

# 기판 정렬 알고리즘 개발 및 BGA 노광 장비 적용

## Development of Panel Alignment Algorithm and Its Application to BGA Lithography Equipment

유선중<sup>1,✉</sup>

Sun Joong Ryu<sup>1,✉</sup>

1 삼성전기 기판선행개발팀 (Advanced Technology Team, Samsung Electro Mechanics Co. LTD.)

✉ Corresponding author: sjryu70@yahoo.co.kr, Tel: 010-4942-1845

Manuscript received: 2009.6.23 / Revised: 2009.9.2 / Accepted: 2009.10.12

*Alignment error of the BGA lithography equipment is mainly caused by the dimensional change of the BGA panel which is generated during the manufacturing processes. To minimize the alignment error, 'mark alignment' algorithm in place of 'center alignment' algorithm was proposed and the optimal solution for the algorithm was derived by simple analytic form. The developed algorithm distributes evenly the alignment error over the whole panel which was evaluated by the numerical simulation. Finally, the developed algorithm was implemented to the controller of the lithography equipment and the alignment error was measured at the fiducial mark location. From the measurement, it is also concluded that the developed alignment algorithm be effective to reduce the maximum value of alignment error*

Key Words: BGA (볼그리드어레이), Alignment (정렬), Fiducial Mark (인식 마크), Lithography (노광)

### 기호설명

$m_i$  = coordinates of mask's fiducial marks

$n_i$  = coordinates of panel's fiducial marks before alignment operation

$n_i^a$  = coordinates of panel's fiducial marks after the alignment operation

$N$  = number of marks in a mask or panel

$p$  = coordinates of mask's center point

$q$  = coordinates of panel's center point

$d_x, d_y, d_\theta$  = movement of the alignment stage

### 1. 서론

BGA (ball grid array)는 반도체 등 능동 전자 소자를 전자 제품의 주기판에 실장 하기 위해 사용

되는 연결 부품이다. BGA 제품의 제조 경향은 회로 선폭의 미세화 및 기판의 박판화, 대면적화로 요약할 수 있다. 현재 메모리, 베이스밴드(Memory, Baseband) 등 고성능 반도체칩과 접속하기 위한 BGA의 회로 선폭은  $20\mu\text{m}$ 에 이르고 있으며, 기판 두께는  $100\mu\text{m}$ 에 불과하다. 또한, 제조 공정의 생산성을 확보하기 위하여  $400 \times 500\text{mm}$ 의 대면적 기판을 이용하여 제조 공정을 진행하고 있다.

이와 같은 경향은 BGA 제조 과정의 핵심 공정인 노광(lithography) 공정에 있어서 마스크와 기판 간 정렬에 어려운 문제를 야기하고 있다. 공정 첫 단계에서 투입된 기판은 도금, 에칭 등의 여러 단계 화학적 물리적 처리 과정을 반복적으로 거치게 되는데, 이 과정에서 기판의 치수에 변형이 발생하게 된다. 이와 같은 현상으로 인하여 노광 공정에서 마스크(mask)와 기판의 정렬 동작이 100% 완

벽할 수 없으며 따라서, 정렬 오차를 최소화할 수 있도록 정렬 기구 메커니즘 및 정렬 알고리즘을 구성하는 것이 중요하다. 노광 공정 전단계에서 기판의 치수 변형 정도는 수백  $\mu\text{m}$  정도로서 기판에 형성되는 회로 선폭이 최소  $20\mu\text{m}$  정도임을 감안하면 노광 공정에 큰 문제를 야기할 수 있는 수준이다. 더욱이 기판의 박판화 경향 및 대면적화 경향은 이와 같은 정렬 문제를 더욱더 어렵게 만들고 있다.<sup>14</sup>

본 연구에서는 BGA 노광 장비에 있어서 기판과 마스크 간 정렬 오차를 최소화할 수 있는 알고리즘을 개발하고자 한다. 노광 장비에 사용되는 일반적인 정렬 알고리즘은 기판과 마스크의 네개의 모서리에 설치되어 있는 인식마크(fiducial mark)를 이용하여 기판과 마스크의 중심 좌표를 구한 후 이 좌표가 일치되도록 정렬 스테이지를 움직이는 것으로 구성되어 있다.<sup>5,7</sup> 그러나 이와 같은 방법을 사용할 경우 정렬 오차가 기판 전면에서 고르게 분포되지 못하고 기판의 특정 부분에서 정렬 오차가 커지게 되는 문제가 발생한다.<sup>8</sup> 본 연구에서는 이와 같은 기존 정렬 알고리즘의 문제점을 개선하기 위하여 기판과 인식마크의 중심 좌표를 이용하여 정렬 하는 방법 대신 각 마크간 정렬 오차의 합이 최소로 되게 정렬하는 방법을 제안하고자 한다. 제안하는 정렬 알고리즘을 실제 노광 장비에 구현하기 위하여 정렬 알고리즘을 해석적으로 전개하여 최적해를 구하였다. 이와 같은 정렬 방법을 사용함으로써 기판 전면에서 정렬 오차가 기존 방법에 비해 균일하게 분포되는 효과를 기대할 수 있다. 개발된 정렬 알고리즘의 효과를 검증하기 위하여 시뮬레이션을 통한 기판 전면의 정렬 오차를 평가하였으며, 최종적으로 BGA 노광 장비의 제어부에 정렬 알고리즘을 구현하여 적용함으로써 실험적으로 본 연구의 타당성을 검증하였다.

