

광학식 NC-스케일 제조기술의 개발

김 희 식

서울시립대학교 제어계측공학과

박 준 호

대성중앙연구소

(1992년 1월 18일 받음)

수치제어 (Numerical Control) 공작기계와 로봇 등에서의 위치판독장치는 핵심적인 자동화부품이다. 수치제어용 위치판독장치인 광학식 엔코더의 제조기술의 국산화를 위하여 부분 공정을 개발하였다. Micro-lithography 가공기술을 이용하여 유리 기저판 위에 정밀눈금을 가공하였다. 눈금가공 공정은 많은 단계의 과정을 거쳐 이루어 진다. 박막두께, 수지코팅, 건조온도, 노광시간, 부식시간 등 공정변수들의 최적조건을 찾아내고 각 공정변수에 따른 눈금품질과의 관계를 규명하였다.

I. 서 론

수치제어(NC: Numerical Control) 기술은 공장자동화를 위한 중요기술이다. 우리 산업현장에 공장 자동화가 확장되면서 NC 공작기계, 산업용 로봇, 삼차원 좌표측정기 등의 사용이 매우 증가되고 있다. 이러한 수치제어용 기계에서는 자동 위치제어를 위하여 길이변위와 회전각도 감지용 센서인 NC 엔코더가 반드시 필요한 부품이다. NC 엔코더에는 선형 엔코더 (NC-스케일)과 회전 엔코더가 있으며, 각각 직선운동과 회전운동의 제어에 사용된다. 그림. 1에서는 CNC 기계의 위치제어 시스템에서 정확한 위치로 이동을 목표로하여 서보 제어할 때 기계축의 위치를 감지하는 센서가 바로 NC 엔코더임을 보여주고 있다.^[1]

선형 엔코더는 직선운동의 변위를 감지하며 NC-스케

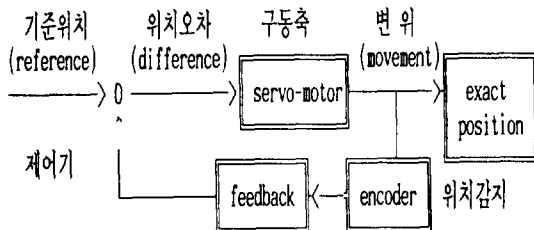


그림 1. 위치 제어시스템에서 엔코더의 변위감지

일이라고도 말한다. 변위 감지용 엔코더를 분류하면 그림 2와 같다.^[2]

선형 엔코더 작동방식에는 광학식, 정전용량식, 전기 유도식, 자석식, 레이저간섭계식, 저항식 등 6종류로 분류할 수 있다. 광학식 엔코더가 CNC 위치 제어용으로 현재 가장 많이 사용되고 있다. 다음으로는 정전용량식이 많이 적용되며, 전자기유도형은 inductosyn이라는 초기 제품시의 이름이 일반화되어 사용되고 있다. 자석식 스케일과 레이저 간섭계는 위치제어 시스템에 자주 쓰이고 있지는 않다.^[2]

한국공업규격 KS-B5262 (1991년)에서는 디지털 스케일 제품의 4가지 등급별 (0, 1, 2, 3등급) 정밀도를 규정하고 있다. 예를 들면 0 등급인 경우에 10 cm 길이에 3.3 μm , 1m에 6.6 μm 의 정밀도를 요구하고 있다. NC-

