

## 네트워크 상에서의 물리실험

남유리\* · 김재성

숙명여자대학교 물리학과  
(논문접수일 : 2004년 6월 28일)

### Laboratory on network

Yuri Nam†, J. -S. Kim

Department of Physics, Sook-Myung Women's University  
(Received June 28, 2004)

#### 요 약

컴퓨터를 이용한 자동화는 반복적인 실험의 제어에 편리하고, 높은 정밀도를 요구하는 계측 및 제어를 수행할 수 있다는 장점들로 인해 그 적용 범위가 점점 확대되고 있다. sputtering과 annealing은 깨끗한 고체 표면을 얻기 위해 일상적으로 수행되는 작업으로서 컴퓨터를 이용한 자동제어가 유용하게 응용될 수 있는 과정이다. 본 연구에서는 sputtering과 annealing 전 과정을 자동화하고 web 상에서 제어가 가능하도록 하여 무인 실험실 구축의 가능성을 확인하였다.

주제어 : sputtering, annealing, 자동화, network, 무인 실험실

#### Abstract

Computer control of experiments is very powerful because computer can outperform human being for most routine and repeated procedures. We successfully made the whole process of sputtering and annealing fully automated and controllable through network. The present work shows a possibility of building unmanned laboratory.

Key Words : sputtering, annealing, automation, unmanned laboratory

#### 1. 서 론

최근 반복 실행되고 보다 정밀한 측정을 해야 하는 실험의 많은 부분을 자동화 제어 프로그램을 통해 컴퓨터가 담당하고 있다. 그 결과 많은 실험 장비들이 컴퓨터와 통신을 할 수 있는 GPIB, RS-232C, LAN 등의 remote control 기능을 제공하고 있다. remote control을 이용하여 제어할 수 있는 기능들은 on-off와 같은 단순제어에서부터 정밀한 측정,

제어순간의 정확한 포착, feedback control 등과 같은 다양한 지능적 제어로 더욱 확대되는 추세이다. 또한 자동 제어 system은 원하는 일련의 작업을 컴퓨터의 논리적 판단에 의해 순차적으로 실행할 수 있고, 인터넷의 발달로 네트워크 상에서도 모니터링 및 제어가 이루어질 수 있으므로 개별 기기의 자동 제어를 넘어 실험의 전 과정이 장소와 시간의 제약 없이 자동으로 수행 될 수 있는 무인 실험실의 구현 가능성을 보여준다. 이와 같은 무인 실험실은 실험

† E-mail : yuriya@sookmyung.ac.kr

자가 실험에 투자하여야 하는 시간을 상당부분 줄일 수 있게 하고 실험 시간의 유연성을 부여하여, 실험 인력이 충분하지 못한 경우, 실험시간 사용의 효율성을 높이기 위해 새벽 시간을 활용하고자 하는 경우 등에 유용하게 응용 될 수 있을 것이다.

고체 표면 연구의 경우 잘 정의된 표면을 준비하기 위해 sputtering과 annealing은 널리 실행되는 과정이다. 하지만 sputtering과 annealing은 대부분 길게는 몇 시간까지 이루어지는 반복적 과정이다. 따라서 sputtering 과정과 annealing 과정의 네트워크 상에서의 자동제어는 실험의 효율을 높이면서 보다 정확하게 해당 과정을 수행하는데 큰 도움이 될 것이다. 본 논문은 sputtering과 annealing과 같은 반복 작업 pattern을 분석하고 LabVIEW와 Visual Basic을 이용하여 네트워크 상에서 자동 제어실험을 수행하여 무인 실험실을 성공적으로 구현한 결과의 보고이다.

## II. 실험방법

### 2.1. sputtering, annealing 작업의 분석 및 programming

sputtering과 annealing은 정해진 선·후 관계에 따라 반복 수행 된다. 따라서 전체과정의 통합적 수행에 있어서 가장 중요한 것은 각 작업이 후속 작업에 아무런 영향을 미치지 않고 독립적으로 수행되어야 한다는 것이다. 이를 위하여 각 과정의 세부 사항들을 컴퓨터로 제어 가능하게 정확히 규정할 필요가 있다. 즉, 이전과정이 정상적으로 이루어졌는지, 다음 과정으로 넘어갈 준비가 되었는지 프로그램 내에서 자체적으로 조사하도록 하는 것이 필수적이다.

