

K-Freedom Insights

반도체 산업에서의 계량학(Metrology)

author
Geonwoo Seo



KFREEDOM ASSET MANAGEMENT

반도체 산업에서의 계량학(Metrology)

** 이 글에 언급된 기업들은 주제와 관련한 예시이며, 케이프리덤자산운용의 의견을 반영하지 않습니다.

반도체 산업에서의 계량학(Metrology)

저희 운용팀은 올해 4월 한국실장산업협회에서 진행하는 첨단실장기술 세미나에 참석하였습니다. 이번 세미나에서는 특히 **패키징 단계에서의 계측 및 검사(Metrology & Inspection, 이하 'MI') 공정의 중요성**이 대두되었으며, 관련 주요 내용을 이번 케이프리티엄인사이드에서 공유 드리고자 합니다.

계량학(Metrology)

반도체 공정에서 계량학(Metrology)을 활용한 계측공정은 과거에는 검사(Inspection)공정과 함께 언급되는 경우가 많았으나, 선단 노드로 갈수록 계측공정의 중요성이 높아지고 있습니다.

검사공정은 패턴 오류나 파티클 발생 등의 불량을 찾아내는 공정이라면, 계측공정은 공정이 계획한 대로 진행되고 있는지, 그리고 다음 공정을 위한 준비가 되어있는지를 확인해 주는 공정입니다.

계측공정은 단어 그대로 '측정'을 하는 과정으로, '측정'의 결과물로 반도체의 두께, 길이, 회로의 폭 등의 수치가 나오게 되고, 정품에 속하는 수치들의 모임인 레인지(Range)가 나오게 됩니다. 반도체 각 공정에서 정상 범주의 레인지가 설정이 되면 엔지니어들은 ① 레인지를 벗어나는 불량을 쉽게 검출할 수 있게 되고, ② 측정값이 한 쪽으로 점점 치우치는 경우 검토 후 재정렬도 가능하게 됩니다. 반도체 미세화로 인해 수율 개선의 속도가 과거보다 느려졌고, 이는 결국 비용 부담으로 귀결되는 현재의 반도체 산업에서, 계측공정의 정확한 측정으로 불량률을 사전에 낮출 수 있는 계량학의 중요성은 점점 커지고 있습니다.

전공정과 후공정에서의 계측

패키징 업체들은 여러 파운드리에서 다수의 공정을 이용하여 만든 칩들을 쌓으며 패키징하게 되는데, 이 때 '각 파운드리에서 정품으로 승인된 제품들만이 패키징 업체들에 전달된다'는 위험한 가정이 존재하게 됩니다. 반도체 미세화가 진행될수록 전공정에서 칩은 많은 스트레스를 누적하게 되고, 전공정 단계에서는 정품으로 인정받았더라도 후공정 이후 불량이 되는 경우가 많이 발생합니다. 이러한 경우는 패키징 완성 후 검사를 하여 불량이 발생하더라도 ① 어느 회사의 어느 공정에서 생산된 칩에서 문제가 발생했는지 찾기도 어려워지고 ② 전체 패키징을 버려야 하니 수율에 직접적인 악영향을 끼치게 됩니다.

즉, 후공정이 완벽하게 이루어지더라도 전공정의 스트레스로 인한 불량이 생길 수 있기 때문에 후공정 업체는 "파운드리의 칩들을 가지고 패키징을 해야 하는 상황에서, 그들의 검사공정을

믿을 수 있을까?” 라는 질문이 생기게 되었고, 이를 해결하기 위해 MI에 대한 산업 표준을 만들어 갈 수 있는 생태계를 구현하도록 노력 중입니다.

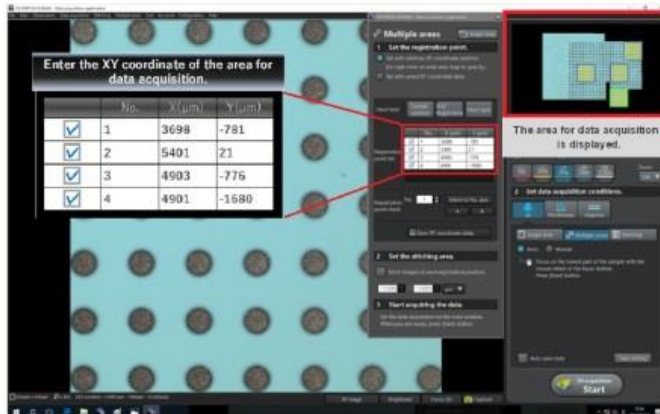
패키징 단계에서는 전수조사가 반드시 필요하며, MI는 패키징 전체 공정의 30~40%를 차지하고 있습니다. 이 과정에서 생산 속도와 공정 수율이 반비례하는 딜레마가 발생하지만, 수율을 보장하면서 완제품을 내놓으려면 패키징 단계에서 MI 전수조사를 하는 것은 필수로 여겨지고 있습니다. 반면, 전공정에서의 MI는 샘플링 개념으로 전체 공정의 10% 정도만을 차지하고 있습니다. 그러나 위에 언급한 전공정에서의 스트레스로 인한 최종 불량률이 패키징 이후에도 나타나는 경우가 증가함에 따라 전공정 각 단계에서도 계측공정이 과거보다 중요해질 것으로 예상됩니다.

