

# 정전용량 주사형 데시미크론 현미경의 구현

## (Implementation of Scanning Capacitance Decimicron Microscope)

權寧島 \* , 李周信 \*\*

(Young-Do Kwon and Joo-Shin Lee)

### 요 약

본 연구에서는 0.2 $\mu$ m의 용량탐침을 사용해서 기계적으로 대상물체의 표면을 2차원 또는 2.5차원 주사해서 그 표면의 정전용량 분포를 화상화하는 정전용량 주사형 데시미크론 현미경(SCdM)을 구현하였다. 이때, 미동 스테이지 또는 탐침 구동방식이 그 주사방법으로, VHD 디스크 판과 IC 칩이 대상물체로서 사용되었다. 이 대상물체에 대한 실험결과, SCdM은 광학 현미경의 분해능을 증가하는 0.1 $\mu$ m의 분해능을 얻고 있으며, 광학현미경의 확대기능과 STM의 안내기능을 겸비한 데시미크론 현미경으로서 ULSI 패턴 또는 생물학적인 자료등을 검사하는 강력한 도구로서 사용될 것이다. 실험시스템은 비디오 디스크 면의 정전용량 변화를 포착해서 비디오 신호를 읽어내는 VHD (Video High-density Disc) 방식을 기초로 구성했다.

### Abstract

In this study, we implemented a scanning capacitance decimicron microscope(SCdM) which scans a surface of the object mechanically in two or two point five dimensions with a stylus of size 0.2 $\mu$ m. X-Y stage and stylus driving method are used as the scanning method, and VHD disk plate and IC chip are used as the object. Experimental result of these object show that SCdM obtain 0.1 $\mu$ m resolution power which exceeds that of optical microscope, and this microscope will be used as a powerful tool for inspecting ULSI pattern or biological data as a decimicron microscope which zoom a function of optical microscope and guide STM. The experimental system is composed of a VHD video disk method which captures the capacitance changes of the video disk surface and converts it into video signal.

### I. 서 론

최근 IC의 고밀도화에 따라 선로의 선폭은 더욱더 축소화 되어 64 Mbit의 기억소자에서는 0.25 $\mu$ m에 이

르기까지 미세화 가능성이 예상된다. 따라서 커팅과 검사행정에 있어서 저렴한 가격으로 간단히 관찰 가능한 현미경이 요구되고 있다.

종래의 현미경은 렌즈계를 사용하고 있어 빛의 파장에 의한 제약을 받아, 광학 현미경과 레이저 현미경에서는 0.3 $\mu$ m 정도의 기록 분해능이 한계로 되어 있다<sup>[1]</sup>. 또한, 고분해능의 전자 현미경에서는 진공중이 아니면 고에너지의 전자빔이 투과되지 않아 진공이외의 환경에서는 사용할 수 없다. Binnig 등에 의해 개발된 주사형 터널 현미경(Scanning Tunneling Microscope : STM)은 터널효과를 이용하고 있어 렌

\* 正會員, 大田産業大學校 情報通信工學科  
(Dept. of Information & Communication Eng., Taejon National Univ. of Technology)

\*\* 正會員, 淸州大學校 理工大學 電子工學科  
(Dept. of Electronics Eng., Chongju Univ.)  
接受日字: 1997年6月16日, 수정완료일: 1998年2月20日

즈를 필요로 하지 않으며, 물질의 분자 레벨까지 관찰 가능한 분해능을 가지고 있어 최근에는 진공이외의 환경에서도 사용가능 하기에 주목을 받고 있다<sup>[2]</sup>.

Matey 등에 의한 주사형 정전용량 현미경(Scanning Capacitance Microscope : SCaM)에 관한 연구보고가 있지만, 그들은 CED(Capacitance Electronic Disc) 비디오 디스크 시스템의 회전 주사기구 및 회로를 거의 그대로 이용해서 디스크판의 회전주사 표면상을 얻는 것에 머물고 있다<sup>[3]</sup>. 한편 Garbini 등은 1차원 방향 스캔용의  $0.1\mu\text{m} \times 2\text{mm}$  용량탐침을 사용해서 표면 거칠기를 검사하기 위해 Profilometer를 구성해서 2.5mm 구간을  $5\mu\text{m}$  간격으로 시료표면의 요철을 측정했다<sup>[4]</sup>. 이때에 용량탐침의 1차원 방향에 대한 임펄스 응답을 해석해서 이것에 기초한 보정을 행하면 기계식 Profilometer에 가까운 특성이 얻어짐을 나타냈다.

본 연구에서 구현한 SCdM은 시료표면을 정전용량 탐침을 사용해서 기계적으로 평면 주사함으로써 시료에 손상을 주는일 없이 표면의 형상을 정전용량의 변화로써 포착해서 화상화 하는 현미경으로서 화상인식 장치의 역할도 가능할 것이다. 또한, 그 주사방법 자체는 STM의 기본적인 원리를 이용하고 있어 기존의 SCaM과 유사하다고 볼 수 있으나, 그 구현목적을 광학 현미경의 zoom up 기능과 STM 탐침 guide로서의 실용적인 관점에 두고 있어, 그 분해능을 결정하는 탐침크기(기존 SCaM,  $0.1\mu\text{m} \times 0.3\mu\text{m}$ ) 및 탐침-시료표면 간의 거리를 제어하는 구동장치(기존 SCaM, 0.01  $\mu\text{m}$ 의 높이로 주사)의 구조가 기존의 SCaM과 다른점이다. 시료표면의 경우 노출한 내부의 상태는 산란되어 있어 그 표면의 성질은 내부의 성질과 다르다고 판단된다<sup>[5], [6]</sup>. IC 등의 디바이스에서도 표면의 성질이 그 기능에 영향을 준다고 판단되어, SCdM이 반도체와 금속 표면구조의 연구에도 응용될 수 있으며 빛과 전자에 의해 시료표면에 손상을 주지 않기 때문에 비루스와 DNA 등 생물자료의 관찰에도 적합할 것이다.

본 연구에서 목적으로 하는 SCdM을 다른 현미경과 비교해서 그 특징을 열거하면,

1) 광학 현미경과 레이저 현미경에 비해 우수한 분해능을 갖고 있으며 이들과 조합해서 사용할 수 있다. 다시말해서, 보통은 광학 현미경으로 관찰을 행하고 좀더 미세하게 보고싶은 부분이 있을 때 SCdM으로 교체해서 조합하는 방식으로 사용할 수 있다.