sputtering 과정은 그림 1의 flow chart와 같은 순

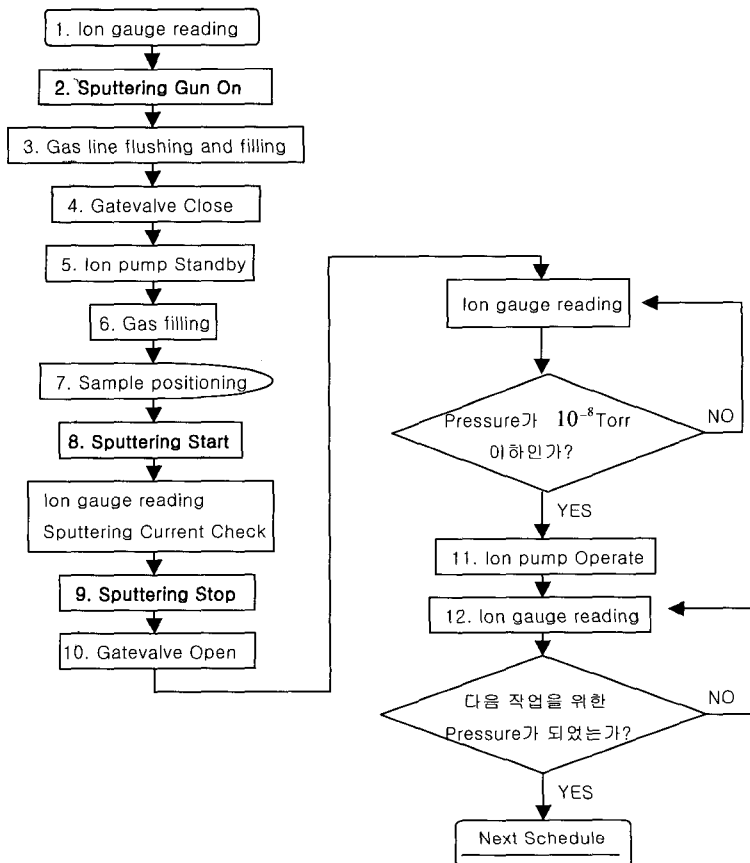


그림 1. sputtering 작업의 Flow Chart

서로 실행된다. 1) ion gauge의 controller를 통해 chamber의 압력을 점검하고 2) sputtering을 하는 ion gun을 미리 켜서 sputtering을 준비한다. chamber에 sputtering 가스를 주입하기 위해 3) gas line flushing 과 gas filling 과정을 거치고 chamber에 가스를 넣기 위해 chamber에 4) gatevalve를 close하고 5) 가동 중이던 ion pump를 중지한다. flow controller를 제어하여 6) chamber에 가스를 주입한다. ion gun과 sample의 position을 맞추기 위해 7) sample positioning 과정을 마친 후부터 8) sputtering을 시작하게 된다.

지정된 시간만큼 sputtering이 끝난 후에 9) sputtering을 중지 한다. sputtering을 마치면 chamber에 있는 가스를 제거하기 위해 10) gatevalve를 열고 11) ion pump를 작동시킨 후에 12) ion gauge를 다시 읽어 chamber의 상태를 점검한다.

annealing의 과정은 그림 2에 나타나 있다. sputtering과 마찬가지로 우선 1) ion gauge를 읽어서 chamber의 상태를 파악한 다음 chamber의 압력에 따라 2) gatevalve를 열고 3) ion pump를 작동한 상태에서 4) annealing 온도까지 전류를 올리는 pre-

annealing 단계를 거치고 온도가 다 올라갔으면 5) annealing을 시작하게 된다. 지정한 시간이 흐르면 6) annealing을 마치게 된다.

이 모든 과정에서 가장 중요한 점은 다음 작업을 위한 실험 조건들이 충족되었는지 체크하는 것이다. 이는 앞서 말한바와 같이 두 작업의 선·후 관계가 서로에게 미치는 영향이 없도록 실험 조건을 제공하기 위함이다.

## 2.2. Programming<sup>1), 2)</sup>

sputtering과 annealing 자동 제어 프로그램은 위 그림 1과 2에 나타난 각 과정별로 독립적으로 수행될 수 있는(그림 3) 모듈화 된 프로그램이 순서에 따라 결합된 형태로 짜여져 있다.

자동제어 프로그램의 진행 순서는 크게 네 가지로 나눌 수 있는데 첫 번째 단계는 사용자가 원하는 실험 조건들을 입력하는 단계이다. 사용자가 원하는 sputtering 압력이나 기간, annealing 온도, 기간 등을 프로그램 상에서 정리하여 각 해당하는 모듈