2. 정렬 오차의 원인

Fig. 1은 BGA 노광 장비의 정렬 메커니즘 구조를 도시한 것이다. 정렬 메커니즘의 구조 및 동작은 다음과 같다. 노광 처리가 필요한 기판이 정렬 스테이지(alignment stage) 위에 이송되면 스테이지 상부의 진공 흡착 패드에 의해 평면 방향으로 위치가 고정된다. 정렬 스테이지 상부에는 기판으로 전사하기 위한 회로가 형성되어 있는 마스크가 위치 하고 있다. 마스크는 회로가 형성되어 있는 마

스크 필름과 이를 지지하기 위한 유리 기판으로 구성되어 있다. 마스크 상부에는 각 인식마크의 위치를 확인하기 위한 4 개의 CCD 카메라가 설치되어 있다. 기판이 정렬 스테이지 위에 고정되면 CCD 카메라가 인식마크의 형태를 화상 인식하고, 설비 제어부에 내장된 화상 인식 알고리즘이 기준 좌표계에 대한 각 인식마크의 위치를 계산한다. 정렬 알고리즘의 역할은 계산된 인식마크의 좌표를 이용하여 정렬 오차가 최소가 되도록 정렬 스테이지의 이송량  $d_x, d_y, d_\theta$ 를 결정하는 것이다. 정렬 이송이 완료되면 정렬 스테이지가 마스크 방향으로 상승하여 기판과 마스크가 밀착되게 된다. 이 상태에서 진공 흡착 기구에 의해 마스크와 기판 사이에 트랩된 공기는 완전히 제거된다. 다음 단계에서 CCD 카메라로 다시 한번 기판 및 마스크의 인식마크 위치를 확인하여 정해진 오차 범위 이내에서 정렬이 되었는지 검증한다. 이는 기판과 마스크의 밀착 과정에서 정렬 위치가 틀어질 수 있기 때문이다. 이때 정렬 오차가 정해진 오차 범위를 초과하는 경우 정렬 스테이지를 다시 하강시켜 기판과 마스크를 분리한 후 재정렬을 반복한다. 최종적으로 마스크 상부 설치된 UV 램프에서 조사되는 365nm 파장의 UV를 이용하여 노광 공정을 진행한다.

기판과 마스크 간 정렬 오차의 원인은 첫째 정렬 메커니즘 자체의 기구적 원인과 둘째 기판의 치수 변형에 의한 원인으로 구분될 수 있다. 먼저 기구적 원인의 정도를 측정하기 위하여 정렬 스테이지의 반복정밀도(repeatability)를 측정하였다. 측정 방법은 동일 기판 및 동일 마스크를 사용하여 상기 정렬 스테이지 동작(마크 인식→정렬→스테이지 상승→정렬 재확인→노광→스테이지 하강)을 10 회 반복하여 각 경우에 대해 정렬 스테이지의 이송량  $d_x, d_y, d_\theta$ 를 측정하는 것으로 하였다. 각 측

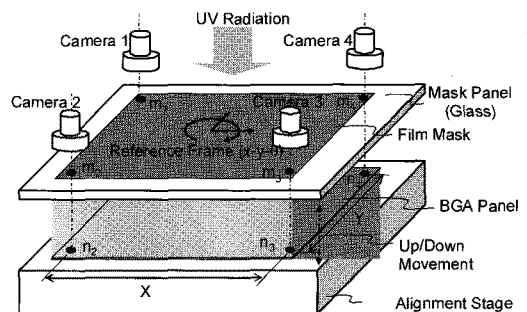


Fig. 1 Alignment Mechanism of Lithography Equipment

정값의 범위를 계산함으로써 정렬 메카니즘의 기구적 반복정밀도를 측정할 수 있다. 측정 결과 BGA 노광 장비의 정렬 메카니즘의 경우  $x$  방향의 반복 정밀도는  $3.4\mu\text{m}$ ,  $y$  방향  $1.3\mu\text{m}$ ,  $\theta$  방향  $2.5\mu\text{m}$  임을 확인 할 수 있었다. 이때  $\theta$  방향 반복정밀도는 기관의 대각선 길이에 대해 환산된 수치이다. 측정된 반복정밀도 수치를 BGA 기관의 회로 선폭  $20\mu\text{m}$  와 비교하면 정렬 스테이지의 기구적 정렬 오차는 무시할만한 수준임을 확인할 수 있다.

