

와이어 본딩 검사용 현미경 광학계의 설계

The Design of Zoom Microscope System for Inspecting
Wire-Bonding

류재명, 임천석, 조재홍, 정진호*, 전영세*

한남대학교 물리학과, *프로옵틱스

quickryu@hitel.net

반도체 와이어 본딩(wire-bonding) 조립공정에 사용되는 검사용 현미경 광학계를 설계하였다. 이러한 와이어는 리드프레임에 대해 ± 1 mm의 단차를 가진다. 이 때 리드프레임은 6배로 관찰하며, 와이어 부분은 2배로 관찰하고자 한다. 그러나 와이어의 단차로 인해 물체거리가 변하게 되며, 일반 광학계로는 배율도 변하게 된다. 물체거리가 변해도 동일한 배율을 가지는 광학계를 설계하기 위해 유한 물점용 3군 줌 광학계를 목적에 맞게 변형시켰다. 피검사 반도체가 고속으로 움직이므로, 본 광학계는 진동의 영향을 많이 받기 때문에 1군은 고정시켰고, 2군과 3군을 비선형 궤적으로 움직여 물체거리에 관계없이 고정 배율을 구현했다. 한편 6배 광학계는 고정 초점 광학계이므로 여기서는 생략하고자 한다.

와이어 본딩 작업 공간 확보를 위해 물체거리(물체에서 1군 첫면까지의 거리) 중심은 약 45 mm, 1군의 구경은 10 mm 이하로 제한된다. 따라서 물체측 NA는 0.1 이하가 된다. 2배로 관측하는 부분의 크기는 3.15 mm \times 2.25 mm이고, CCD는 6.4 mm \times 4.8 mm, 화소 크기 9 μ m인 것을 사용했다. 관측 회로 선폭은 100 lp/mm로 결정했다. 이 경우 CCD의 공간 분해능 한계인 나이퀴스트 주파수는 약 55 lp/mm(= $1/(2 \times 9 \times 10^{-3} \text{ mm})$)임을 알 수 있다. 2배 확대 광학계에서는 관측 회로의 선폭이 100 lp/mm이므로 상측에서는 50 lp/mm이 되고, 상측 NA가 0.05이므로 회절한계 MTF 성능[1]은 상측의 최소 측정 가능 선폭인 50 lp/mm에서 아래의 식 (1)에 대입하면 약 62 %이다. 그러므로 MTF 40 % 이상을 유지하기 위해서는 광학계를 회절한계성능보다 다소 떨어지게 설계하여도 문제가 없음을 알 수 있다.

$$MTF = \frac{2}{\pi} \left\{ \cos^{-1} \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right) - \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right) \sqrt{1 - \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^2} \right\} \quad (1)$$

각 군의 굴절능과 군간 간격을 구하기 위해, 유한 물점용 3군 줌 렌즈의 기본 식을 사용했다[2]. 물체 거리에 관계없이 배율과 상면의 위치는 고정된다. 따라서 1군에서 상면까지의 거리 역시 고정되며, 광학계의 크기 제한으로부터 결정될 수 있다. 또한 3군에서 상면까지의 거리는 기구적인 제한으로부터 역시 결정될 수 있다. 여기에 1군의 굴절능을 물체거리 중심의 역수로 정하여, 나머지 군의 굴절능과 줌 양 끝단에서 1군과 2군의 거리, 2군과 3군의 거리 및 2군과 3군의 궤적을 모두 구할 수 있었다.

얇은 2매 접합 렌즈계에서 비점수차는 매질의 특성과 근축각의 영향을 받지 않고, 물체측과 상측의 근축각에 의해 결정되는 값이다. 또한 왜곡수차와 횡색수차 역시 매질의 특성과 근축각의 영향을 받지 않으며, 물체측과 상측의 매질이 같으면 항상 0이 된다[3].

각 군에 입사하는 광선의 근축각과 입사고, 출사하는 광선의 근축각, 매질의 굴절률과 분산계수가 주

어치면 구면수차, 코마, 종색수차가 최소일 때 각 면의 곡률을 구할 수 있다. 이 때 각 면의 두께를 적당한 값을 주면, 주변 광선의 굴절률변량과 입사 근축각이 유지되는 조건으로부터 두꺼운 렌즈계로 변환이 가능하며 이 방법을 등가렌즈 변환법이라고 한다[3]. 본 연구에서 각 준의 기초 설계 방법으로 이것을 사용했다.