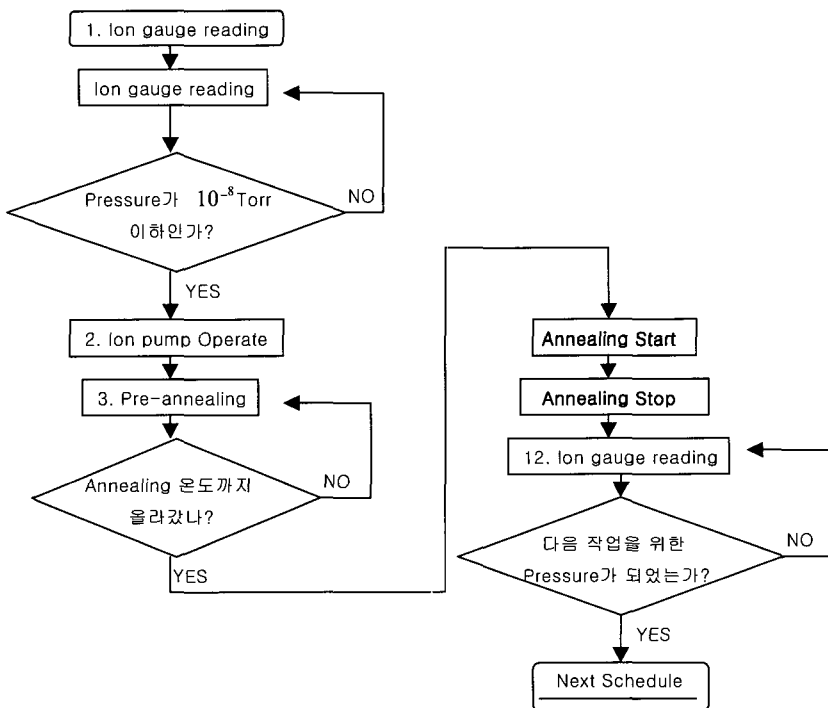


그림 2. annealing Flow Chart

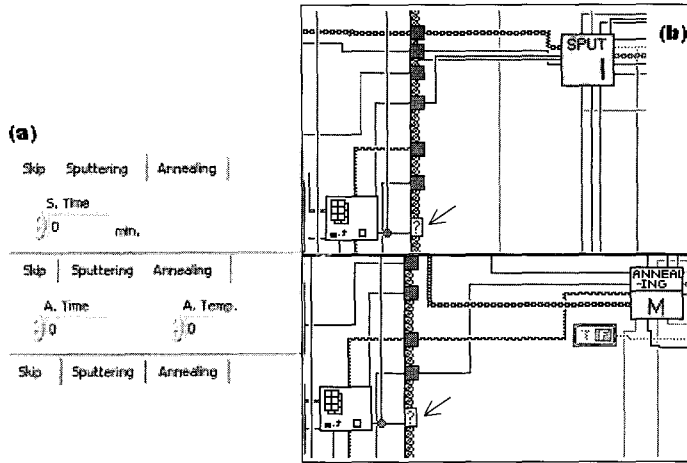


그림 3. (a) sputtering, annealing control program의 front panel. tab에서 sputtering, annealing, skip중 어떤 것을 선택하는지에 따라 그림 (b)에서 화살표로 표시된 부분의 ?에 들어가는 값이 바뀌게 된다. 즉, 이 값에 따라 sputtering, annealing, skip중 한 과정이 실행된다.

에 전해주는 과정이다. 두 번째 단계는 ion gauge를 읽고 프로그램에서 기기 제어를 위해 data acquisition board(DA board)에서 사용할 제어 port를 설정하는 과정이다. 제어 프로그램을 통해 controller들에 원하는 신호를 전달하기 위해서는 컴퓨터에 설치된 DA board의 여러 port 중 지정된 port를 통해 제어 신호를 주고받게 된다. 또한 이 단계에서 chamber 압력을 관측하고 기준 압력과 비교하여 본격적인 sputtering이나 annealing 과정으로 넘어가도 좋은지 결정하는 과정도 수행된다. 세 번째 단계는 sputtering이나 annealing을 수행하는 과정이다. 그림 3(a)를 보면 사용자는 프로그램에서 "sputtering", "annealing", "skip" (sputtering 또는 annealing을 생략하고 다음 단계로 넘어감.) 중 원하는 tab을 선택하고 원하는 실험 변수를 입력하게 된다. 입력이 끝나면 그림 1, 2의 과정에 따라 모듈화 된 프로그램들이 그림 3(b)에 나타난 것처럼 해당 순서에 따라 동작하여 sputtering과 annealing을 마치게 된다. 마지막 네 번째 단계는 정리와 다음 실험에 대한 준비 단계로 지금까지 수행된 모든 과정에서 중요한 실험 변수들을 정리하여 로그파일 형태로 남기고, 현재 chamber의 압력이 다음 실험이 가능한 수준으로 떨어질 때 까지 계속 chamber 압력을 체크한다.

본 실험에 사용한 기기들과 각 기기의 자동 제어 제어 작업은 논문 마지막의 appendix를 참고 바란다. source program은 <http://sookmyung.ac.kr/~physics/link/SputtAnnealCtl.zip>에서 자유롭게 다운 받을 수 있다.

### III. 결과 및 고찰

#### 3.1. Sputtering

sputtering은 그림 1의 flow chart를 따라 순차적으로 진행된 후 그림 4와 같은 log 파일을 남긴다.

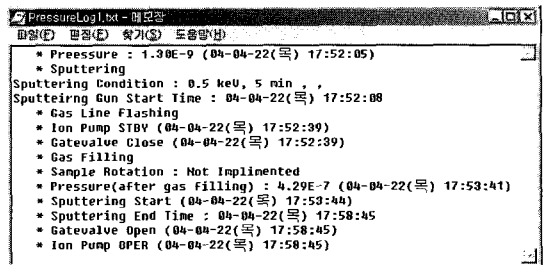


그림 4. sputtering의 결과를 기록한 text 파일. 압력과 과정마다 시작시간, 마치는 시간이 기록된다.

이 text 파일에는 시작 압력, sputtering 조건을 비롯해서 각 단계마다 시작 시간과 마치는 시간이 기록되어 있다.