2) 전자 현미경에 비해 분해능은 떨어지지만 SCdM은 공기중에서도 사용할 수 있다.

3) STM에 비해 분해능은 뒤지지만 STM이 물체 표면의 분자레벨의 특징을 포착함에 대해 SCdM은 좀더 큰 특징을 포착함에 적합하다.

이상의 특징으로부터 SCdM은 광학 현미경과 레이저 현미경의 관찰범위 보다는 미세하고 전자 현미경과 STM이 대상으로 하는 영역보다는 거칠은 영역인 특히 평면 대상물 표면의 관찰에 적합함을 알 수 있다.

본 연구에서는 물체표면의 형상을 화상화 하는 SCdM을 제작·구현하여 시료표면을 주사할 때  $0.1\mu\text{m}$  이하의 분해능을 얻고 있음을 나타내고 있다.

이하 2장에서는 물체표면의 요철과 정전용량 변화의 관계에 대해서 설명하고 미소 정전용량의 검출법(VHD 방식)과 SCdM에 사용하고 있는 검출부에 관해서도 설명한다.

3장에서는 정전용량 탐침을 구동하기 위해서 사용된 VHD 시스템의 구동코일계의 메카니즘을 설명하고 그 구동코일계를 사용해서 시험제작한 탐침구동 방식에 의한 SCdM을 나타낸다. 다음에는 정전용량 탐침을 고정해서 대상물을 움직이는 X-Y 미동 스테이지 방식에 의한 SCdM을 나타내고 이것에 사용되고 있는 미소변위 제어소자인 압전 액츄에이터(piezoelectric actuator)에 관해서 기술한다.

제4장에서는 탐침구동 방식과 X-Y 미동 스테이지 방식에 공통적으로 채용하고 있는 Z축 구동의 실험을 행한다. 여기에서 Z축 구동에 대한 검출기의 출력을 관찰함으로써 용량탐침 높이의 설정과 검출기 출력의 동일부위에 대한 재현성 등을 확인한다. 그리하여 이 결과와 일치시켜 앞장에서 나타낸 2가지 방식의 SCdM을 주사시켜 얻어진 데이터를 화상화 해서 재현성과 광학 현미경과의 대응관계 등에 대한 고찰을 행한다.

5장에서는 본 연구의 성과와 향후의 문제점에 관해서 기술한다.

## II. 정전용량 변화의 검출

디스크 표면의 요철을 정전용량의 변화로써 포착한 VHD 시스템(Video High-density Disc system)을 기초로 SCdM의 검출부는 구성되고 있다. 여기에서는 물체표면의 요철과 정전용량과의 관계에 대하여 언급하고 아울러 미소 용량검출의 원리와 검출부를 설명한다<sup>[7]</sup>.

1. 표면의 요철과 정전용량의 변화

대략적으로 근사화 해서 나타내면 그림 1과 같은 1장의 얇고도 폭이 넓은 판상의 1차원 형태의 전극을 고려할 수 있다. 여기에서 대상물 표면의 요철 파고값은 전극의 평균높이 보다도 작고 전극 주위 매체의 유전율은 일정한 것으로 한다. 이 전극과 평면의 어스(earth)전극 간의 정전용량  $C_{tot}$ 는 다음식으로 나타내 진다.

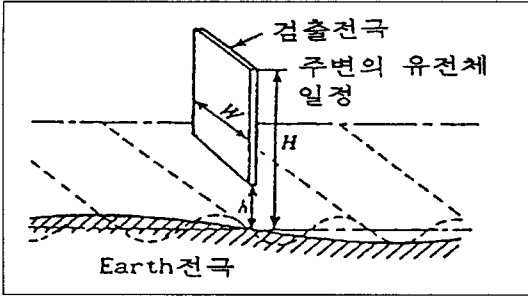


그림 1. 간략화한 전극구성  
Fig. 1. Schematic diagram of an electrode

$$C_{tot} = \epsilon_0 \epsilon_w \left( \frac{4}{\pi} \right) \ln \left( \frac{H}{2h} \right) \quad (1)$$

여기에서  $\epsilon_0$ 는 진공중의 유전율,  $\epsilon_w$ 은 주변매체의 비유전율이다.

현재 검출전극의 높이  $h$ 가  $h_{max}$ 에서  $h_{min}$ 까지 변화했을 때의 용량변화를  $\Delta C$ 로 하면,  $h_{max}, h_{min} \ll H$ 로써

$$\Delta C = \epsilon_0 \epsilon_w \left( \frac{4}{\pi} \right) \ln \left( \frac{h_{max}}{h_{min}} \right) \quad (2)$$

로 주어진다. 또한, 높이의 미소한 변화  $\Delta h$ 에 대한 용량변화  $\Delta C$ 는,

$$\frac{\Delta C}{\Delta h} = - \epsilon_0 \epsilon_w \left( \frac{4}{\pi} \right) \left( \frac{1}{h} \right) \quad (3)$$

로 주어진다. 한편, 용량검출전극의 미소한 요철전극의 분해능  $A$ 는

$$A(h, \lambda) = \left( \frac{h_0}{h} \right) \exp \left( -2\pi \frac{h}{\lambda} \right) \quad (4)$$

로 주어진다. 여기에서  $h$ 는 탐침의 평균높이,  $h_0$ 는 검출전극의 평균높이,  $\lambda$ 는 요철변화의 평균파장이다. 이것으로부터

$$\frac{h}{\lambda} \ll \frac{1}{2\pi} \quad (5)$$

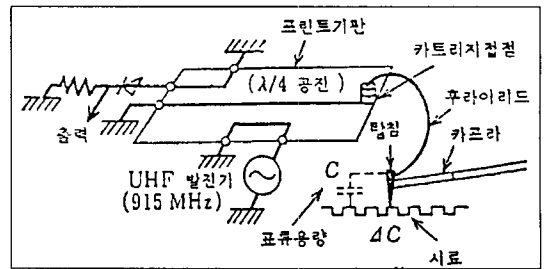
인 경우, 다시말해서 검출전극의 높이가 충분히 낮다고 하면 분해능은 공간파장에 관계치 않는  $h$ 만의 함수가 된다. 그러나

$$\frac{h}{\lambda} > \frac{1}{2\pi} \quad (6)$$

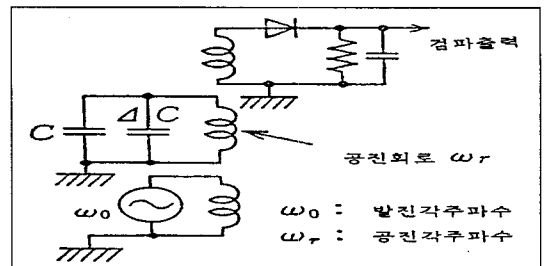
인 경우, 다시말해서 검출전극의 높이가 높을 경우 분해능은 낮게된다.

