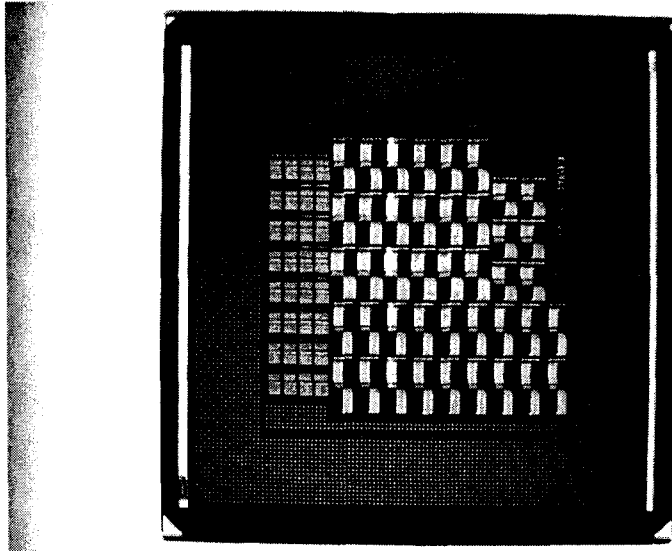
2. 시스템 및 Photomask

그림 1은 3축 수치제어를 하는 포토마스크 검사 설비 시스템이다. 카메라, 정반, PC, XY stage 등이다. Photomask가 정반위에 놓여있고 카메라가 X축, Y축을 따라 움직이면서 영상 데이터를 읽는다. Z축은 4절에서 설명하는 카메라 초점 사전조정 알고리즘에 따라 곡면 데이터를 따라서 움직인다.



(그림 1) 검사설비 시스템

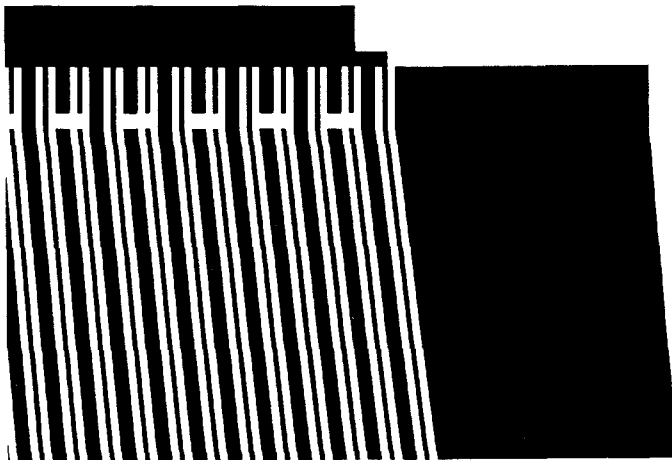
그림 2는 Photomask 원판의 한 가지 예이다. Display 제품을 설계할 때 마다 한 가지씩 나타난다. Note Book, LCD TV, 휴대폰, 자동차, 시계 등등 표시하고자 하는 패턴마다 CAD로 설계하고 그것을 제작한 것이다. 정밀 제품일수록 선폭 간의 간격이 줄어든다. 카메라로 확대하여 검사하기 때문에 블록 단위의 검사가 필요하고 크기가 커짐에 따라 블록의 개수가 급증한다. 따라서 정도뿐만 아니라 속도도 중요하다.