패키징 단계에서의 계량학 예시1: 마이크로범프(Micro Bump)

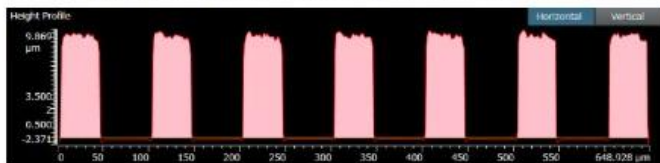
기존의 와이어 본딩에서 플립칩 본딩, TSV 본딩으로 발전해오면서 마이크로범프의 수가 상당히 증가하고 있습니다. 실제로, HBM(High Bandwidth Memory)에서는 더미 범프(Dummy Bump)를 포함하여 범프 수가 수억 개에 달하는 것으로 알려져 있습니다. 이 과정에서 모든 범프가 본딩되어야 하는데, 이 때 범프들의 높이가 일정한 것이 중요합니다. 예를 들어, 다른 범프의 높이가 모두 100인데 한 범프의 높이만 80이면 해당 범프는 본딩이 되지 않는 오류가 발생합니다. 계량학의 발전으로 인하여 모든 범프의 높이들을 지속적으로 일정하게 유지시켜주고 일정한 데이터 값이 나오는 것이 패키징 단계에서 수율 증가를 위해 중요한 역할을 하고 있습니다.

범프의 높이를 측정하는 과정

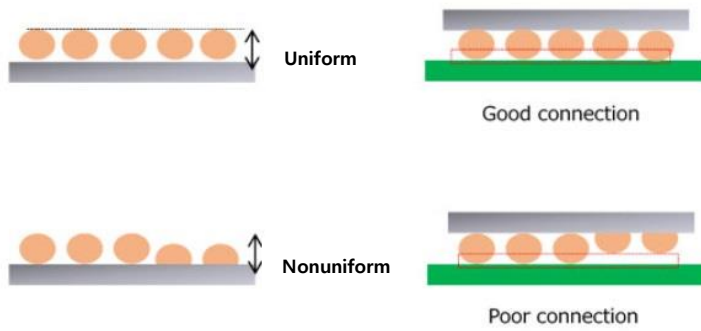
(2) The system has a multiple-area data acquisition function, which enables you to specify multiple areas and obtain the data of those areas simultaneously.



(3) By setting the height reference plane for the image to be acquired, you can measure the heights of all the bumps within the field of view at one time.



정품과 불량품의 구별



[출처 : Olympus IMS 홈페이지]

패키징 단계에서의 계량학 예시2: 2.5D 패키징

현재 HBM은 로직칩과 수평으로 배열되는 형태인데, 가장 큰 이유는 방열(Heat Dissipation)때문입니다. 처음에는 로직칩 위에 HBM을 쌓는 3D 패키징이 고려되었으나, 로직칩에서 발생한 열이 위에 있는 HBM으로 올라가 HBM이 열을 견디지 못하는 상황이 발생했습니다. 반대로, HBM을 아래에 놓고 위에 로직칩을 쌓게 되니 로직칩의 2만 개 이상이 되는 I/O(Input/Output, 칩에서 신호가 들어오고 나가는 부분)을 HBM에 담기 위해 칩사이즈가 너무 커지는 문제가 발생하였습니다. 이에, 결국 HBM과 로직칩을 수평으로 배열하는 2.5D 패키징이 채택되었는데, 여기에서도 열의 문제가 완전히 해결된 것은 아니기에, 열을 잘 방출할 수 있는 히트 스프레더(Heat Spreader)를 붙이게 됩니다. 히트 스프레더(Heat Spreader, 반도체 소자에서 발생하는 열을 효율적으로 분산시키고 외부로 전달하는 역할을 하는 구성요소)를 붙이기 위해서는 로직칩과 HBM 칩의 높이가 항상 일정해야 하며 이 과정에서도 높이를 정확하게 측정하는 계측공정이 주요한 공정이 되어 가고 있습니다.

MI에서의 AI(머신러닝)

마지막으로 MI공정에서 증가하고 있는 AI활용도에 대해 설명드리도록 하겠습니다. MI공정에서 장비들은 테스트하는 웨이퍼를 골든 다이(Golden Die, 기준으로 삼을 수 있는 완벽한 칩. 다른 칩들의 품질을 비교하고 측정하는데 사용)와 비교하여 불량 웨이퍼들을 검출해내게 됩니다. 하지만 골든 다이에 맞지 않더라도 불량이 아닌 웨이퍼가 존재하는데, 만약 장비들이 이를 불량으로 결정해버리게 되면 수율이 엄청나게 감소합니다. 이렇듯 장비는 불량으로 인식하지만 실제로는 불량이 아닌 경우가 발생하기에 사람이 직접 검사하는 절차가 필요하게 됩니다. 관련 기업들은 MI공정에 머신러닝을 도입하여 정상인 제품을 불량으로 판단하는 확률을 줄이려고 노력하고 있습니다. 특히 MI 단계에서 학습(Training)만큼이나 추론(Inferencing) 능력이 중요하게 여겨지는

데 이는 '과거에 학습하지 못했던 패턴이 나왔을 때 불량인지 정품인지 결정할 수 있는 능력'이 중요하게 여겨지기 때문입니다.

반도체 산업이 고도화됨에 따라 물리학, 화학 등 기초 과학 분야가 더욱 중요해지고 있으며, 새로운 솔루션 창출을 위한 창의력이 어느 때보다도 요구되고 있습니다. 반도체 산업이 요구하는 인재상의 변화를 한국의 교육, 그리고 기업들이 반영해 나가기를 기대합니다.

아울러 반도체 패키징과 관련한 추가 내용은 지난 [2023 SEDEX 반도체대전 업데이트] 인사이트 글을 참고해주시기 바랍니다 :

<http://kf-am.com/kf-insights/kf-insights/new-11/>

*이 글에 언급된 기업들은 주제와 관련한 예시이며, 케이프리덤자산운용의 의견을 반영하지 않습니다.

케이프리덤자산운용 준법감시인 사전확인필 제24-0034호(2024.05.14 ~ 2027.05.13)