2. 미소 정전용량의 검출

본 연구에서 사용한 미소 정전용량 검출방법을 그림 2에 나타낸다<sup>[8]</sup>. 용량탐침의 표유용량  $C$ 와 시료(디스크)표면의 용량 변화량  $\Delta C$ 와는 프린트 기판상의 프린트 배선과 캐트리지(cartridge)의 플라이 리드(flylead)에서 공진회로를 형성한다. 외부에서 공진각 주파수  $\omega_r$ 에 가까운 발진각 주파수  $\omega_0$ 를 가진 반송파 신호를 이 회로에 주입하면  $\Delta C$ 에 따라  $\omega_0$ 가 변화하여  $\Delta C$ 에 대응해서 공진각 주파수  $\omega_r$ 이 반송파 진폭변조를 받기 때문에 이것에 의한  $\Delta C$ 의 대응신호가 검출된다(그림 3).



(a)



(b)

그림 2. 미소 정전용량 검출법(VHD 방식) (a) 기본 구성도 (b) 등가회로

Fig 2. The method of small capacitance detection (a) Fundamental construction diagram (b) Equivalent circuit.

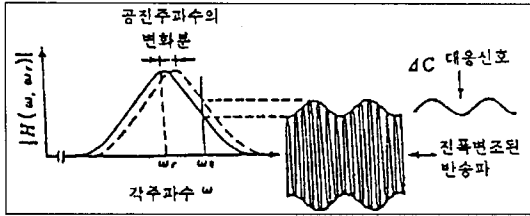


그림 3. 정전용량 변화에 의한 검출기 출력  
Fig 3. Detector output by capacitance change.

공진회로의 전달함수는 다음과 같이 표시된다.

$$|H(\omega, \omega_r)| = \frac{K}{\sqrt{(\omega_0 - \omega_r)^2 + a^2}} \quad (7)$$

단, k와 a는 정수이다.

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (8)$$

식(7)의 양변에 ln를 취해, ln |H|를  $\omega_r$ 로 미분하면

$$\frac{\Delta|H|}{|H|} = \frac{(\omega_0 - \omega_r)\Delta\omega_r}{(\omega_0 - \omega_r)^2 + a^2} \quad (9)$$

$$\frac{\Delta\omega_r}{\omega_r} = -\frac{\Delta C}{2C} \quad (10)$$

$\omega_0 - \omega_r = \pm a$ 에서 3dB 낮아진 공진특성에서는  $\Delta|H|/|H|$ 가 최대감도가 된다. 이 점을 동작점으로 선택하면, 식 (9)와 (10)으로부터 진폭 변조도  $\Delta|H|/|H|$ 는

$$\frac{\Delta|H|}{|H|} = -\frac{\omega_r \Delta C}{4(\omega_0 - \omega_r)C} = -\frac{Q}{2} \cdot \frac{\Delta C}{C} \quad (11)$$

가 된다.

정전용량 탐침에 가해지는 반송파의 평균진폭 peak-peak값을  $V_0$ 로 하면  $\Delta C$ 에 의한 진폭 변조분의 최대 peak-peak값은  $V_0(Q/2)(\Delta C/C)$ 가 된다.

### III. SCdM의 구성

시료표면을 정전용량 탐침을 사용해서 기계식으로 주사하는 방법으로 스테이지를 구동하는 방법과 용량 탐침을 구동하는 방법이 있다. 본 연구에서는 VHD 시스템의 구동 코일계를 이용한 탐침구동방식과 STM 등에서 사용되고 있는 압전 액츄에이터를 이용한 X-Y 미동스테이지 방식을 사용하였다.

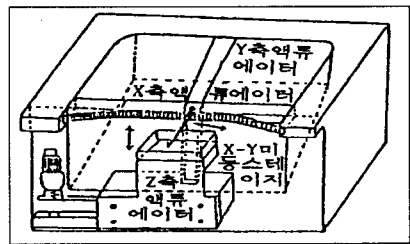
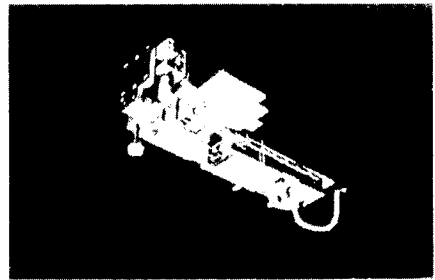
#### 1. 탐침구동방식

시료표면을 평면주사하기 위해서 탐침구동 스테이지를 제작했다. 스테이지(가로:1cm, 세로:0.5cm)는 X, Y 축에 교차형, Z축에 지지형 압전 액츄에이터를 사용하였으며, 스테이지를 고정된 상태로 구동코일계를 사용하여 탐침을 구동시킨다.

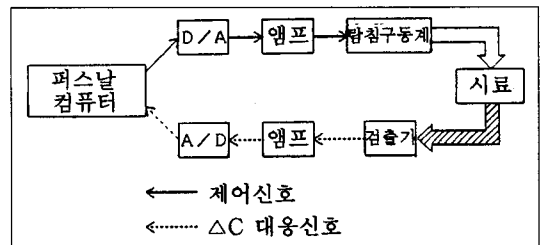
#### 1.1 탐침구동방식에 의한 SCdM의 구성

탐침구동 방식에 의한 SCdM은

- 1) X-Y주사와 탐침높이를 조정하기 위한 구동 코일계
- 2) 정전용량의 변화를 읽어 들이는 탐침
- 3) 정전용량의 변화를 진폭변조 해서 용량변화 대응신호를 검출하는 픽업 유닛 (pick-up unit)(그림 4(a))로 구성되며, 그 제어와 데이터를 처리하기 위해 퍼스날 컴퓨터를 사용한다(그림 4(b)).



(a)



(b)

그림 4. (a) 탐침구동방식 (b) 탐침 구동방식의 블록도  
Fig. 4. (a) stylus driving method (b) Block diagram of stylus driving method

1.2 탐침 구동계의 진동원 인가회로

그림 4(b) 블록도의 탐침 구동계에서 중요한 부분은 진동원 인가회로로서 D/A 변환기와 발진기를 조합해서 압전 액츄에이터를 구동시키며, 이회로를 나타내면 그림 4(c)와 같다.