다음으로 기관의 치수 변형으로 인해 발생하는 정렬 오차의 수준을 확인하기 위하여, 노광 공정 진행 전 10 장의 서로 다른 기관을 선택하여 기관 모서리에 위치한 인식마크간 거리  $X, Y$  를 비접촉 3 차원 측정기를 이용하여 측정하였다.

Fig. 3 은 기관의 인식마크간 거리의 설계 수치와 측정치의 차이를 도시한 것이다.  $X$  방향의 경우 평균  $156\mu\text{m}$  정도 설계치 대비 인식마크간 거리가 증가되어 있으며 그 범위를  $73\mu\text{m}$  에 달하는 것을 알 수 있다.  $Y$  방향의 경우도 평균  $109\mu\text{m}$ , 범위

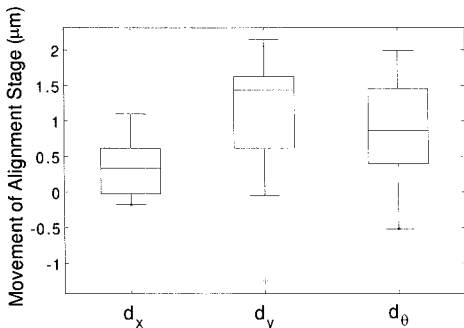


Fig. 2 Movement of Alignment Mechanism(10 trials using the same panel and the same mask)

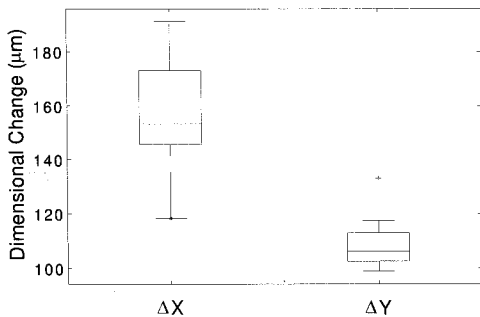


Fig. 3 Dimensional Change of BGA Panel(Nominal Mark Distance:  $X=486.5\text{mm}$ ,  $Y=327\text{mm}$ , 10 sheets of panel)

$34\mu\text{m}$  임을 알 수 있다. 마크간 거리 변화량의 평균치에 대해서는 마스크 필름을 제작 시 기관의 평균 치수 변화량을 고려하는 방법으로 대응할 수 있다. 그러나, 치수 변화량의 범위에 대해서는 이와 같은 방법으로 대응할 수 없으므로 결과적으로 노광 공정의 정렬 오차의 주요 원인이 된다.

이상의 측정 결과로부터 BGA 노광 공정의 정렬 오차의 원인은 정렬 메카니즘 자체의 기구적 정렬 오차보다는 기관의 치수 변형에 의해 주로 발생함을 알 수 있다.

### 3. 정렬 알고리즘

#### 3.1 중심 정렬 알고리즘

노광 장비에 있어 널리 사용되는 정렬 알고리즘은 ‘중심 정렬(center alignment)’ 알고리즘이다. 기관 및 마스크의 중심  $p, q$  는 두 대각선의 중심점의 중심점으로 정의되며 식(1)과 같이 표현된다. Fig. 4 에서 각 벡터의 좌표값은 모두 마스크에 부착된 고정 좌표계 기준으로 표현되어 있다. 식(1)에서  $m_i, n_i$  는 각각 고정 좌표계에 대한 마스크 인식마크 및 정렬 전 기관 인식마크의 좌표를 의미한다. 또한  $N$  은 인식 마크의 개수를 의미한다.

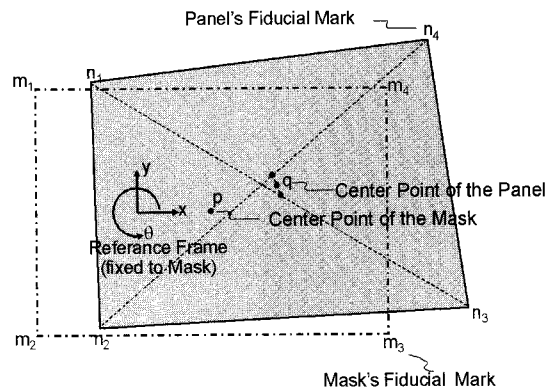


Fig. 4 Coordinates of the Mask's and Panel's Fiducial Mark and Reference Frame fixed to the Mask

기관의 치수 변형으로 인하여 마스크와 기관은 완벽하게 정렬 될 수 없으며 따라서 정렬 오차가 최소가 되도록 정렬 스테이지를 이송하는 방법이 필요하게 된다. 정렬 알고리즘은 CCD 카메라 및 화상 알고리즘으로부터 측정된 마스크 및 기관의 인식마크 위치를 이용하여 정렬 스테이지의 이송량을 결정하는 역할을 한다.