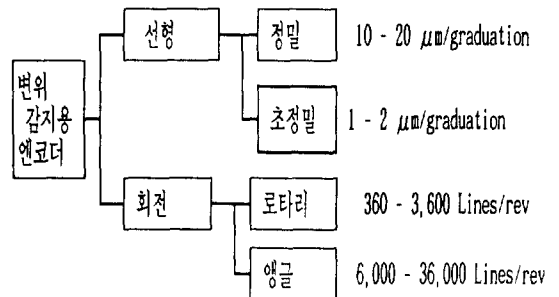


그림 2. 변위 엔코더(Displacement Encoder) 분류

표 1. 절대형 NC-스케일과 증분형 NC-스케일 비교

스케일 종류와 특성	절대형 (Absolute)	증분형 (Incremental)
위치과약 내용	항상 절대위치	상대적 이동변위
스위치 작동 직후	즉시 현위치 과약	현위치 과약군단
해상도	지해상도, 2 N	고해상도, 눈금간격*A/D
센서 개수	많다 (N)	2~5개
측 이동속도	무제한	제한적 (센서 작동주파수)
스케일 구조	복잡	간단
신호처리로직	간단	복잡
Reference Mark	불필요	필요
실제 사용빈도	드물다	거의 대부분

스케일 눈금에는 절대형 눈금과 증분형 눈금 두 종류가 있다. 실제 사용에 있어서는 높은 해상도와 정밀도가 중요하다. 그러므로 고해상도의 증분형 눈금이 대부분 사용되고 있으며 절대형 스케일은 드물게 사용되고 있다. 이 아래의 표 1에서는 절대형과 증분형의 장단점을 설명하고 있다.

II. 광학식 엔코더의 작동원리

메인 스케일은 프레임에 고정되어 있고 센서 헤드부가 상대적으로 이동하면서 변위 신호를 출력한다. 그림 3에서와 같이 센서 헤드부에는 LED, 인덱스 눈금과 광학센서가 부착되어 있다. 센서 헤드부의 신호처리 회로에서는 Opamp, 비교기 등이 있어 변위에 따라 5V의 로직 신호전압의 안정된 파형을 송출한다.¹⁾

절대형 눈금에서는 측 이동방향 감지용 센서가 필요 없지만 증분형 눈금에서는 이동방향의 감지장치가 절대적으로 필요하다. 대부분의 스케일에서는 변위 방향 (+, -)을 감지하기 위하여 두개의 센서가 같이 사용되고 있다.¹⁾ 개발하는 스케일의 센서 헤드부에는 총 5개의 센서가 사용된다. 좌우 이동 방향을 감지하기 위하여 위치(위상) 차이를 가진 창문을 설치한다. 눈금 구조는 메인 스케일 눈금패턴과 동일하고 다만 위상차가 90° 즉 1/4 눈금 간격만큼씩 차례로 이동하여 배치된다. 그림 4에서 1번 기준 센서와 180° 위상차에 설치된 3번 센서는

서로 보완하며, 이것은 메인 스케일에 눈금오차가 있는 경우에 그 측정값의 오차를 감소시킬 수 있다. 이와 같은 목적으로 2번과 4번 센서의 신호도 서로 연결하여 보완작용을 하도록 회로가 설계된다.

그림 4에서 창문5의 참조마크 눈금은 절대위치를 파악하기 위하여 사용되며 특수한 패턴을 가진다. 참조 위치마크의 기능과 작동원리를 연구하였고, 그 결과를 이용하여 컴퓨터 프로그램으로 고유한 참조 위치마크 패턴의 설계방법을 앞서 개발하였다.

III. 유리눈금 제작실험

광학식 NC-스케일 제조기술을 개발함에 있어서 유리 눈금 제조기술이 가장 핵심이다. 이에 비하여 NC-스케

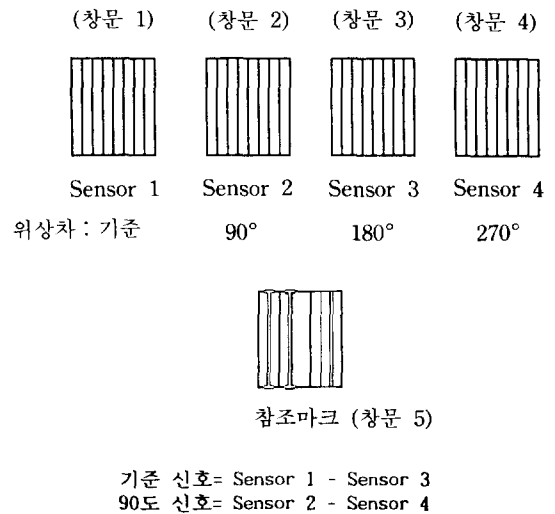


그림 4. 광학식 NC-스케일의 인덱스 스케일 눈금 창문 구조

(이동 센서 헤드부)