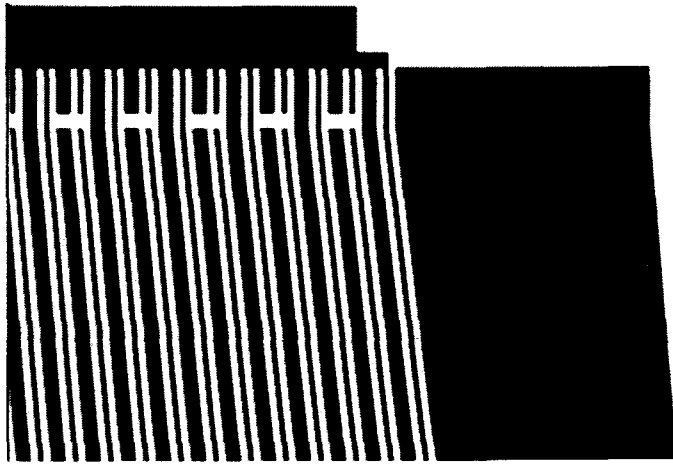
[그림 2] 포토마스크 원판

그림 3은 CAD로 설계한 패턴의 일부를 확대한 것이다.

그림 4는 제작된 포토마스크 중에서 그림 3의 부분에 해당된다. 그림에서 보듯이 제작 데이터에는 오염이 보인다. 이 오염이나 패턴 형성 시에 설계 데이터에 비해 선폭에 오차가 있는 것을 불량 검사한다.



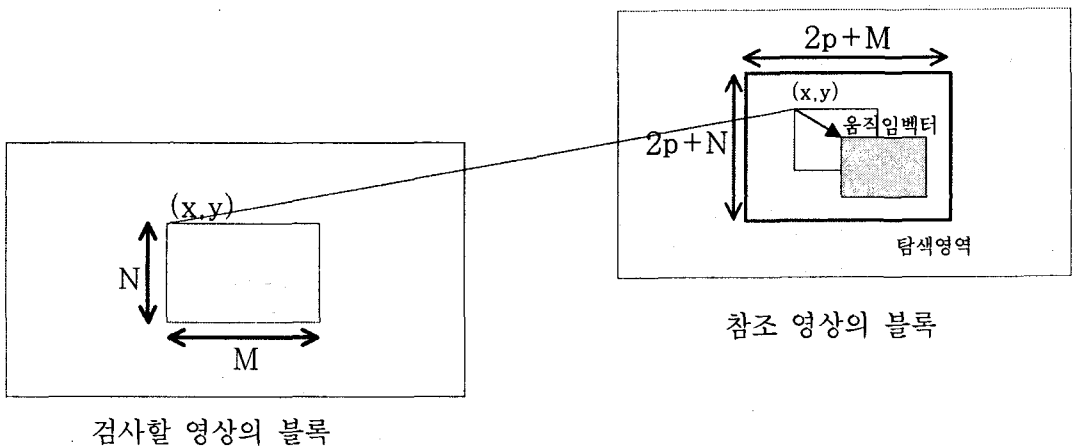
[그림 3] Photomask 설계 DATA



[그림 4] Photomask 제작 DATA

3. 블록 매칭 알고리즘

입력 영상을 작은 block으로 나눈 다음 하나의 block에 대해서 하나의 이동 벡터만을 찾을 수 있다. 즉 그림 5와 같이 검사할 영상의 블록에 적당한 크기의 search area를 두고 search area내에서 가장 유사한, 즉 가장 matching이 잘된 block을 찾아서 이동 벡터를 구할 수 있다. 이와 같은 이동 벡터 검출 방법을 BMA(Block Matching Algorithm)라 한다.



[그림 5] BMA

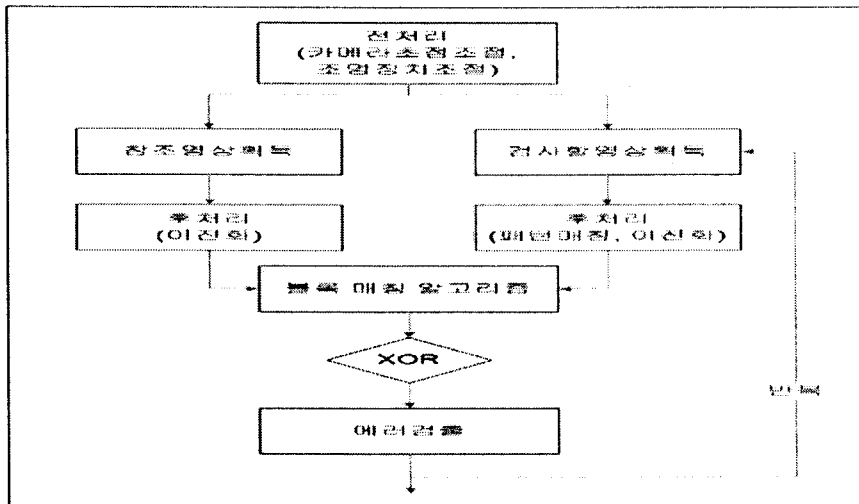
MAD (Mean of the Absolute Frame Difference)는 다음과 같이 정의된다.