최적화 설계를 위하여 렌즈 설계 프로그램인 OSLO(pro 5.1)를 사용하였다. 가시광선 영역에서 사용되므로 파장은 486.1 nm, 587.6 nm, 656.3 nm 3개를 잡았으며, 중심 파장은 587.6 nm로 정했다. 물체에서 1군 첫 면까지의 거리가 원하는 사양보다 약간 짧기 때문에 45 mm로 주었고, 구속조건으로는 1군 1면에서 3군 마지막 면까지의 거리가 모든 준 위치에서 같도록 했다. 준 위치는 총 3개로 준 1에서 물체 거리는 45 mm, 준 2와 준 3는 각각 44 mm, 46 mm이다. 필드는 0, 0.7, 1.0으로 3개를 주고, 입사동을 향해 총 19개의 광선을 보내서, RMS 빔경가 최소가 되도록 에리 함수를 잡았다. 최적화 과정에서 곡률은 물론 군별 간격, 렌즈 두께 등을 변수로 주었다.

그림 1은 최적화된 광학계의 광로도이고, 그림 2는 최적화된 광학계의 MTF 곡선이다. 최적화 설계에서 모든 준 위치에서 원하는 MTF 값을 만족한 것으로 보아 최적화 설계가 성공적으로 이루어졌음을 알 수 있었다.

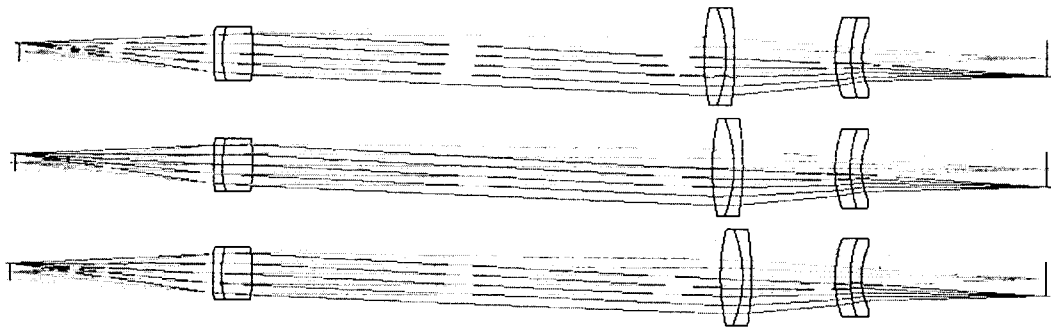


그림 1. 최적화된 광학계에서 각 준 위치에 대한 광로도.
(위부터 차례대로 준 2, 준 1, 준 3)

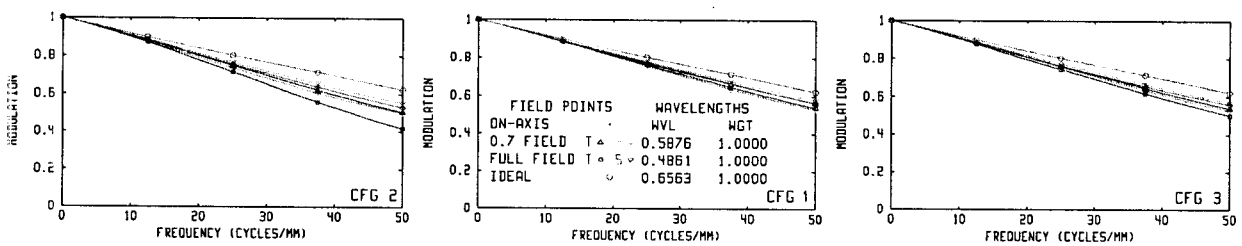


그림 2. 최적화된 광학계에서 각 준 위치에 대한 MTF 곡선.

참 고 문 헌

- [1] J. W. Goodman, "Introduction to Fourier Optics," McGraw-Hill Co.(1996, 2nd ed.), Chap. 6.
- [2] 정진호, "준 렌즈계의 근축설계와 궤적해석," 경남대학교 박사학위논문(1994)
- [3] 전영세, 김형수, 이종용, 박성찬, "등가렌즈를 이용한 2매 접합렌즈계의 설계," 한국광학회지 vol. 9, no. 5, pp.282~289, 1998