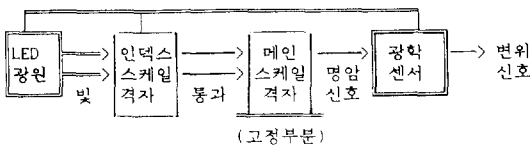


그림 3. 광학식 NC-스케일의 센서 헤드부 작동 구조

일용 전자 제어기는 마이크로 프로세서와 카운터 회로로 구성되어 있어 간단한 회로기술이다. 제어용 프로그램은 주로 Assembler로 작성하여 EPROM에 저장하며, 실제 스케일 사용조건을 고려하여 운전 프로그램을 개발한다.

광학식 NC-스케일 구조에서는 2종류의 정밀 눈금유리판이 사용된다. 하나는 프레임에 고정된 길이가 긴 스케일(mother scale)이고 다른 하나는 이동하는 센서 헤드부에 부착되어 상대운동을 하는 작은크기의 grati-cule(index scale)이다. 유리눈금 제조기술에서 박막 코팅 기술과 lithography를 이용한 박막의 정밀가공 공정에서 여러가지 실제적인 know-how 변수들을 실험적으로 결정하였다.

micro-lithograpy 기술이란 μm 크기의 선폭과 정밀도를 가진 반도체 IC-회로를 silicon wafer 위에 광학적으로 부식시켜 제조하는 공정을 말한다. CPU, 메모리 소자, 로직 게이트 등 모든 IC는 lithography 공정으로 생산된다. 원래 lithography의 어원은 물에 그림을 새기는 石版기술을 뜻한다.¹⁵⁾ 광학식 NC-스케일 유리눈금 제조 실험은 다음과 같은 단계의 과정으로 수행하였다.

1. 기저 박막 코팅

유리판위에 금속 박막을 코팅하는 기술에는 스퍼터링(sputtering)과 진공증착법(vacuum evaporating) 등 두가지 방법이 있다. 진공증착 방법은 알루미늄처럼 용융점이 낮은 금속의 박막을 입힌 때 적합하다. 이 방법은 진공 챔버 속에서 텅스텐 보우트를 전류로 가열하여 시료금속을 증기로 만들어 기저판면 위에 진공증착시킨다.

스퍼터링은 비교적 용융점이 높은 니켈, 크롬 등을 코팅할 때 적합하다. 이 방법의 원리는 X-ray, laser, plasma 같은 에너지 빔으로 금속재료의 표면을 때려서 금속분자를 공중으로 분리하여 기저판 표면에 달라 붙게 하는 방법이다. 역시 진공속에서 이루어지며 진공은 산화방지, 먼지제거, 공기분자의 방해작용 제거 등의 효과가 있다.¹⁴⁾ 그 외에도 코팅박막의 품질을 높이기 위해서 기저판과 금속재료 사이에 직류 전압을 가하거나 기저판의 뒷면을 가열하기도 한다. 그림 5에서와 같이 유리판 위에 금속박막이 입혀진다.

(가) 유리면 위의 크롬 코팅

금속 코팅 전문업체에 의뢰하여 유리위에 레이저광선 스퍼터링으로 크롬을 코팅하였다. 현재 유리판 20cm 크기까지 코팅이 가능하며, 크롬 박막 두께는 측정된 결과 0.2~0.3 μm 이었다. 금속박막 두께는 부식시간 조

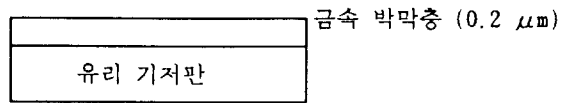


그림 5. 유리면 위의 금속 박막층 코팅

건과 관련된다. 부식조건 20~60초, 수지층 2 μm , 눈금폭 10 μm 를 고려하면 0.2 μm 이 적합하다. 기존의 각국의 스케일 제품의 금속박막 두께는 0.2~0.3 μm 이다. 코팅된 박막의 표면조도검사는 육안검사 및 촉각으로 비교검사만 수행하였으며 기존 제품의 박막보다 우수하였다. 순수 크롬인 경우 표면경도 HV229, 강도 1000 N/mm²로 높다.¹⁶⁾ 손톱으로 긁어도 scratch가 전혀 생기지 않았다.