$$MAD(i, j) = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |I(m, n) - I(m+i, n+j)|$$

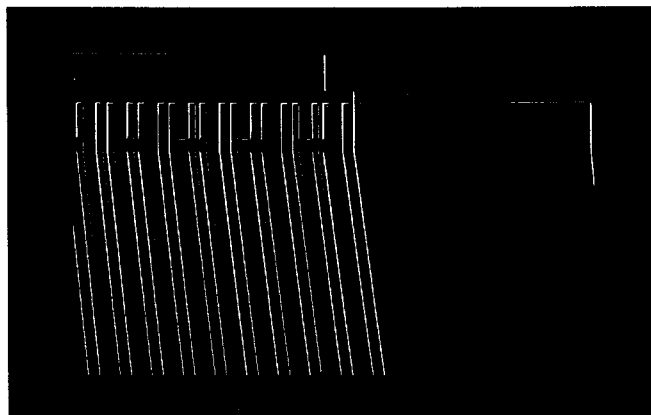
여기서, $I(m, n)$ 과 $I(m+i, n+j)$ 는 검사할 영상과 참조 영상의 픽셀에서의 값이다. 우리가 찾고자 하는 것은 matching criteria에서 $V_{u,v} = \operatorname{argmin}_{u=-p}^{p-1} \sum_{v=-p}^{p-1} MAD(u, v)$ 이 되는 블록의 왼쪽 상단의 시작점을 찾아서 두 영상의 차이를 그림 7과 그림 8처럼 표시하여 오차의 픽셀 폭이 어느 이상 되면 불량으로 판단한다. Photomask 검사기에서는 검사할 영상은 제작된 포토마스크로부터 카메라로 읽어 들인 픽셀 값이고, 참조영상은 CAD데이터를 영상데이터로 Conversion한 픽셀 값이다.

그림 6은 BMA를 하는 기본 알고리즘이다.

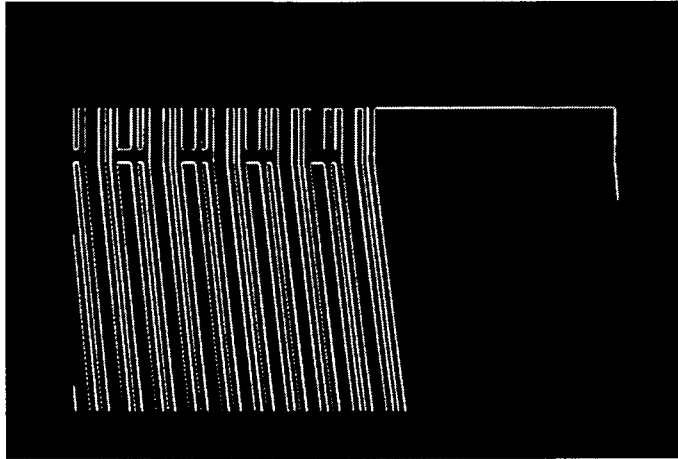
그림 7은 20um 간격으로 이동하면서 매칭되는 블록을 찾은 것으로서 설계 데이터와 제작 데이터 간의 오차를 표시한 것이다.