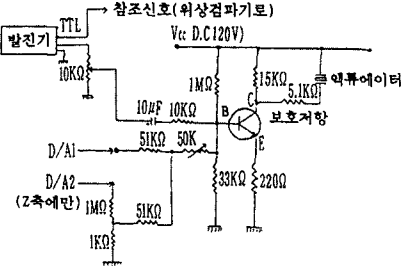


그림 4. (c) 진동원 인가회로  
Fig. 4. (c) Actuator driving circuit for stylus oscillation.

2. X-Y미동 스테이지 방식

시료표면을 평면주사 하기 위해서 X-Y미동 스테이지를 제작했다. 스테이지의 X, Y축에는 교차형, Z축에는 지지형의 압전 액츄에이터가 사용되어 가로·세로의 크기가 1cm인 시료 탐재대가 구동된다(그림 5(a)).

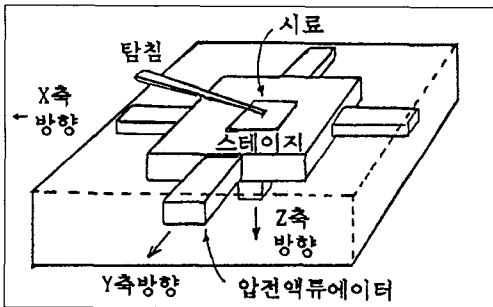


그림 5. (a) X-Y 미동 스테이지  
Fig. 5 (a) X-Y stage driving.

2.1 X-Y미동 스테이지 방식에 의한 SCdM의 구성

X-Y미동 스테이지 방식에 의한 SCdM은

- 1) X-Y주사와 탐침높이를 조정하기 위한 X-Y 미동장치
- 2) 용량탐침
- 3) 픽업 유니트(pick-up unit)
- 4) 퍼스널 컴퓨터

로 구성되고 있다(그림 5(b)).

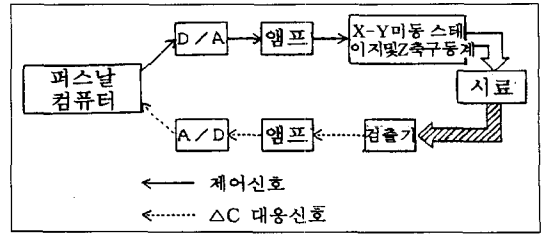


그림 5. (b) X-Y 미동 스테이지 방식의 블록도  
Fig. 5. (b) Block diagram of X-Y stage driving method.

본 연구에서는 Z축 주사에 구동 코일계를 사용해서 탐침을 상하로 움직이게 하기때문에 교차형의 압전 액츄에이터는 사용하지 않았다.

위에서 기술한 2가지 방식에 따라 실험을 행했지만 스테이지를 구동하는 방법에 있어서는

- 1) 시료의 크기에 따라 기계정수가 변하고 특히 open loop로 구동하는 경우 주사의 범위와 선형성 등이 변하게 될 가능성이 있고
- 2) 시료가 클 경우에 구동에 의한 시료와 주위환경과의 포유용량의 변화가 아티팩트(artifact)로서 화상에 나타나는 점,

등에 문제가 있음을 알게 되었다. 따라서, 1)의 문제가 없고 동시에 2)의 문제를 가능한 억제할 수 있는 방식으로서 탐침 구동방식이 바람직하다고 할 수 있다<sup>[9], [10]</sup>.

본 연구에서는 2)의 문제를 억제하기 위해서 평면주사의 각 점에 있어서 Z축 구동을 행해 탐침을 상하로 움직이게 하는 주사방법을 도입했다.

3. 탐침 구동계

VHD 시스템에는 정전용량 탐침을 안내하는 홈이 없고 그 대신에 tracking 정보가 영상신호와 나란히 기록되고 있다. 이 신호를 정전용량 탐침으로 포착해서 선단의 전극이 track을 정확히 trace 한다. 이것에 사용되고 있는 구동 코일계를 그림 6(a)에 나타낸다. 탐침 지지대의 한쪽 선단에 부착된 침선(針先)의 전극에 flylead선을 매달고 magnet가 부착된 다른쪽 선단을 damper로 떠받친 cartridge를 player 내에 장착하면 탐침 지지대의 한쪽에 붙어 있는 magnet는 player 측에 부착되어 있는 5개의 전자코일로 구성된 2조의 coil assembly와 함께 track에 대해서 침선을 좌우(X축), 전후(Y축)의 양방향에 전자적으로 움직이

게 하는 driver가 된다. 탐침구동은 이 구동코일을 퍼스날 컴퓨터로 제어해서 X-Y-Z축으로 주사한다.

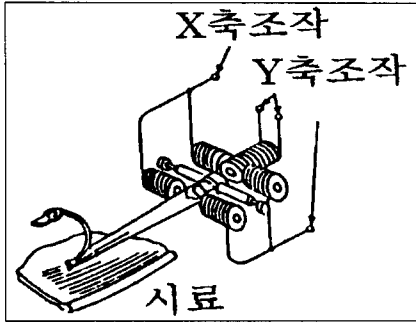


그림 6. (a) 구동 코일계  
Fig. 6. (a) Driving coil mechanism.

4. 압전 액츄에이터

미크론 이하의 정확도에서 초정밀 위치 결정용 미소 변위 제어소자로서 또한 전자식에 대신하는 소형으로 동시에 고속응답의 고체소자 motor로서 압전 액츄에이터<sup>[11]</sup>가 주목을 받고 있고 Binning 등에 의해 개발된 STM에도 사용되고 있다.

분극화된 압전 세라믹(piezoceramics)에 전압을 인가하면 분극방향과 동일한 방향으로 인장의 찌그러짐(종효과)을, 직각방향으로는 수축의 찌그러짐(횡효과)을 발생시킨다. 압전 종효과는 횡효과와 비교해서 약 2배의 찌그러짐을 발생 시킨다.