(나) 알루미늄 코팅

알루미늄 코팅 진공증착법은 비교적 값이 저렴하고 기술적으로 용이하였다. 증착되는 알루미늄 박막 두께를 결정하는 가장 큰 영향요소는 Tungsten boat 위에 용융 증발되는 알루미늄 질량이다. 순도 99.999%의 와이어형 알루미늄 75 mg을 사용하였다. 진공증착한 박막층의 두께는 인하대학교에 소유하고 있는 박막 두께측정기로 측정된 결과 동일한 시편에서는 $\pm 0.03 \mu\text{m}$ 이었으며, 이는 박막두께 0.2 μm 의 부식공정을 고려하면 균일한 편이다. 유리면 청결 세척시 불순물 잔존을 주의해야 한다. 세척불량으로 불순물이 기저판 표면에 남아 있는 경우에 박막공정후 검사하여 보면 많은 구멍과 결함이 생겨있다. 박막 두께 측정결과 0.2~0.4 μm 으로 필요두께에 적합하였다. 진공은 1차에 피스톤형 진공 펌프 5분간 운전으로 10⁻³ torr 진공을 얻고, 그 다음에 2차로 기름 확산형 진공 펌프 15분간 운전으로 진공도 10⁻⁶ torr에 도달하였다.

크롬에 비교하면 알루미늄 박막은 재료강도 70 N/mm², HB20으로서¹⁹⁾ 취약하여 취급시에 표면손상이 쉽게 발생되어 재료성질상 스케일 눈금으로는 부적합함이 나타났다. 또한 산화성이 높아 공기중에서 광택이 쉽게 변하면서 눈금패턴의 경계선이 파손되었다. 알루미늄 재료는 660°C의 낮은 용융점 온도 덕분에 코팅방법은 비교적 쉽다.

(다) 폴리실리콘 박막 코팅

비금속성 박막인 polysilicon 박막 코팅도 실험하였다. CVD(chemical vapor dipositioning) 방법으로 코팅하였으며 고주파 가열장비를 사용하여 유리 기저판 부위를 가열하였다. 진식 부식이 쉽고 눈금의 경계선이 깨끗한 장점은 있다. 그러나 플루오르 화합물의 유독 가스를 사용하므로 위험하고 또한 기술이 비교적 복잡하며, 결과의 Si-박막은 빛 투과성이 남아 있어서 눈금용 박막

표 2. 스케일 유리눈금용 박막재료의 특성비교

	크롬	알루미늄	폴리실리콘
강도	상(950 N/mm ²)	하(70 N/mm ²)	하(scratch)
경도	상(HV229)	하(HB20)	중
광차단성	상	상	하(광투과)
코팅법	스퍼터링	진공증착법	CVD
공정난이도	중(코팅기계)	상(간단)	하(위험,복잡)
내산내식성	상	하	하
내마모성	상	하	하

으로는 사용하기 곤란하였다. 또한 긴 공정시간, 표면성질, 약한 재료강도 등의 이유로 Si-박막은 스케일 눈금으로는 부적합하였다.

결론적으로 표 2에서 유리눈금의 재료로는 크롬박막이 강도, 내구성, 공정, 정밀도 등을 고려하면 가장 적합함을 알 수 있다.

2. 감광막코팅 (Photo-resist Coating)

감광수지(Photo-resist) 종류는 매우 다양하다. 종류에 따라 노광시간, 점도, 수지층 두께, 건조온도와 시간이 달라진다. 감광수지에는 사진필름처럼 마스크와 반대형상을 만들어 내는 negative형과 동일한 형상을 만드는 positive형이 있다.^[4] 일본 Shipley 회사 제품의 감광수지가 우수하고 본 공정에 적합하였다.