그림 5는 sputtering 프로그램의 front panel이다. DA board와 기기간의 통신을 위한 port 설정 부분과 sputtering을 조건을 설정하는 부분과 log file에 저장될 sputtering의 결과를 표시하는 부분 (화살표로 표시한 부분)으로 이루어져 있다. log file에는 시작 압력, sputtering 압력, 현재 진행 중인 과정 등이 기록된다.

sputtering 실험이 정확한 조건에서 이루어지는지를 예시하기 위해 그림 5의 sputtering 프로그램에 모듈 형태로 들어가는 ion gauge reading control과 leak valve control 프로그램을 테스트 해 보았다. 먼저, ion gauge reading control이 정확한지 확인하기 위해 chamber baking 후의 압력변화를 측정하였다. 30분마다 ion gauge control 프로그램을 통해 읽은 압력을 text file로 기록해서 그림 6(b)의 그래프로 표시한 것이다. 그림 6(b)를 보면 baking 중에는 chamber의 압력이 완만하게 떨어지다가 baking이 중지된 후에는 급격하게 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 baking시에 일어나는 정상적인 압력의 변화로 ion gauge로부터 읽은 압력의 변화가 정확하다는 것을 보여준다.

leak valve control의 결과는 그림 7(b)에서 보여주

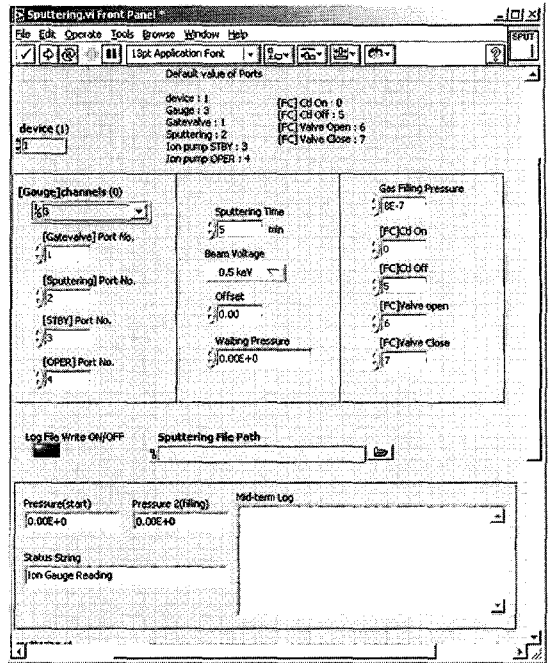


그림 5. sputtering 프로그램의 front panel. DA board에서 사용되는 port값들을 설정하고 sputtering time, gas filling pressure값을 설정하면 설정한 압력에서 sputtering time 만큼 sputtering 이 수행된다.

고 있다. 사용자가 sputtering을 위해 원하는 압력을 설정하면 leak valve control 프로그램에서 leak valve

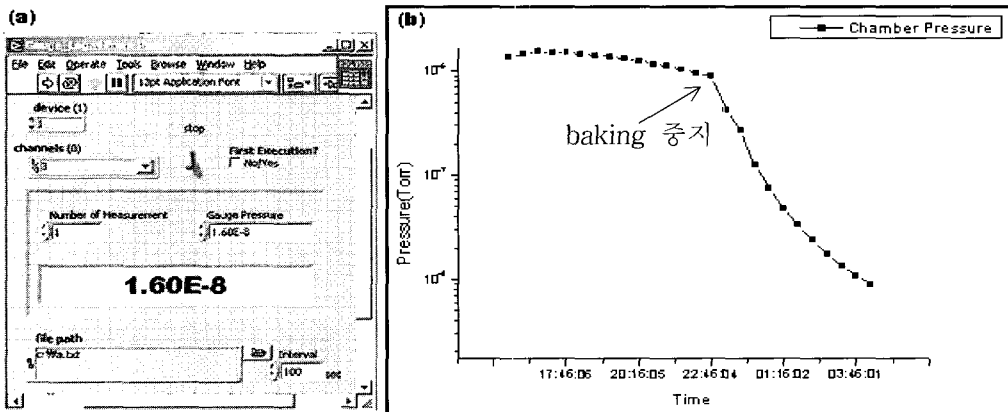


그림 6. (a) ion gauge reading 프로그램 실행 화면. interval(우측 아래)로 지정된 시간에 한번씩 ion gauge controller로부터 압력을 읽어서 log file 형태로 저장한다.

(b) ion gauge 읽기 결과. 일정한 시간간격에 따라 chamber의 압력을 측정 한 값을 보여주고 있다. baking이 중지된 22시 46분 이후에는 압력이 급격하게 감소한다.

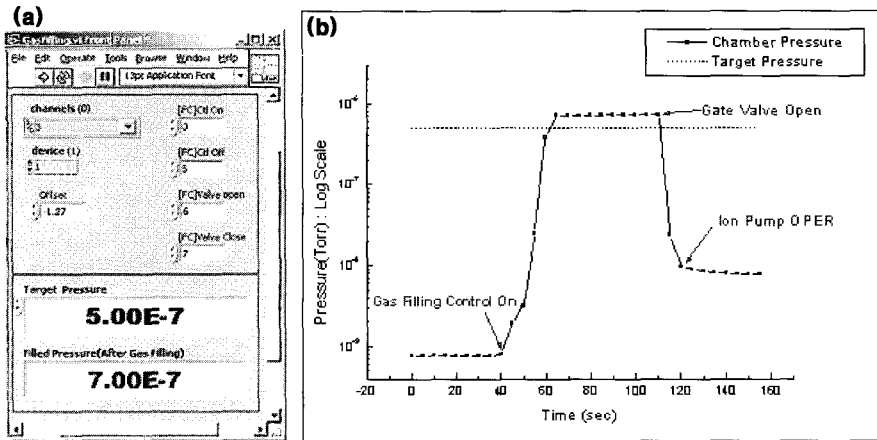


그림 7. (a) leak valve control 프로그램. 원하는 target pressure값을 설정한 후 프로그램을 실행한다. filled pressure값은 gas가 채워진 후의 chamber의 압력. (b) leak valve control 상태의 압력 변화. gas filling control이 시작되면 leak valve가 열려서 gas가 chamber내로 들어가므로 압력이 높아지다가 설정한 target pressure값 근처에서 leak valve의 feedback controller에 의해 압력이 안정된다. target pressure값과 실제 채워진 filled pressure값의 차이는  $2.0 \times 10^{-7}$  Torr.