(그림 6) 기본 알고리즘



(그림 7) 초기 BMA DATA



(그림 8) 상세 BMA DATA

그림 8은 20um 간격으로 이동하여 매칭되는 블록을 찾은 후 그 주위를 1um 간격으로 이동하면서 매칭되는 블록을 찾았기 때문에 변위(i, j)가 정확하여 설계 데이터와 제작 데이터 간의 차이를 불량판단의 기준으로 삼을 수 있다.

4. 카메라 초점 보정 알고리즘

기계 조립 후 정반의 평탄도가 얼마나 평면에 가까우냐가 문제이다. 두 번째로는 포토마스크 원판이 얼마나 휘어져 있느냐의 문제이다. 이 두 가지 모두를 포함하여 카메라가 수평으로 이동하면서 영상 데이터를 얻을 때 초점 거리가 틀리면 희미한 영상을 얻을 때도 있고, 정상적인 영상을 얻을 때도 있다. 보통 카메라 분해능은 1.6um인데, 16um이상 휘어져 있어서 이 부분은 필수이다. 이러한 불 균일의 문제를 해결하기 위해서 카메라를 이동하면서 초점이 일정하게 되게 카메라의 z좌표를 사각형의 일정한 그리드 간격 상에 있는 그리드 점에서 읽는다. 그리고 그 이산 데이터를 활용하여 연속 곡면을 형성한다. 그 다음 이 연속 곡면을 따라서 카메라의 z좌표가 움직이면 전체적으로 밝기가 거의 같은 영상 데이터를 얻을 수 있다. 3차원적으로 읽어 들인 이산 데이터로부터 연속 데이터를 만들기 위한 곡면 식은 다음과 같다.

$$f(x, y) = \sum_i \sum_j a_{ij} x^i y^j \quad (1)$$

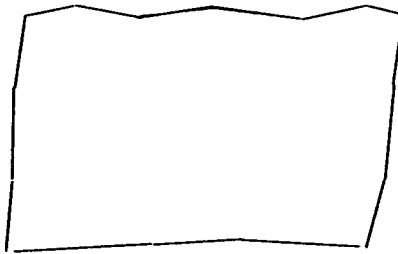
식 (1)에서 계수는 최소자승법으로 찾을 수 있고, 예를 들어 찾은 계수가 표1에 나타나 있다.

〈표 1〉 Some coefficients a_{ij} of the eq. (1)

No.	i	j	a_{ij}
1	0	0	0.0000e+00
2	0	1	2.3051e-01
3	0	2	-4.196e-02
4	0	3	-1.978e+00
5
6	8	5	0.0000e+00
7	8	6	-6.1234-13
8	8	7	0.0000e+00
9	8	8	1.6741e-17

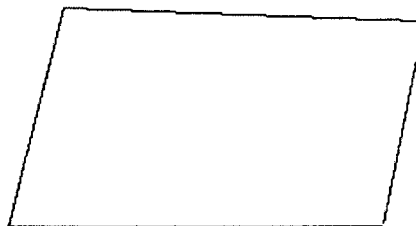
5. 좌표 Calibration

기계를 제작하게 되면 부품정도나 조립정도에 의하여 오차가 발생할 수밖에 없다. 즉 X축으로의 이동도 오차가 생기고, Y축으로의 이동도 오차가 발생한다. 즉 정사각형을 수치로 입력하여 이동하면 오차에 의해서 약간 과장하여 그리면 그림 9와 같이 찌그러진 형태의 사각형을 그린다.



〈그림 9〉 기계 이동 데이터

그러면 최소 자승법으로 4변을 직선으로 근사시킨다.



〈그림 10〉 직선 근사 데이터

즉 위와 같이 되면 그 다음 단위 길이가 1인 아래 정사각형으로부터 그림 10에 있는 사각형으로의 선형변환을 찾는다. 임의의 직사각형은 길이가 1인 단위 정사각형을 x 축으로 a 배, y 축으로 b 배하면 되므로 위의 선형변환만 찾으면 충분하다. 따라서 위 최소자승법과 선형변환 이론을 이용하여 프로그램하면 Calibration이 가능하다. 이 이론은 측정기 설비를 개발하는데도 활용 가능하다.