감광수지 코팅 방법은 spinning, roller, spraying 등의 방법이 있다. 원심력 코팅 방법은 제품의 크기가 직경 15 cm 이하의 경우에만 가능하며, 보다 큰 제품은 유리롤러 이용한 코팅 방법이 적합하다. 실제적으로 반도체 웨이프인 경우에는 spinning 및 spraying 방법으로 코팅하며, 칼라 브라운관 마스크인 경우에는 roller를 사용하여 코팅하고 있다. 본 실험에서는 반도체 웨이프용 감광수지 코팅기계인 스피너를 사용하였다. 일본 Kyowa Riken 회사 제품으로 모델명은 K359SD-270 Spinner이다.

Spinning에서는 원심력을 이용하여 수지의 액체표면을 평활시킨다. 회전속도와 회전시간은 코팅 수지층의 두께에 영향을 주는 중요 변수이다. spinning은 2단계로 속도제어한다. 1000 rpm 속도에서 10초간 운전과 3800~

표 3. PR 수지층 두께 변수와 다른 공정변수와의 상관관계

수지층두께	얇다 (1.0 m이하)	적합 (2 + - 0.5 μm)	두껍다 (3 μm 이상)
현상시간	짧아야 한다	보통	길어야 한다
수지경계면	경계선 불만	깨끗함	동산모양 곡선
부식상태	side etching	양호	부식면적 부족
눈금굵기	가늘다	적절	굵다
눈금정밀도	낮다	정확	낮다

4000 rpm에서 40초간 회전조건에서 적합한 수지층 2 μm 두께를 얻었다. 1400 rpm~20 sec, 6000 rpm~30 sec 조건에서는 1 μm 두께가 되었다. 반경에 따른 원심력 차이 영향으로 회전중앙부의 수지층 두께는 바깥 부분보다 두껍다. 감광수지는 비이커에서 수 시간 또는 수십 시간 지나면 용매가 증발되어 점도가 증가된다. 높아진 점도의 수지는 같은 속도 조건에서도 수지층의 두께가 크게 된다. 반대로 감광수지의 용매인 아세톤을 체적비 20~30 % 정도 첨가하여 spinning하면 수지층 두께가 1 μm 이하로 얇게 된다.

수지층의 두께는 중요한 공정변수이다. 그 두께가 2.5 μm 이상 두꺼우면 현상과 부식의 결과가 나빠지며 눈금경계선이 깨끗하지 못하고, side etching 등으로 눈금정밀도가 손상된다.

3. 일차건조 (Pre-bake, soft baking)

감광수지를 코팅한 후에 굽는 목적은 감광 이전에 수지속의 액체용매 즉 아세톤을 휘발건조시키고, 가열 건조공정으로 PR이 탄탄하게 굳어져 분해하기 위함이다. 노광을 위한 마스크의 수지부위 접촉시 수지층 모양이 파손되지 않고 안정 및 청결을 유지하기 위함이다. 또한 마스크를 보호하기 위하여 이러한 가열건조 공정이 필요하다.

일차건조 온도 조건은 80~100°C이며, 90°C 에서 30 분간이 적합하다. 100°C 이상 고온에서 오히려 감광수지 조직 파괴 응고(hard-bakig)가 발생되어 그 후는 수지의 감광작용이 불능하게 된다. 건조로(oven) 속의 시간적 공간적 균일한 온도가 매우 중요하다. 열건조 장비는 온도조절이 가능한 전기 건조로를 사용하였다.