$$\begin{aligned} \mathbf{p} &= \frac{1}{N} \sum \mathbf{m}_i \\ \mathbf{q} &= \frac{1}{N} \sum \mathbf{n}_i \end{aligned} \quad (1)$$

‘중심 정렬’ 알고리즘은 식(1)과 같이 정의된 마스크 및 기관의 중심점이 일치되도록 정렬 스테이지를 이송하는 방법이다. 정렬 스테이지의 위치 이송량  $d_x, d_y$  는  $\mathbf{p}$  와  $\mathbf{q}$  의 차이로부터 정해지며, 각도 이송량  $d_\theta$  는 각 대각선 사이 각도의 평균값으로 정해진다.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} d_x \\ d_y \end{bmatrix} &= \mathbf{d} = \mathbf{p} - \mathbf{q} = \frac{1}{N} \sum (\mathbf{m}_i - \mathbf{n}_i) \\ d_\theta &= \frac{1}{2} \left( \arccos \left( \frac{(\mathbf{m}_3 - \mathbf{m}_1) \cdot (\mathbf{n}_3 - \mathbf{n}_1)}{\|\mathbf{m}_3 - \mathbf{m}_1\| \|\mathbf{n}_3 - \mathbf{n}_1\|} \right) + \arccos \left( \frac{(\mathbf{m}_4 - \mathbf{m}_2) \cdot (\mathbf{n}_4 - \mathbf{n}_2)}{\|\mathbf{m}_4 - \mathbf{m}_2\| \|\mathbf{n}_4 - \mathbf{n}_2\|} \right) \right) \end{aligned} \quad (2)$$

### 3.2 마크 정렬 알고리즘

‘중심 정렬’ 알고리즘이 마스크 및 기관의 중심점이 일치하도록 정렬하는 방법인데 비하여 본 연구에서 제안하는 ‘마크 정렬’ 알고리즘은 마스크와 기관의 각 마크간 거리 차이의 합이 최소가 되도록 정렬하는 방법이다. 정렬 후 기관 인식마크의 좌표를  $\mathbf{n}_i^a$  라 하면 인식마크간 정렬 오차의 합은 식 (3)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} Error(d_\theta, d_x, d_y) &= \sum \|\mathbf{m}_i - \mathbf{n}_i^a\|^2 = \sum (\mathbf{m}_i - \mathbf{n}_i^a)^T (\mathbf{m}_i - \mathbf{n}_i^a) \end{aligned} \quad (3)$$

식(3) 에서  $\mathbf{n}_i^a$  는 정렬 전 기관 인식마크의 좌표  $\mathbf{n}_i$  와 정렬 스테이지의 직선 이동  $d_x, d_y$  회전 이동  $d_\theta$  에 대하여 다음과 같이 표현된다.

$$\mathbf{n}_i^a = \mathbf{A}\mathbf{n} + \mathbf{d} \quad (4)$$

식(4) 에서 회전 이동 행렬  $\mathbf{A}$  와 직선이동 벡터  $\mathbf{d}$  는 다음과 같다.

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \cos d_\theta & -\sin d_\theta \\ \sin d_\theta & \cos d_\theta \end{bmatrix}, \quad \mathbf{d} = \begin{bmatrix} d_x \\ d_y \end{bmatrix} \quad (5)$$

식(3)으로 표현되는 마크 간 정렬 오차의 합의 최소로 되게 하는 알고리즘을 구하는 것은 다음과 같은 최적해 문제로 기술될 수 있다.

Optimal Problem: given  $\mathbf{m}_i$  and  $\mathbf{n}_i$ , solve  $d_x, d_y, d_\theta$  that minimize  $Error(d_x, d_y, d_\theta)$

위의 최적해 문제를 풀기 위해서는 식(3)으로부터 아래 식(6)을 동시에 풀어야 한다.

$$\frac{\partial Error}{\partial d_x} = 0, \quad \frac{\partial Error}{\partial d_y} = 0, \quad \frac{\partial Error}{\partial d_\theta} = 0 \quad (6)$$

먼저 식(6)의  $d_x$  에 대한 항은 다음과 같이 전개된다.

$$\frac{\partial Error}{\partial d_x} = -2 \sum (\mathbf{m}_i - \mathbf{n}_i^a)^T \left( \frac{\partial \mathbf{n}_i^a}{\partial d_x} \right) = 0 \quad (7)$$

식(7)은 식(1), 식(4)의 정의에 의하여 다음과 같이 전개될 수 있다.

$$\begin{aligned} \sum (\mathbf{m}_i - \mathbf{n}_i^a)^T \left( \frac{\partial \mathbf{n}_i^a}{\partial d_x} \right) &= \sum (\mathbf{m}_i - \mathbf{A}\mathbf{n}_i - \mathbf{d})^T \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \\ &= (\mathbf{N}\mathbf{p} - \mathbf{N}\mathbf{A}\mathbf{q} - \mathbf{N}\mathbf{d}) \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