6. 결 론

국내에서 처음으로 큰 면적을 검사하는 Photomask 검사기를 개발함에 있어서 선진 회사 정도의 검사 수준을 만들기 위해 불량 검출 알고리즘뿐만 아니라 하드웨어적으로 생기는 오차를 보정하는 수학적 알고리즘을 개발하였다. 반도체, LCD 등 첨단 제품 제작을 위해 필수 요소인 포토마스크 제작 능력 향상으로 산업 발전에 기여하고, 국내 최초 세계 최고 수준의 검사 설비 개발 능력을 확보하였다. 시간단축, 정확도 향상을 위한 새로운 알고리즘은 지속적으로 개발이 필요하다.

참 고 문 헌

1. Kim, J.-S. ; Park, R.-H., "Local motion-adaptive interpolation technique based on block matching algorithms", Signal processing, Image communication, 1992, v.4 no.6, pp.519-528.
2. Zhou, J. ; Li, J. ; Yu, S., "Modified winner-update search algorithm for fast block matching", Pattern recognition letters, 2004, v.25 no.7, pp.807-816.
3. Lee, Liang-Wei ; Wang, Jing-Fa ; Lee, Jau-Yien ; Shie, J.-D., "Dynamic search-window adjustment and interlaced search for block-matching algorithm", IEEE transactions on circuits and systems for video technology : a publication of the Circuits and Systems Society, 1993, v.3 no.1, pp.85-87.
4. Pao, T.-L. ; Wu, J.-S., "Hybrid block matching algorithm for motion estimation", Proceedings of SPIE-the international society for optical engineering, 1996, v.2952, pp.316-324.
5. Sanz, C. ; de Zulueta, L. ; Meneses, J.M., "FPGA implementation of the block-matching algorithm for motion estimation in image coding", Lecture notes in computer science, 1996, no.1142, pp.146.
6. Dutta, S. ; Wolf, W., "A flexible parallel architecture adapted to block-matching motion-estimation algorithms", IEEE transactions on circuits and systems for video technology : a publication of the Circuits and Systems Society, 1996, v.6 no.1, pp.74-86.
7. Pan, Sung Bum ; Chae, Seung Soo ; Park, Rae-Hong, "VLSI architectures

for block matching algorithms using systolic arrays”, IEEE transactions on circuits and systems for video technology : a publication of the Circuits and Systems Society, 1996, v.6 no.1, pp.67-73.

8. Cheng, K. W. ; Chan, S. C., “Fast Block Matching Algorithms for Motion Estimation”, Conference proceedings, 1996, v.4, pp.2311-2314proceedings, 1996, v.4, pp.2311-2314.



김희섭(Hoi Sub Kim)

- e-mail : hskimm@kyungwon.ac.kr
- 1982년 서울대학교 수학과 졸업(학사)
- 1987년 KAIST 응용수학과 졸업(석사)
- 1992년 KAIST 수학과 졸업(박사)
- 1984년~1997년 삼성 SDI 종합연구소, 생산기술센터 선임연구원
- 1997년~현재 경원대학교 수학과정보학과 부교수
- 관심분야 : 수치해석



오창석(Chang Seog Oh)

- e-mail : ohcs@dreamwiz.com
- 1986년 연세대학교 전자공학과 학사졸업
- 1986년 삼성SDI 입사
- 1998년 삼성SDI 퇴사
- 2000년 (주)아이티오테크 대표이사
- 관심분야 : 3차원 비전, 영상처리



안태완(Tae Wan Ahn)

- e-mail : twahnkr@hanmail.net
- 1991년 한양대학교 전자통신공학과 학사졸업
- 1991년 삼성SDI 입사
- 1999년 삼성SDI 퇴사
- 2000년 (주)아이티오테크 입사
- 관심분야 : 3차원 비전, 영상처리