4. 노광 (빛조임, Exposure)

Lithography를 위하여 원본 마스크를 직접접촉(contact) 방법으로 기저판 위에 겹쳐서 정렬한 후에 광광장 350~450 μm의 자외선(UV)으로 노광시킨다. 노광 장비

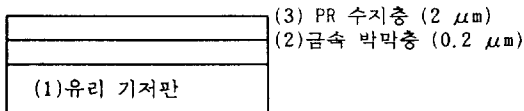


그림 6. 감광수지층 코팅

는 반도체용 aligner 독일 Karl Suss KG, 모델명 MJB3 UV400을 사용하였다. 광원은 수은 방전 진동(mercury vapor exposure lamp UV350)고 350 W이다. 광선의 평행도는 노광면에서 5도 각도범위에 90%의 광량이 통과된다. 노광 시간이 제작된 스케일 눈금의 정밀도 및 품질에 영향을 주며, 후속 공정변수인 현상 시간과 관련된다. 중요한 공정 변수중의 하나이다. 선행 공정한 PR 코팅 공정과 차후 공정한 노광공정의 변수들과 직접 관련이 있으며, 이 변수에 따라 최적 노광 조건을 잘 선택해야 한다. 노광 시간이 길면 현상 시간이 짧아야 하고, 반대로 노광 시간이 짧으면 현상 시간이 길어야 한다. 노광 시간이 너무 길면 PR수지 경계면이 겹겹 변하고, 노광 시간이 너무 짧으면 금속박막 경계면에서 side etching이 발생한다. PR 코팅공정에서 PR 수지층의 두께가 2.0 μm 인 경우에 노광시간은 12~60 sec가 적합하였다. 노광시간의 적합성은 노광후에 바로 조사하기 어렵고 현상공정까지 진행한 후에야 비로서 분석할 수 있다.

5. 노광후 건조 (Post-Exposure Bake)

온도조건을 90~110℃ 에서 1~2분 동안 건조로에서 말한다. 이 과정은 2차 전조공정으로서 생략해도 눈금의 품질에 큰 영향은 없었다.

6. 현상 (Development)

현상은 노광된 부분과 가리워졌던 부분을 구분하여 PR을 현상에 속으로 녹여 내는 과정이다. Positive PR인 경우 노출된 부분이 부식되어 마스크 눈금모양과 제품의 눈금모양이 동일하게 된다. Negative PR인 경우 노출되지 않았는 수지부분이 녹아서 제품의 눈금은 마스크 눈금의 반대 무늬가 된다. 현상액 종류는 일본 Shibly Microposit SAL 351 DEVELOPER를 사용하였다.

현상 시간도 매우 중요한 변수이다. 현상시간은 노광 시간과 직접 관련되며 동일한 PR층 두께인 경우에 서로

표 4. 노광시간 공정변수의 특성

노광시간	짧 다 (12초이하)	적 합 (12~60초)	길 다 (60초 이상)
현상시간	길어야 한다	보 통	짧아야 한다
수지경계면	틀니모양 불분명	깨끗함	수지경계면 burning
부식상태	side etching	양 호	
눈금굵기	가늘다	적 절	굵다
눈금정밀도	낮다	정 확	낮다

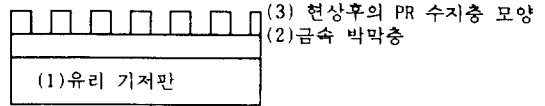


그림 7. 현상공정후의 수지층 구조

반비례함을 실험적으로 파악하였다. 최적 현상조건을 실험적으로 선택해야 한다. PR 종류와 일치하는 현상액 (developer)을 사용해야 한다. 그러므로 PR과 현상액은 동시 구입하는 것이 바람직하다.

7. 현상후 건조 (Post-bake, hard baking)

수지는 고온에서 수지의 조직이 변화하여 굳게 된다. 부식용 강산성액에서도 수지가 풀리지 않게 수지구조를 안정화시키는 것이 그 목적이다. 전기건조로의 온도범위 110~120℃ 에서 30분이 적절하였다.

8. 부식(Etching)

방법은 습식부식(wet etching)과 건식부식(dry etching)이 있다. 습식부식에서는 시편을 강산성액에 완전히 담구어 수지에 보호되지 않는 부분의 금속박막을 부식시켜 눈금을 새긴다. 건식부식은 고전압하의 ionized gas plasma flow 속에서 이루어지며 이때에 노출된 금속 표면과 감광수지도 함께 증발되어 날아 가버린다.¹⁴ 감광수지 아래 금속부분은 남아 있게 된다. 즉 수지층제거 공정이 필요없게 된다.