를 제어하여 원하는 압력까지 가스를 넣게 된다. 그림 7(b)를 보면  $\sim 10^{-9}$  Torr의 상태에서 gas filling control 프로그램을 시작하면 압력이 급격하게 올라가기 시작하고 target pressure값 근처가 되면 leak valve를 닫아서 원하는 sputtering 압력(target pressure값)만큼의 가스가 주입되도록 조절하게 된다. sputtering 이후에 gatevalve를 열게 되면 turbo pump에 의해 chamber의 압력이 낮아지고 ion pump를 가동하면 압력이 더 낮아지게 된다. 실제 data를 보면 원하는 압력과 실제 채워진 gas의 압력이 정확하게 일치하지는 않는 것으로 나타나는데 이는 ion gauge controller가 chamber내의 ion gauge로부터 압력을 읽는 경우 컴퓨터의 압력 feedback control 기능에 제한이 주어져 최종 압력에 약간의 오차가 발생하기 때문이다. 실제 실험에서 발생한 오차는  $2.0 \times 10^{-7}$  Torr 정도로 나타났다.

### 3.2. Annealing

annealing 과정도 sputtering과 마찬가지로 그림 2의 flow chart에 따라 각 과정을 수행하는 모듈을 순차적으로 수행하여 이루어지게 된다. sputtering과

마찬가지로 text 형태로 log file을 남기게 된다. 그림 8은 annealing program으로 sputtering 프로그램과 같이 port를 설정한 후 원하는 annealing 온도를 입

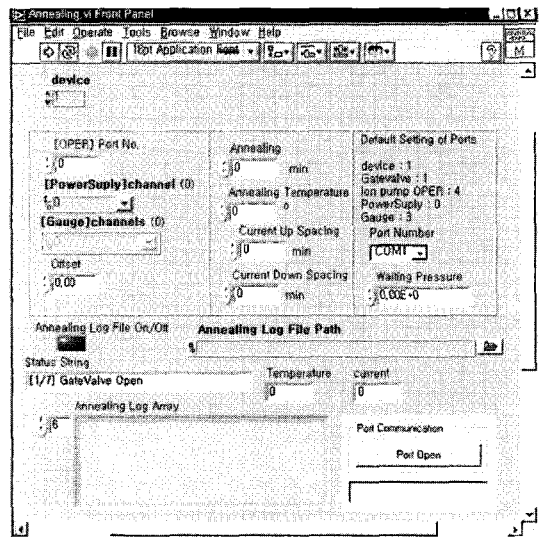


그림 8. annealing program. annealing 시간과 온도를 설정하고 current를 0.1 A 올리는 시간간격과 annealing 후에 current를 내리는 시간을 설정한 후 실행하면 annealing이 수행된다.

력하면 annealing이 수행된다.

그림 9(a)와 9(b)는 annealing 결과를 기록한 text 파일을 그래프로 나타낸 것이다. text 파일에는 시료 온도와 가해진 전류의 정보가 시간과 함께 저장된다. 그림 9(a)는 annealing을 시작하기 전 annealing 온도까지 전류를 제어하는 pre-annealing 과정으로서 사용자가 지정한 시간인 3분마다 온도를 측정하여 annealing 온도인 600°C가 되었는지 검사하게 된다. 만약 600°C보다 낮다면 전류를 0.1 A 올리게 되고 580~600°C의 온도가 되면 feedback control 하에서 annealing을 시작하게 된다. 정확히 600°C가 아닌 580~600°C의 범위를 설정하는 이유는 시료의 온도는 current 공급을 중단한다고 해도 당분간은 온도가 올라가기 때문이다. 따라서 일정한 범위에 들어온 이후에는 annealing의 feedback control 과정으로 넘어가도록 하여 annealing 온도를 보다 정확하게 유지할 수 있도록 하였다. 그림 9(b)는 annealing 과정의 전류 변화와 온도 변화를 나타낸 그래프이다. 온도는  $\Delta T=8^\circ\text{C}$ 만큼 oscillation 하면서 전체적으로 600°C를 유지하게 된다.

### 3.3 네트워크를 통한 기기 제어

네트워크를 통한 제어는 두 가지 방법으로 할 수

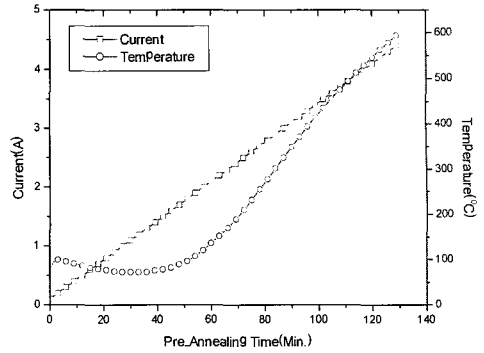


그림 9. (a) 실제 annealing이 시작되기 전 annealing 온도까지 전류를 올려 annealing 온도를 맞춰주는 pre-annealing 과정. 사용자가 지정한 시간인 3분마다 한번씩 온도를 측정하여 annealing 온도인 600 °C까지 전류를 0.1 A씩 증가시키게 된다.