식(8)을 식(5)를 이용하여 전개하면 최종적으로 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$d_x = p_x - q_x \cos d_\theta + q_y \sin d_\theta \quad (9)$$

식(7)~(9)와 동일하게 식(6)의  $d_y$  에 대한 전개 결과는 식(10)과 같이 표현된다.

$$d_y = p_y - q_x \sin d_\theta - q_y \cos d_\theta \quad (10)$$

한편, 식(6)의  $d_\theta$ 에 대한 전개는 아래와 같다.

$$\frac{\partial Error}{\partial d_\theta} = -2 \sum (\mathbf{m}_i - \mathbf{n}_i^a)^T \left( \frac{\partial \mathbf{n}_i^a}{\partial d_\theta} \right) = 0 \quad (11)$$

식(11)에 대한 세부 전개는 식(4)의 정의를 이용하면 다음과 같다.

$$d_\theta = \arctan\left(\frac{\beta - N\delta}{\alpha - N\chi}\right) \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \sum (\mathbf{m}_i - \mathbf{n}_i^a)^T \left( \frac{\partial \mathbf{n}_i^a}{\partial d_\theta} \right) &= \sum (\mathbf{m}_i - \mathbf{A}\mathbf{n}_i - \mathbf{d})^T \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial d_\theta} \mathbf{n}_i = \\ \sum \left( \mathbf{m}_i^T \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial d_\theta} \mathbf{n}_i - \mathbf{n}_i^T \mathbf{A}^T \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial d_\theta} \mathbf{n}_i - \mathbf{d}^T \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial d_\theta} \mathbf{n}_i \right) &= 0 \end{aligned} \quad (12)$$

식(12) 각 항은 다음과 같이 다시 세부 전개된다.

$$\begin{aligned} \sum \left( \mathbf{m}_i^T \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial d_\theta} \mathbf{n}_i \right) &= \\ -\sin d_\theta \sum (m_{i,x}n_{i,x} + m_{i,y}n_{i,y}) + \cos d_\theta \sum (m_{i,y}n_{i,x} - m_{i,x}n_{i,y}) &= \\ = -\alpha \sin d_\theta + \beta \cos d_\theta \end{aligned} \quad (13)$$

$$\mathbf{n}_i^T \mathbf{A}^T \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial d_\theta} \mathbf{n}_i = \mathbf{n}_i^T \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{n}_i = 0 \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \sum \left( \mathbf{d}^T \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial d_\theta} \mathbf{n}_i \right) &= \mathbf{d}^T \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial d_\theta} \sum \mathbf{n}_i = N\mathbf{d}^T \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial d_\theta} \mathbf{q} = \\ -N(d_x q_x + d_y q_y) \sin d_\theta + N(d_y q_x - d_x q_y) \cos d_\theta &= \\ -N\chi \sin d_\theta + N\delta \cos d_\theta \end{aligned} \quad (15)$$

식(13)~(15)에서  $\alpha, \beta, \chi, \delta$  는 다음과 같이 정의되는 상수이다.

$$\begin{aligned} \alpha &= \sum (m_{i,x}n_{i,x} + m_{i,y}n_{i,y}) \\ \beta &= \sum (m_{i,y}n_{i,x} - m_{i,x}n_{i,y}) \\ \chi &= p_x q_x + p_y q_y \\ \delta &= p_y q_x - p_x q_y \end{aligned} \quad (16)$$

식(13)~(15)의 전개 및 식(16)의 정의를 이용하면 식(12)는 아래와 같이 정리된다.

$$-\alpha \sin d_\theta + \beta \cos d_\theta + N\chi \sin d_\theta - N\delta \cos d_\theta = 0 \quad (17)$$

식(17)에 의하여  $d_\theta$ 를 식(18)과 같이 구할 수 있다.

최종적으로, 식(9), (10), (18) 및 상수 식(16)의 정의로부터 최적해 문제의 해를 해석적인 형태로 구할 수 있었다.

#### 4. 정렬 알고리즘 비교

‘중심 정렬’과 ‘마크 정렬’ 알고리즘의 정렬 능력을 비교 평가하기 위해서는, 각각의 정렬 방법에 대하여 기관 내부 임의의 위치에서의 마스크와 기관의 실제 정렬 오차를 측정하는 것이 필요하다. 그러나 이를 실험적으로 측정하는 것은 어려우므로, 본 연구에서는 시뮬레이션을 통한 기관 내 정렬 오차를 평가하기로 한다. 평가 방법은 실측된 기관의 인식마크 좌표를 이용하여 ‘중심 정렬’ 및 ‘마크 정렬’ 알고리즘을 각각 적용하여 기관 내 정렬 오차를 계산하였다. 마스크 내부의 각 위치에 대응하는 기관 내의 위치 계산은 기관의 치수 변형이 선형이라는 가정하에 기관 인식마크의 좌표로부터 선형 보간(interpolation) 한 좌표를 이용하였다. 또한 기관의 각 인식마크의 좌표는 노광 장비의 정렬 스테이지 상에서 측정된 값을 사용하였다.