부식공정 실험에서는 습식으로 수행하였다. 실험실에서 화학적으로 합성한 알미늄부식액 (30% HPO₄)은 부식은 깨끗이 되지만 단점이 있었다. 가열이 필요하였고 0.2 μm 금속층을 부식하는데 시간이 비교적 길게 소요되었다. 부식액의 온도 50℃ 9~11분, 60℃ 5분, 65℃ 3분, 70℃ 2분, 76℃ 1분이 소요되었다. 이때 가열에 의하여 발생하는 인산증기는 실험자를 괴롭히므로 조심해야 한다.

크롬인 경우에 데이터북에 따라 실험적으로 합성한 부식액은 실패하였고, 전용 부식액을 구입하여 사용하였으며 쉽고 깨끗하게 부식되었다. Cyantek Corporation 제품 CR-7 을 사용하였으며 상온에서 20Å/sec의 부식

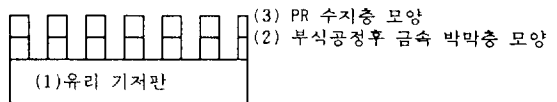


그림 8. 부식공정후의 금속박막층 구조

표 5. 습식 부식에서 부식시간 변수의 영향

부식시간	짧 다 (20초이하)	적 합 (20~60초)	길 다 (60초 이상)
부식상태	부 족	양 호	side etching
PR수지상태	양 호	양 호	melting,solving
눈금굵기	굵 다	적 질	가늘게 된다
눈금정밀도	낮 다	높 나	낮다

표 6. 수지층두께, 노광, 현상, 부식시간 공정변수의 실험결과 비교표

수지층두께	1 μ m	2.5 μ m	5 μ m
노광시간	10초~15초	20초~50초	1분~2분
현상시간	15초~20초	30초~60초	40초~90초
부식시간	20초~25초	20초~1분	40초~60초

속도를 가진다. 가열이 불필요하고 20°C 에서 20~60초 이면 감광수지가 보호되지 않는 크롬박막 부분이 한겹 남김없이 부식되었다. 부식 시간이 60초 이상 길어지면 강산에서 감광수지가 부분적으로 용해되고, 수지층 아래의 크롬박막까지 부식하는 side etching 진행되었다. 이 경우에 눈금패턴의 경계선이 지저분해하게 되며 눈금의 경계선위치가 변한다. 스케일의 정밀도는 눈금의 경계선 위치에 의하여 직접 좌우되므로 제품의 정밀도가 낮아진다.

부식공정 후 즉시 증류수 등에 부식액을 세정해야만 계속되는 부식을 방지하여 깨끗한 눈금패턴을 얻는다. 표 5에서는 실험결과 PR층 두께에 따른 각 공정변수들의 상관관계를 나타낸다.

9. 감광수지 제거 (Stripping)

PR은 수지이므로 용매 아세톤에 1~2분간 담구면 이제는 더 이상 필요없게 된 PR 수지부분이 깨끗이 용해되어 기저판으로부터 제거된다. 중요한 공정변수가 없는 간단하고 쉬운 공정이다.

10. 세 정

마지막 공정으로서 세척(rinse) 작업이 필요하다. 아세톤과 증류수에 차례로 세정하며 초음파 세척기를 이용한다.

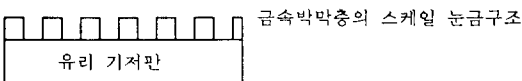


그림 9. PR 수지층 제거후의 스케일제품 구조

IV. 결과 및 토의

수치제어용 스케일에서 인덱스 스케일의 제작 기술을 처음부터 끝 공정까지 수행하여 몇 개의 시제품을 성공적으로 제작하였다. 기존의 NC-스케일 제품에서 원래의 인덱스 스케일을 떼어 내고, 연구 개발한 공정기술로 제작완성한 것을 교환 부착하여 NC-스케일의 작동을 시험하였다. 정밀 NC 동작기계의 스퀴들에 부착하여 변위정밀도를 실험하였던 200 mm 이동거리에 5 μ m의 오차를 보였다.