있다. 첫 번째 방법은 LabVIEW 프로그램 자체의 기능을 이용한 네트워크 제어로 LabVIEW의 web publishing tool을 이용하는 것이다<sup>3)</sup>. web publishing tool을 이용하면 제어 프로그램이 있는 컴퓨터가 서버의 기능을 하게 되어 사용자는 서버 컴퓨터의 ip 주소만 알면 internet explorer와 같은 web browser를 통해 접속 할 수 있다(그림 10). 이러한 제어 방법은 web browser와 LabVIEW가 실행될 수 있는 run

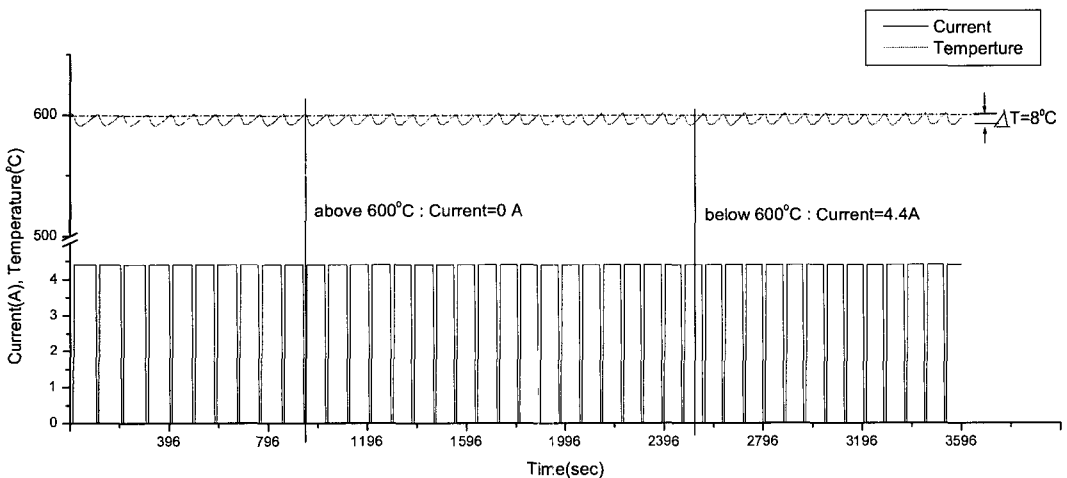


그림 9. (b) annealing 과정 중 온도에 따른 전류 변화. annealing 조건 : 600 °C에서 60분. 아래의 그래프는 전류이고 위의 그래프는 온도변화이다. 4초에 한 번씩 온도를 측정하여 annealing 온도보다 낮을 경우에는 전류를 공급하여 600도를 유지하고 annealing 온도보다 높을 경우에는 전류의 공급을 중단하여 600 °C를 유지한다.

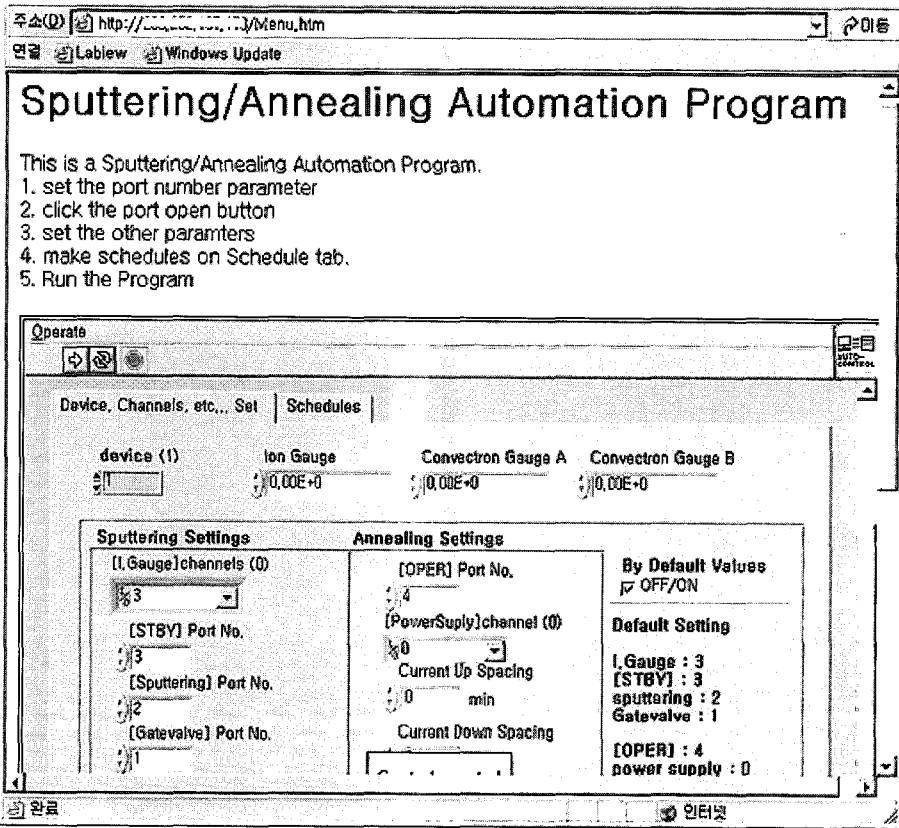


그림 10. LabVIEW의 web publishing tool을 이용한 제어. web browser와 ip 주소로 자동 제어 프로그램을 사용할 수 있다.