압전 종효과의 찌그러짐에 의한 변위량  $\Delta t$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$\Delta t \equiv d \cdot V \tag{12}$$

여기에서  $d$ 는 압전변수,  $V$ 는 인가전압이다. 이러한 소자를 전기적으로 병렬로 하여  $n$ 층 만큼 포갠다면 전체의 변위량  $\Delta l$ 은 각각의 소자 변위량  $\Delta t$ 의 합이 된다.

$$\Delta l \equiv n \cdot \Delta t \equiv n \cdot d \cdot V \tag{13}$$

압전 액츄에이터의 변위량을 크게하기 위해서는  $n$ ,  $d$ ,  $V$ 를 크게하면 된다. 그러나 실제로 압전 액츄에이터를 구동시키면 인가전압에 대해서 변위에 히스테리시스가 포함되어 있어 안정된 변위의 재생이 곤란하다.

압전 종효과에 의한 찌그러짐을 이용한 것이 적층형 압전 액츄에이터이다(그림 6(b)). 적층형은 얇은 압전 층과 전극층이 번갈아 적층된 것으로 각 압전층은 기

계적으로는 직렬, 전기적으로는 병렬로 구동된다. 본 연구에서는 적층형 압전 액츄에이터를 사용하고 0~150 [V]의 인가전압에 대해서 0~10 [ $\mu$ m]의 변위를 퍼스날 컴퓨터로 제어했다. 하지만 압전 액츄에이터의 히스테리시스에 대한 보정은 행하지 않았다.

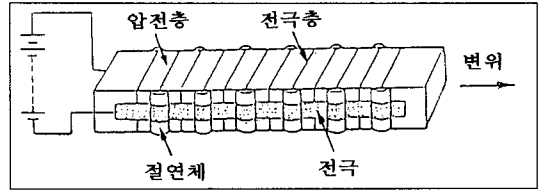


그림 6. (b) 적층형 압전 액츄에이터  
Fig. 6. (b) Pile type piezo-electric actuator.



그림 7. 시스템의 전경  
Fig. 7. Picture of the system.

그림 7에 시스템의 전경을 나타낸다. 여기에서 중앙의 조정용 광학 현미경 스테이지 위에 놓여 있는 것이 X-Y-Z의 구동계 및 검출기 이고 광학 현미경은 에어 서스펜션(air suspension)식 방진대 위에 놓여 있다. 그 좌측이 구동계 드라이버(driver) 회로이고 그 우측이 파형 관측용 오실로스코프 및 광학 현미경 스테이지 위치 엔코더(encoder)의 출력표시기이다.

IV. 실험 및 화상화

앞장에서 설명한 SCdM을 사용해서 Z축 구동해서 X-Y 방향으로 주사해서 실험을 행했다. 또한 주사해서 얻어진 데이터를 화상화합과 동시에 검토도 행하였다.

1. Z축 구동

Z축의 높이 방향은 탐침구동방식과 X-Y 미동 스테이지방식 모두 퍼스날 컴퓨터로 D/A 변환기와 앰프를

통해서 코일계를 구동시켜 탐침의 높이를 조절한다.

시료표면을 주사하는 X, Y축을 고정해서 Z축만을 구동시켰을 때의 검출기 출력을 관찰함으로써 최적한 탐침의 높이와 검출기 출력의 재현성 등을 관찰 할 수가 있다. 최적한 탐침의 높이는 탐침이 표면으로부터 약간 떠있는 상태가 좋고, VHD 시스템에서는 디스크 원판이 고속으로 회전하고 있기 때문에 항상 이 상태를 유지할 수가 있다.

X-Y축의 D/A 변환기 출력을 0 [V]로 고정했을 때, Z축의 D/A 변환기 출력에대한 검출기 출력을 그림 8에 나타낸다. Z축의 D/A 변환기 출력을 0 [V]로부터 증가시키면 탐침은 시료표면에 접근해 간다. 여기에서 Z축의 D/A 변환기 출력이 2 [V]가 될 때까지는 탐침과 시료가 너무 떨어져 있기 때문에 검출기 출력은 거의 일정하고 Z축의 D/A 변환기 출력이 4.5 [V] 이상에서는 탐침이 시료표면에 접촉하고 있기 때문에 검출기 출력이 일정하게 되고 있어 3 [V]에서 4.5 [V] 사이에 최적한 탐침의 높이가 있게 된다. 그림 8의 3 [V]에서 4.5 [V] 사이의 확대도를 그림 9에 나타낸다. 본 연구에서는 D/A 변환기의 출력이 4.05 [V]일 때에 탐침이 시료표면에 접촉한다고 가정해서 그 0.01 [V] 정도의 바로전의 값인

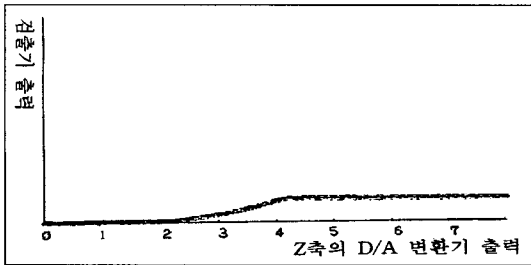


그림 8. Z축 구동에 의한 검출기 출력  
Fig. 8. Detector output of Z axis driving.

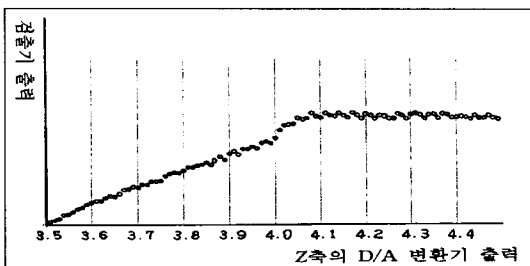


그림 9. 그림 8의 확대도  
Fig. 9. Enlargement graph of Fig. 8.

4.04 [V]를 최적한 탐침의 높이로 하고 있다. 최적한 탐침의 높이는 시료마다 변하기 때문에 각 시료에 대해서 이와같은 조작을 행하여 탐침의 높이를 결정해야 한다.

다음으로, Z축 구동을 4회 반복해서 그 검출기 출력을 나타낸 것이 그림 10이다. 여기에서 동일한 시료 부분에 있어서의 검출기 출력의 재현성을 확인할 수 있었다.

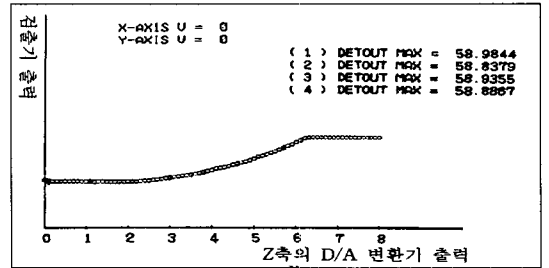


그림 10. 검출기 출력의 재현성  
Fig. 10. Repeatability of Detector output.