감광수지를 이용한 정밀가공의 각 세부공정별 공정변수인 시간, 농도, 속도, 온도 등을 실험적으로 최적조건을 찾아 내었다. 각 공정의 조건 변수는 서로 관련이 있어 최적 변수를 찾는 것은 많은 실험을 통하여 결정된다. 하나의 공정변수가 최적치에 약간 벗어나면 바로 다음의 공정은 변수를 조정하여 결과가 나쁘지 않게 될 수 있으나 그 다음의 후속 공정에서는 변수조정이 더욱 큰 범위가 되어야 하고 최종결과 눈금의 품질이 매우 나빠진다. 또한 공정변수의 최적치에 영향을 주는 환경조건들은 매우 다양하고 그 조건에 따라 민감하다.

공정실험한 데이터를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 금속박막 재료는 알루미늄, 크롬, 폴리실리콘 중에서 크롬이 적절하다.
- (2) 금속박막 두께는 부식조건 20~60초, 수지층 2 μ m, 눈금폭 10 μ m를 고려하면 0.2 μ m이 적합하다.
- (3) 수지코팅의 spinning조건은 1000 rpm-10초, 3800 rpm-40초에서 수지층 두께 2 μ m를 얻는다.
- (4) 감광수지층 두께는 노광조건 20~30초를 고려하면 2~2.5 μ m가 적합하다.
- (5) 일차건조는 노광조건 30초, 부식조건 약 30초를 고려하면 90°C 건조로에서 30분간이 적합하다.
- (6) 노광은 수지층 2~2.5 μ m인 경우에 약 30초 정도 노광시간이 적절하다.
- (7) 부식은 금속층 0.2 μ m, 수지층두께 2 μ m, 노광 30초, 전용부식액 사용조건인 경우에 30초의 부식시간이 적합하다.

참 고 문 헌

[1] 김희식, 박준호, "Micro-lithography를 이용한 광학식 NC-스케일 제조기술", 한국과학기술단체 총연합회 추계 Workshop 생산기술분과 발표집 pp. 25-31.
 [2] 김희식, "센서 시스템", 대한 기계학회, 자동화 기술강습회, 1989. 10. 18-20.

- [3] 독일 Heidenhain 회사, 카탈로그 “NC-linear encoders”, “Rotary and angle encoders”.
- [4] David J. Elliot, *Microlithography Process technology for IC fabrication* (McGraw-Hill, 1986).
- [5] 이성목, 임동규, “Micro-lithography의 광학적 원리”, 제 8 회 광학 및 양자전자학 워크샵 논문집 (1991. 7. 13) pp. 109-114.
- [6] 이창구, “알고 싶은 측정의 자동화”. 기전연구사, 1991, pp. 87-93.
- [7] 대성산업, Anilam NC-스케일 사용설명서.
- [8] H.-J. Warnecke, W. Dutschke, *Fertigungsmesstechnik* (Springer-Verlag, 1983).
- [9] Dubbel, *Taschenbuch fuer den Maschinenbau* (Springer-Verlag, 1983).

Development of Optical NC-Scales Fabrication Process

Hie-sik Kim

Control and Instrumentation Engineering Department, Seoul City University, Seoul 130-743, Korea

June-Ho Park

Daesung Research and Development Center, Seoul 133-123, Korea

(Received: January 18, 1992)

Position reading devices such as optical encoders are most essential components in numerical control (NC) machines and robots. Fabrication process of optical NC-scales was developed for domestic production. The whole process using photo-lithographic techniques consists of about 10 steps. The process parameters were to be carefully determined through many trial experiments. The scale marks of metal film was printed on a glass substrate. The optimum values of various process parameters were extracted. The quality of scale marks was attributed to the each process parameters.