time engine만 설치하면 손쉽게 할 수 있는 장점이 있다. 하지만 본 프로그램에서 annealing 시의 온도를 측정하기 위해 사용한 multimeter의 경우와 같이 LabVIEW가 아닌 프로그램으로 작성된 외부 library 파일을 사용하는 경우 해당 파일을 프로그램 내에서 load 하지 못하는 상황이 발생한다. 따라서 이 방법은 LabVIEW만으로 작성된 프로그램을 실행하는 경우 - ion gauge reading, ion pump 제어, leak valve controller 제어, sputtering제어 등 - 에는 문제가 없지만 외부 library 파일을 사용해야 하는 프로그램 - 온도 읽기를 이용한 제어 - 에는 효과적이지 못한 방법이다.

두 번째 방법은 Virtual Network Computing(VNC) software를 이용하는 방법이다. VNC software는 원격지에 있는 컴퓨터의 화면을 내 컴퓨터에서 볼 수 있도록 하는 프로그램으로 내 컴퓨터에서도 원격

지의 컴퓨터로의 입력이나 출력이 모두 가능하다. 그림 11은 Timbuktu<sup>4)</sup>라는 VNC software를 이용하여 제어 프로그램이 있는 컴퓨터에 접속한 화면이다. 왼쪽 상단에 컴퓨터 이름과 함께 작은 창이 뜨는데 이것이 외부에서 YURI\_LAB이라는 컴퓨터에 접속했다는 표시이다.

VNC 프로그램에서의 실행은 VNC 프로그램이 있는 컴퓨터에서 이루어지는 것이 아니라 원격지의 컴퓨터에서 이루어지는 것이므로 LabVIEW 자체의 web publishing tool을 사용한 네트워크 제어의 문제인 외부 library load의 문제도 없어진다. (VNC 프로그램의 경우 원격지의 컴퓨터에서 프로그램이 실행되고 LabVIEW의 web publishing tool의 경우 현재 쓰고 있는 컴퓨터에서 프로그램이 실행된다). 또한, 설치와 설정을 한번 해 놓는다면 편하게 사용할 수 있는 장점이 있다. 하지만 VNC software는 별도의



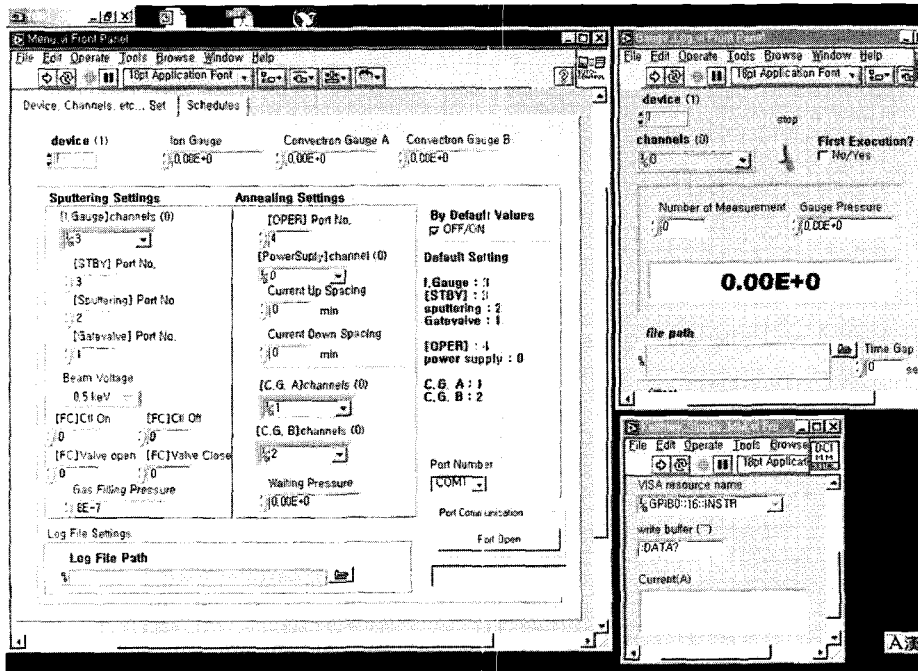


그림 11. Timbuktu(Netopia Inc. - <http://www.netopia.com>)를 이용한 네트워크 제어. 왼쪽 상단에 접속한 컴퓨터를 나타내는 창이 위치하고 있다. 원격지의 컴퓨터를 마치 내 컴퓨터처럼 사용할 수 있으므로 여러 가지 프로그램을 동시에 제어할 수 있다는 장점이 있다. 왼쪽은 sputtering, annealing main 프로그램, 오른쪽 상단은 chamber 압력 check 프로그램, 오른쪽 하단은 sputtering 전류 check 프로그램이다.