Table 1 은 10 장의 기관에 대한 정렬 오차의 평균 및 최대값을 나타낸 것이다. 각 기관의 인식마크 좌표는 실제 기관의 인식 마크 좌표를 노광 장비의 정렬 스테이지 상에서 측정된 값을 사용하였다. Fig. 5 는 Table 1 의 기관 1, 2, 3 에 대하여 계산된 기관 내 각 위치에 대한 정렬 오차의 분포 결과를 그림으로 도시한 것이다. 정렬 전 기관의 치수 오차에 따라 각 정렬 알고리즘의 효과는 다르게 나타난다. 기관 1 의 경우는 기관의 외곽 치수 변형이 상대적으로 큰 경우로서 ‘중심 정렬’의 경우 기관 내부 정렬 오차는 평균 42.2 $\mu\text{m}$ , 최대값은 126.2 $\mu\text{m}$  에 달한다. 이에 비하여 ‘마크 정렬’의 경우는 ‘중심 정렬’에 비하여 기관 내 정렬 오차의 평균은 48%, 최대값은 30% 개선되는 것으로 나타났다. 기관 2 및 3 의 경우는 기관 1 에 비하여 기관의 치수 변형이 상대적으로 작은 경우이다. 기관 3 의 경우 기관 내 정렬 오차는 ‘중심 정렬’과 ‘마크 정렬’ 간에 큰 차이가 없다. 그러나 기관 2 의 경우 기관 치수 변형 정도가 기관 3 과 비슷한

수준이나 마크 오차 최소화 정렬의 경우가 효과가 큰 것으로 나타났다. 이는 비슷한 정도의 기관 치수 변형에 대해서 특히 기관의 특정 모서리 방향에서 변형량이 큰 기관에 대해서 ‘마크 정렬’ 방법

이 ‘중심 정렬’ 방법에 비해 큰 효과가 있음을 의미한다. 이상 기관 1~10의 결과로부터 ‘마크 정렬’의 효과는 정렬 오차의 평균값 및 최대값을 개선하는 효과가 있음을 확인할 수 있다.

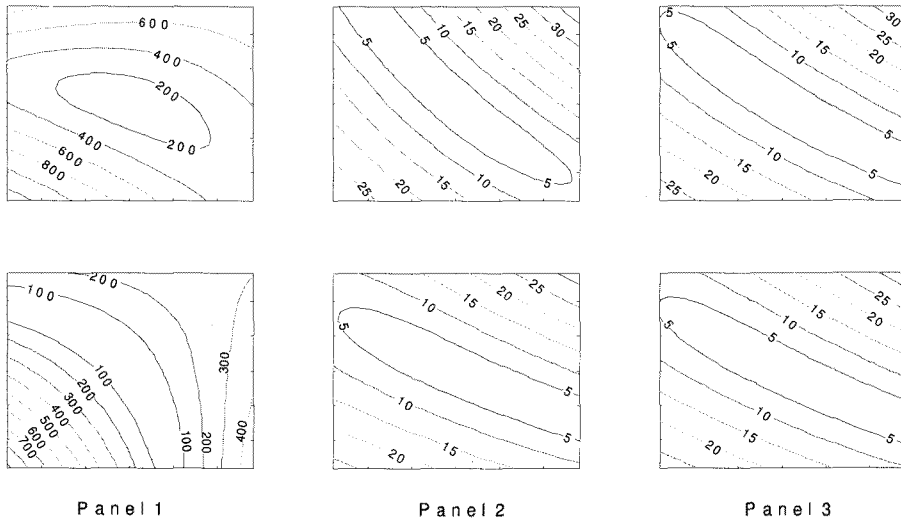


Fig. 5 Contour Plot of Estimated Alignment Error Distribution

Table 1 Comparison of Estimated Alignment Error

Panel No.	Alignment Error	Center Alignment( $\mu\text{m}$ )	Mark Alignment( $\mu\text{m}$ )	Improvement (%)
Panel 1	Ave.	44.2	23.0	48
	Max.	126.2	87.9	30
Panel 2	Ave.	1.2	1.1	9
	Max.	3.7	3.2	16
Panel 3	Ave.	1.1	1.1	3
	Max.	3.5	3.2	8
Panel 4	Ave.	4.8	1.1	77
	Max.	11.0	2.9	73
Panel 5	Ave.	24.7	6.8	72
	Max.	56.7	26.5	53
Panel 6	Ave.	22.5	22.4	0.5
	Max.	71.4	72.0	-0.7
Panel 7	Ave.	1.1	1.1	4.8
	Max.	3.4	3.0	11.2
Panel 8	Ave.	1.1	1.1	-0.2
	Max.	3.2	3.2	0.8
Panel 9	Ave.	39.5	3.6	90.9
	Max.	76.2	13.6	82.2
Panel 10	Ave.	38.9	5.9	84.7
	Max.	84.1	22.1	73.7