### 2. X-Y 주사법

본 연구에서 행한 주사법은 탐침구동 방식과 X-Y 미동 스테이지 방식 모두 동일한 순서로 행한다(그림 11). 위의 1절에서 얻어진 탐침의 높이를 가정해서 X-Y 주사를 행한다. 여기에서 시료표면의 요철로 인한 표용용량 변화에 따른 아티팩트 등을 고려하여 X-Y 주사시에 각 점에 있어서 Z축을 구동해서 탐침을 하강시키고 검출한 후에는 탐침을 상승시킨다. 100×100점에 대해서 검출한 후 데이터를 보존해서 화상화를 행한다.

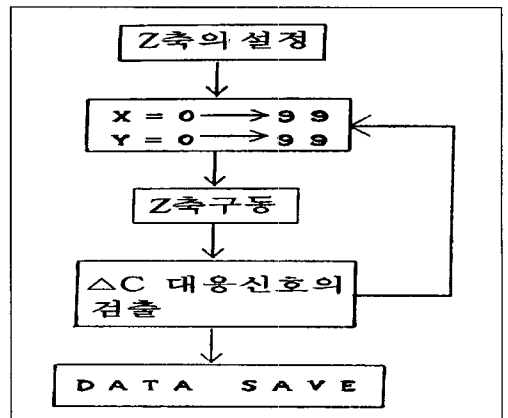


그림 11. SCdM의 주사 알고리즘  
Fig. 11. Scanning algorithm of SCdM.

탐침구동 방식에 의한 주사영역은  $10\mu\text{m}\times 10\mu\text{m}$ 으로  $100\times 100$ 점에서 데이터의 검출을 행했다.

시료는 IC 칩과 VHD 디스크판을 사용했으며 용량 탐침은 선단의 크기가 대략  $0.2\mu\text{m}\times 0.2\mu\text{m}$ 인 미연파 VHD 탐침을 사용했다.

3. 화상화 및 검토

탐침 구동방식의 SCdM을 사용해서 검출한 신호를 A/D 변환해서 조감도 표시한 것을 그림 12에 나타낸다(시료;VHD 디스크판).

그 재현성을 관찰하기 위해 시료의 동일한 부분을 연속적으로 주사해서 얻어진 조감도가 그림 13 이다. 또한 데이터를 256 계조로 변환해서 화상처리 장치를 사용해서 농담 표시한 것이 그림 14 이다. 광학 현미경과의 대응관계를 알아보기 위해 그림 15에 광학 현미경 상을 나타낸다. 여기에서 중앙 좌측으로부터 우측으로 홈이 있어 그림 14의 홈과 일치하고 있음을 알 수 있다. 그러나 그림 13에서는 약간 홈의 위치가 벗어나 있다. 이것은 연속적으로 주사를 행했기 때문에 히스테리시스로 주사의 시점이 벗어나 있다고 사료 된다.

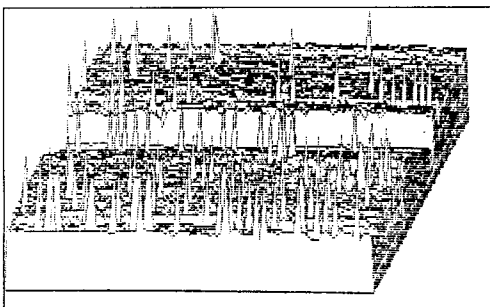


그림 12. VHD 디스크판 표면상  
Fig. 12. Surface images of VHD disk plate.

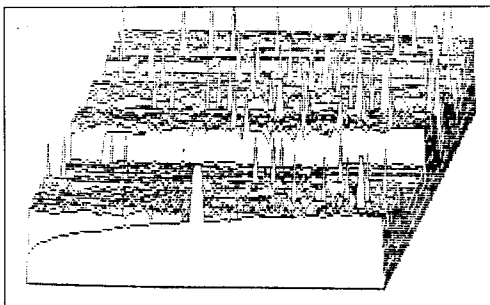
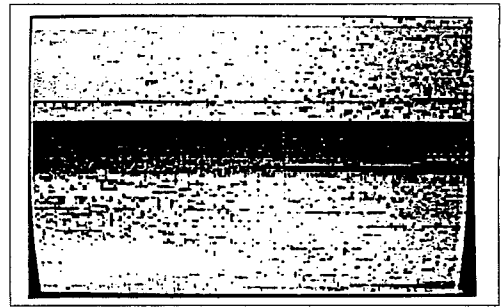
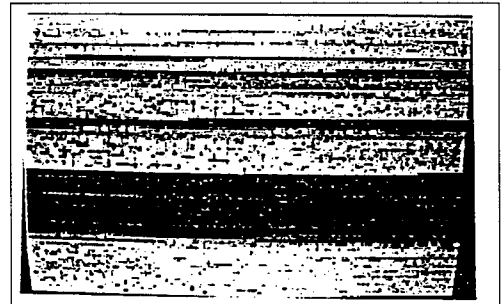


그림 13. 그림 12의 재현성  
Fig. 13. Repeatability of Fig. 12.



(a)



(b)

그림 14. 농담표시(VHD 디스크판) (a) 그림12의 농담표시 (b) 그림13의 농담표시

Fig. 14. Gray-level(VHD disk plate) (a) Gray-level of Fig. 12 (b) Gray-level of Fig. 13.

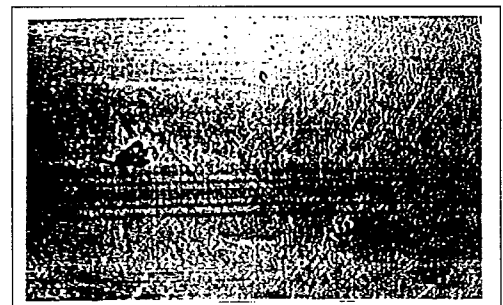


그림 15. 광학 현미경 상(VHD 디스크판)  
Fig. 15. Optical microscope(VHD disk plate).