### 5. BGA 노광 장비 적용

Fig. 6 은 BGA 노광 장비의 정렬 메카니즘의 사진이다. 하부에는 기판을 정렬하기 위한 x-y-스테이지가 장착되어 있다. 스테이지의 상판에는 기판을 흡착하기 위한 진공 흡착 메카니즘과 더불어 마스크와 접촉 시 기판과 마스크 사이에 트랩된 공기를 제거하기 위한 진공 노즐이 장착되어 있다. 정렬 스테이지는 정렬 동작 이외에 상하 방향으로 운동을 하여 마스크와 밀착할 수 있도록 되어 있다.

정렬 스테이지 위쪽에는 글라스 패널 상면에 필름 마스크가 부착된 마스크 구조물이 자리하고 있다. 그리고 그 상부에는 기판 및 마스크의 4 모서리에 위치한 인식마크의 형상을 촬영하기 위한 CCD 카메라가 4 개 설치되어 있다.

Fig. 7 은 정렬 동작이 수행된 이후 CCD 카메라가 촬영한 마스크 및 기판의 인식마크 화상이다. 각 화상의 중심부에는 원형의 마스크 인식마크가 표시 되어 있으며, 도넛 형태의 기판 인식마크가 동심원을 이루며 배열되어 있는 것을 볼 수 있다.

본 연구에서는 개발된 ‘마크 오차 최소화 정렬’ 알고리즘의 효과를 실험적으로 검증하기 위하여 BGA 노광 장비의 제어부 프로그램을 수정하여 기판을 정렬하는 실험을 수행하였다. Fig. 8 및 Fig. 9 는 각각 ‘중심 정렬’ 알고리즘과 ‘마크 정렬’ 알고리즘을 적용하여 동일 마스크에 대하여 19 장의 기판에 대해 정렬 동작 수행시켜 인식마크 위치에서 정렬 오차를 측정된 결과이다. 정렬 오차의 측정 값은 CCD 카메라가 화상 인식한 각 인식마크의 좌표로부터 측정된 값이다.

각 정렬 횟수에 대하여 4 개 마크의 평균 정렬

오차는 ‘중심 정렬’ 알고리즘의 경우 19 개 기판 평균 23.7 $\mu\text{m}$  인데 비하여, ‘마크 정렬’ 알고리즘의 경우는 24.8 $\mu\text{m}$  로서 정렬 오차가 -5%로 큰 차이는 없다.

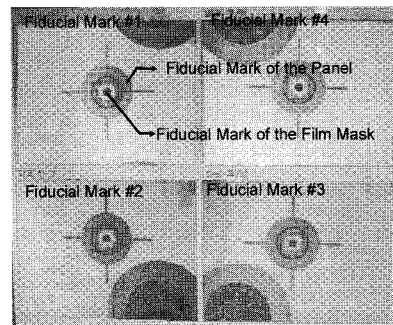


Fig. 7 Vision Image of Fiducial Mark after the Alignment Operation (Photography of Equipment's Control Panel)

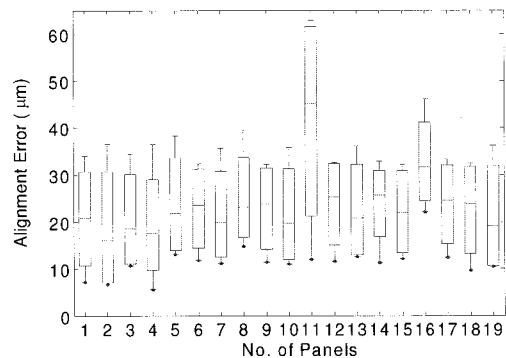


Fig. 8 Measured Alignment Error for Center Alignment Algorithm (19 panels with the same mask)

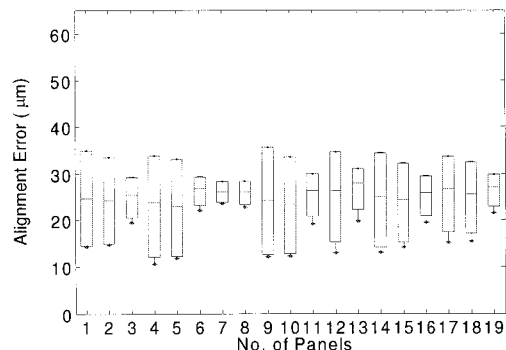


Fig. 9 Measured Alignment Error for Mark Alignment Algorithm (19 panels with the same mask)