다음으로, 시료를 IC 칩(그림 16)으로 하여 검출한 데이터를 조감도 표시한 것이 그림 17 이고 농담 표시한 것이 그림 18 이다. 여기에서, 그림 18(b)는 일부분의 농담이 높은 곳이 있기 때문에 요철이 선명치 않아도 재현성은 확인할 수 있었으나 광학 현미경과의 대응관계는 명확히 할 수 없었다. 하지만, 상기의 시료 대상으로서 VHD 디스크판과 IC 칩을 사용해서



광학현미경에 의한 시료의 이동량을 관찰함으로써 목적을 통한 선단직경  $0.1\mu\text{m}$  정도의 분해능을 얻게 되었다. 이때의 주사영역은  $10\mu\text{m}\times 10\mu\text{m}$ 으로, 이 사이가 100본의 주사선으로 구성되고, 각 주사선은 100개의 화소로부터 구성된다. 주사속도는 약 0.2(초/주사선)이며, 구동신호는 D/A 변환기의 스텝상의 출력을 1차 뒤집계를 경유한 것을 사용했다. 현 상태에 있어서 구동계의 비선형성과 히스테리시스 보정은 행하고 있지 않다.

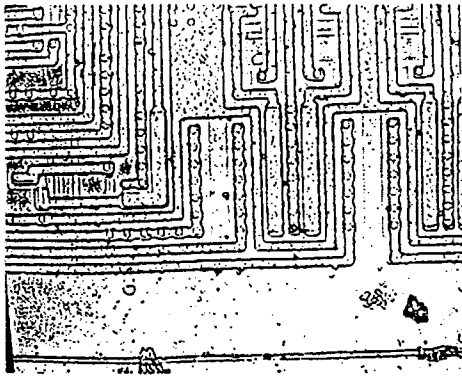
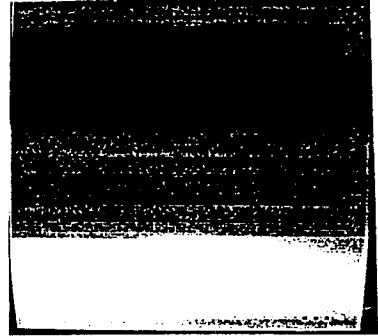
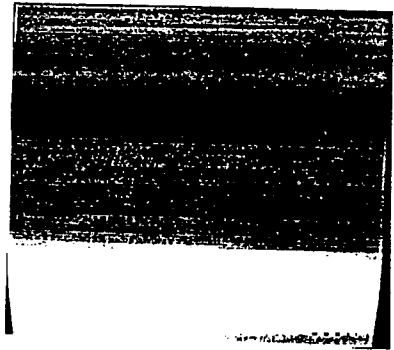


그림 16. 광학 현미경 상(IC 칩)  
Fig. 16. Optical microscope(IC chip).

로 표시한 것을 그림 19에 또한 농담 표시한 것을 그림 20에 나타낸다.

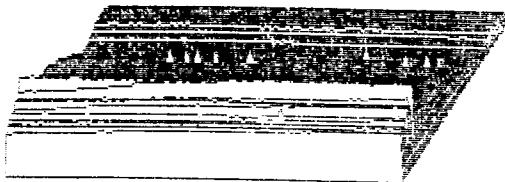


(a)

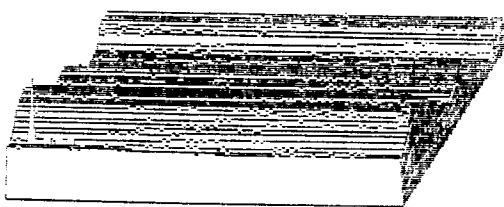


(b)

그림 18. 농담표시(IC 칩) (a) 그림 17(a)의 농담표시 (b) 그림 17(b)의 농담표시  
Fig. 18. Gray-level(IC chip) (a) Gray-level of Fig. 17(a) (b) Gray-level of Fig. 17(b).



(a)



(b)

그림 17. IC 표면상 (a) IC 표면상 (b) 그림 17(a)의 재현성  
Fig. 17. IC surface images (a) IC surface images. (b) Repeatability of Fig. 17(a)

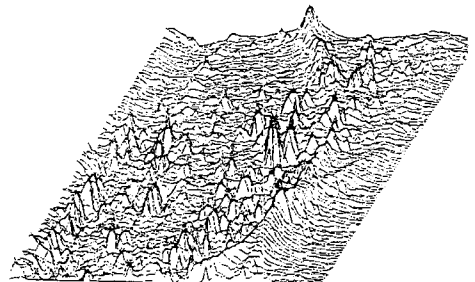


그림 19. VHD 디스크판 표면상  
Fig. 19. surface images of VHD disk plate

주사계를 X-Y 미동 스테이지로 VHD 디스크 면을 주사해서 얻어진 비디오 신호를 A/D 변환해서 조감도

각 최초의 주사선상의 영상신호는 정상상태에 도달하고 있지 않기 때문에 과도적인 신호이며, 그외의 것과는 다르게 되고 있다. 우측의 산맥형상은 디스크 판면의 상처라고 판단되나 확인할 수는 없었다. 좌측의

돌기물은 디스크판의 피트(pit)라고 사료되지만 앰프의 지역특성과 탐침높이 조정의 불충분함에 의한 것인가 혹은 탐침선단 형상의 불완전함에 의한 것인가 등 그림에서는 충분히 묘사되고 있지 않다. 재현성을 확인하기 위해 동일부분을 동일한 조건으로 검출한 화상을 나타낸 것이 그림 21 이다.

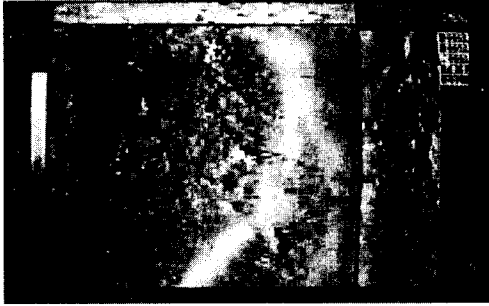


그림 20. 그림 19의 농담표시  
Fig. 20. Gray-level of Fig. 19.



그림 21. 그림 20의 재현성  
Fig. 21. Repeatability of Fig. 20.

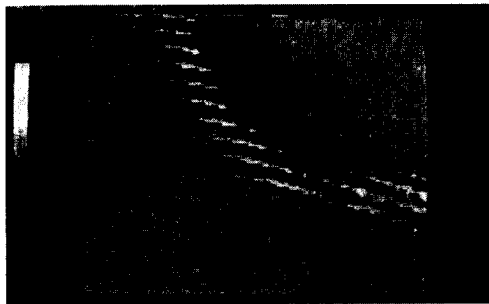


그림 22. 탐침의 접촉에 의한 화상  
Fig. 22. Images by contacting stylus.

그림 22에는 IC, 디스크 판을 주사해서 시료의 기울기와 표면회로 패턴에 의한 요철로 인해 탐침이 시료 표면에 부딪쳐서 생성된 화상을 나타낸다. 더욱이 탐침구동에 의한 방법은 초점거리가 먼 경우에도 있기 때문에 시료 대상물과 필요 분해능에 의한 탐침의 선

택이나 Z축의 제어가 필요하게 된다. 현시점에서 마이크로메타만의 수동조작에 의한 Z축의 조정은 10 $\mu$ m정도 이다. 또한 그림 23은 각 변이 수mm인 일정한 크기를 가진 금속입체 구조물의 시료를 놓았을 때 그것에 따른 스테이지 구동시의 표류용량 변화인 아티팩트(artifact)를 나타낸 것으로 용량탐침을 대상물로 부터 충분한 거리에 두고 주사한 것이다.

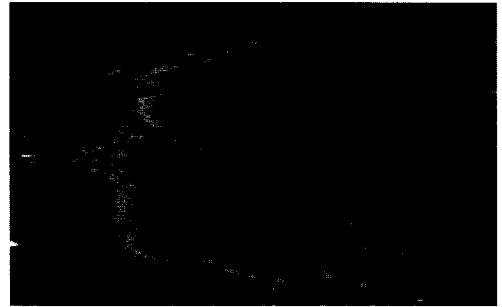


그림 23. 스테이지 구동방식의 아티팩트  
Fig. 23. Artifact of stage driving methods.

## V. 결 론

본 연구에서는 대상 물체 표면의 요철을 용량탐침을 사용해서 X-Y 주사함에 의해 탐침과 물체표면 간의 정전용량의 미소변화를 공간 해상력이 높은 정전용량 검출법(VHD 방식)을 사용해서 물체표면의 형상과 용량분포를 화상화 하는 SCdM을 제작·구현 하였다. 이 때 주사계로서 탐침을 고정해서 압전 액투에이터로 시료대를 구동시키는 미동 스테이지 방식과 시료대를 고정시키고 압전 액투에이터로 탐침을 구동시키는 탐침구동 방식을 사용했다. 그리고 탐침구동 방식을 사용해 VHD 디스크 판과 IC 칩의 시료를 주사해서 검출한 신호에 의한 표면 용량상을 얻었으며 흑백농담 처리하여 직접 촬영한 화상과도 비교를 행하였다. 또한 X-Y 미동 스테이지 방식에 의한 VHD 디스크 판의 시료표면을 주사해서 얻어진 표면화상과 이를 농담 처리한 화상을 나타냈으며 동일부분에 대한 재현성을 확인하기 위해 동일한 조건으로 검출한 화상도 나타냈다. 그외에 IC나 VHD 디스크 판 주사시에 탐침이 시료표면에 접촉되어 생겼다고 판단되는 화상 및 미동 스테이지 구동에 의한 표류용량 변화인 아티팩트를 나타냈다. 또한 이 SCdM은 0.2 $\mu$ m $\times$ 0.2 $\mu$ m의 VHD 탐침을 시료표면 주사에 사용해서 0.1 $\mu$ m의 분해능을 얻고 있으며 광학 현미경의 확대기능과 STM 탐침의

guide 기능을 겸비한 데시미크론 급의 현미경으로서 ULSI 패턴과 생물학적인 자료의 표면형상을 관찰하는데 적합할 것으로 사료된다. 하지만 탐침높이 설정에 있어서 검출기 출력상태로 부터 탐침높이를 추정하기 때문에 수직 분해능이 충분치 못하여,

첫째, Z축 구동법 검토에 의한 화상의 정밀화와 광학상과의 대응관계

둘째, 압전 액튜에이터의 히스테리시스 보정

셋째, 분해능의 향상을 통한 고밀도 기록에의 응용 등이 향후 해결해야 할 과제로 남아있다.

참 고 문 헌

[ 1 ] U.During, D.W.Pohl and F.Roher : "Near-field optical-scanning microscopy", Jour. Appl., phys., 59(10), pp. 3318~3327, May 1986.  
 [ 2 ] G.Binnig and F.Rohrer : "Scanning Tunneling Microscopy", IBM Journal of Research and Developments, Vol. 30, No. 4, p. 335, 1986.  
 [ 3 ] J.R.Matey and J.Blanc : "Scanning Capacitance Microscopy", Journal of Applied Physics, Vol. 57, No. 5, 1985.

[ 4 ] J.L.Garbini, L.J.Albrecht, J.E.Jorgensen and G.F.Maver : "Surface profilometry based on fringing capacitance measurement", Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Sept. 1985.  
 [ 5 ] Mikio Takai : "Formation of High Energy Microbeams and Their Application to Microelectronics", International Jour. of PIXE, Vol. 2, No. 2, pp. 107~128, 1992.  
 [ 6 ] 奥山雅則 : "強誘電體薄膜とセンサ", 電気學會論文誌(E), Vol. 116-E, No. 1, pp. 16~19, 1996.  
 [ 7 ] J.K.Clemens : "Capacitive pick up and the burried subcarrier encoding system for the RCA videodisc", RCA Review, Vol. 39, No. 1, pp. 33~41, March 1978.  
 [ 8 ] C.C.Williams et al : "Scanning Capacitance Microscopy on a 25nm scale", Appl. Phys., Lett., Vol. 55, p. 203, 1989.  
 [ 9 ] 金應珪他 : "微分容量方式走査型顯微鏡", 電子情報通信學會春季全國大會講演, SB-1-13(2), pp. 625~626, March 1993.  
 [ 10 ] 권영도, 김응규, 이주신 : "미분용량방식 주사형 현미경의 구현", 전기학회 하계학술대회 논문집, G권, pp. 2302~2304, 1997.  
 [ 11 ] 内野研二 : 壓電/電歪アクチュエータ, 森北出版社, 1986.

저 자 소 개



權寧島(正會員)  
 1947년 11월 27일생. 1970년 2월 한국항공대학교 항공통신공학과졸업(학사). 1982년 2월 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1990년 3월 ~ 현재 청주대학교대학원 박사과정수료 1979년 3월 ~ 현재 대전산업대학교 정보통신공학과 교수. 관심분야는 영상처리, 초고주파 회로 및 시스템 등

李周信(正會員) 第33卷B編第5號參照  
 1979년 9월 ~ 현재 청주대학교 이공대학 전자공학과 교수