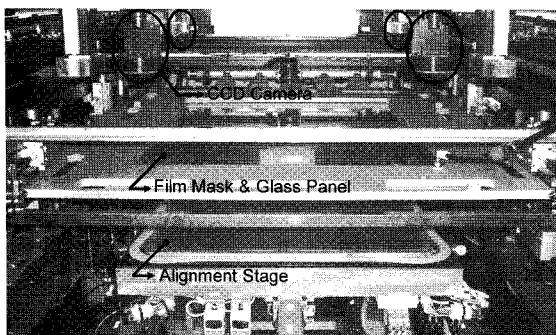


Fig. 6 Photography of BGA Lithography Equipment's Alignment Mechanism

그러나, 각 정렬 횟수에 대하여 4 개 마크 간의 최대 정렬 오차는 ‘중심 정렬’ 알고리즘의 경우 19 개 기판 평균 62.9 $\mu\text{m}$  인데 비하여, ‘마크 정렬’ 알고리즘의 경우는 35.6 $\mu\text{m}$  로서 정렬 오차가 43% 향상되었다. (Table 2) 이상의 결과로부터 ‘마크 정렬’ 알고리즘을 사용하는 효과는 정렬 오차의 평균은 큰 차이가 없으나 최대 정렬 오차는 개선되는 것을 확인할 수 있다.

Table 2 Measured Alignment Error

	Ave. ( $\mu\text{m}$ )	Max ( $\mu\text{m}$ )
Center Align	23.7	62.9
Mark Align	24.8	35.6
Improvement (%)	-5	43

## 6. 결론

본 연구에서는 BGA 노광 장비의 정렬에 있어서 기판과 마스크 간의 정렬 오차의 발생은 장비의 기구적 원인보다는 기판의 치수 변형에 의해 주로 발생함을 실험을 통하여 확인하였다.

그리고 이와 같이 치수 변형이 발생하는 기판을 정렬 하기 위하여 기존의 ‘중심 정렬’ 알고리즘 대신 ‘마크 정렬’ 알고리즘을 제시하였다. 새로이 제시된 알고리즘은 ‘중심 정렬’ 알고리즘에 비하여 기판 전면에 정렬 오차는 고르게 분산시키는 효과가 있다. ‘마크 정렬’ 알고리즘을 설비의 제어부에 구현하기 위하여 그 최적해를 해석적인 형태로 유도하였다.

개발된 알고리즘의 정렬 능력을 평가하기 위하여 실험적으로 측정된 기판의 인식마크 좌표를 이용하여 기판 전면의 정렬 오차 분포 형태를 시뮬레이션을 통하여 평가하였다. 평가 결과 정렬 오차 평균 및 최대값에 있어서 ‘중심 정렬’ 알고리즘에 비해 ‘마크 정렬’ 알고리즘이 개선 효과를 보이는 것으로 확인되었다.

최종적으로 BGA 노광기 제어부에 개발된 ‘마크 정렬’ 알고리즘을 구현하여 인식마크 위치에서의 정렬 오차를 측정하는 실험을 수행하였다. 실험 결과 정렬 오차의 평균은 큰 유의차가 없는데 비하여 최대 정렬 오차는 43% 향상되는 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구의 결과는 BGA 노광 장비뿐만 아니라 사각형의 기판을 이용하여 노광 공정을 진행하는

평판 디스플레이 및 태양 전지 등에도 동일한 방법으로 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. Tick, T. and Jantunen, H., "An X-Ray Imaging-Based Layer Alignment and Tape Deformation Inspection System for Multilayer Ceramic Circuit Boards," IEEE Trans. Electronics Packaging Manufacturing, Vol. 31, No. 2, pp. 168-173, 2008.
2. Park, I., Park, Y., Lee, M., Shin, D., Lee, K., Jang, S., Yim, H. and Jeon, J., "Error Source Analysis for Alignment Process by using Fiducial Marks in Large-Area Nano-Imprint Lithography," Proceedings of the Korean Society of Mechanical Engineering, pp. 83-89, 2006.
3. Shin, D., "Measurement and Correction of PCB Alignment Error for Screen Printer Using Machine Vision (1)," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 20, No. 6, pp. 88-95, 2003.
4. Shin, D., "Measurement and Correction of PCB Alignment Error for Screen Printer Using Machine Vision (2)," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 20, No. 6, pp. 96-104, 2003
5. Kwon, S. and Park, C., "Kinematics and Control of the 4-Axes Visual Alignment System," SCIE-ICASE International Joint Conference, pp. 1389-1393, 2006.
6. Kim, H. T., Song, C. S. and Yang, H. J., "A study on the Automatic Wafer Alignment in Semiconductor dicing," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 20, No. 12, pp. 105-114, 2003.
7. Han, S.-J., Park, J.-H. and Park, H.-J., "Development of Three D.O.F Alignment Stage for Vacuum Environment," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 18, No. 11, pp. 138-147, 2001.
8. Uhm, C., Kim, B. H. and Choi, Y. S., "Development of Automatic Optical Fiber Alignment System and Optical Alignment Algorithm," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 21, No. 4, pp. 194-201, 2004.