프로그램을 원격지의 컴퓨터와 내가 사용하는 컴퓨터에 모두 설치하여야 하고 외부의 접속을 허용하는 것이므로 보안에 대한 대비를 철저히 해야 한다는 단점이 있다. 그리고 원격지의 컴퓨터의 모니터에 출력되는 그래픽 정보를 인터넷을 통해 전송 받아야 하므로 인터넷 회선 속도가 느리다거나 컴퓨터의 사양이 낮은 경우 VNC 프로그램의 속도가 느려 실시간 제어가 수행되지 못할 가능성도 있다.

VNC software는 무료 프로그램인 Real VNC에서부터 상용 프로그램인 Timbuktu, PC AnyWhere 등 다양한 프로그램이 있다.

#### IV. 결 론

sputtering과 annealing의 무인 작업을 위해 실험에 사용되는 각 controller를 자동화하는 프로그램을 작성하고 테스트하여 신뢰성을 확인한 후 sputtering과

annealing의 순서에 따라 각 program 모듈을 배치하여 수행하였다. 특히 sputtering과 annealing 단계마다 정확한 조건검사를 통과한 후 다음 과정을 수행하도록 하여 computer control의 장점인 정확성과 정밀성을 높이도록 하였다. 가장 중요한 요소인 chamber 압력과 leak valve control, annealing 과정에서의 온도, filament 전류 변화의 결과를 보면 ion gauge reading 실험의 경우에는 오차가 거의 없고 leak valve controller의 경우  $20 \times 10^{-7}$  Torr, annealing의 경우 annealing 온도는 넘지 않는 범위 내에서  $8^\circ\text{C}$  정도의 무시할 만한 오차를 보여 목적인 실험 수행에 어려움이 없었다.

네트워크를 이용한 sputter-annealing 실험을 통해 제어 프로그램이 위치한 컴퓨터만이 아니라 인터넷으로 연결된 컴퓨터를 통해 실험의 원격 모니터링 및 제어 가능성을 확인하였다. 이러한 제어방법은 실험실이라는 공간의 제약 없이 컴퓨터를 통해 실험에

사용되는 controller를 조정할 수 있으므로 무인 실험실 운영에도 적합하다. 또한 sputtering과 annealing의 경우 사용자가 원하는 실험 조건만 입력해 주면 순서에 따라 프로그램이 자동으로 수행 되므로 시간의 제약 없이 실험할 수 있다는 장점도 있다.

앞으로는 컴퓨터를 이용한 제어의 장점을 살리고 실험에서 나타난 오차를 줄일 수 있는 방법을 모색하여 더욱 정확한 결과를 얻을 수 있도록 프로그램의 신뢰성 및 정밀도를 높이는 작업이 필요할 것이다. 또한 무인 실험을 위해 정전과 같은 갑작스런 error 상황의 발생에 대처 할 수 있는 안정성의 강화도 앞으로 해야 할 중요한 작업이다.

### V. Appendix. 실험장비 종류와 모델명

sputtering과 annealing과정에서 사용된 ion gauge는 Granville-Phillips series 307 vacuum gauge controller로 controller에서 제공되는 Analog Output단자와 컴퓨터 내의 DA board의 analog input을 연결하여 전압을 읽을 수 있다. 읽은 전압 값을 프로그램에서 압력 값으로 변환하여 사용한다.

sputtering을 위한 ion gun controller는 Perkin-Elmer 20-045이고 remote단자를 통해 gun을 on-off할 수 있는 기능이 있다. chamber와 turbo pump 사이의 gatevalve를 제어하기 위해서는 relay를 사용하는 별도의 회로가 필요하다. gatevalve에 전원 공급을 하는지 안 하는지에 따라 gatevalve가 open, close 되는데, 컴퓨터로 제어할 수 있는 relay를 사용하여 gatevalve에 전원 공급을 조절하는 방법으로 open과 close를 조절한다. relay는 ion pump controller에도 사용이 된다. ion pump controller는 Perkin-Elmer DIGITEL 500 ion pump system controller로 이 controller에서 제공하는 ion pump를 동작시키거나 중지시키는 기능을 가지고 있는 15pin connector와 relay를 사용하여 pump의 동작상태를 제어 할 수 있도록 하였다. sputtering의 target 전류를 측정하는 것은 Keithley의 Model 2000 multimeter로 컴퓨터의 GPIB board를 통한 통신을 사용한다. data를 전송하라는 명령어를 multimeter에 보내고 multimeter는 해당하는 data를 컴퓨터로 다시 전송하여 원하는 값을 얻을 수 있다. 마지막으로 sputtering을 하기 위한 가스를

chamber에 채우기 위해서 leak valve controller인 Granville-Phillips Serise 216 automatic pressure controller를 사용하였다. leak valve를 열고 닫는 과정은 ion gauge control 프로그램을 통해 측정된 압력을 계속적으로 모니터링 하면서 원하는 압력인지 검사하고 이 값을 기준으로 leak valve의 열림과 닫힘을 제어하게 된다.

annealing을 위해 sample의 온도를 올려주려면 sample에 current를 흘려주어야 한다. 이 과정에 사용되는 power supply는 KEPCO의 50-8M-4882 power supply로 programming input 단자를 통해 전압을 입력하면 해당하는 전류가 출력되는 형태로 제어한다. 이 때, gain은 0.8A/1V로 programming input 단자에 1V를 입력하는 경우 출력되는 전류는 0.8A이다. annealing의 조건인 온도측정은 Metex의 multimeter인 M-3640D를 사용하였다. 이 multimeter는 serial port를 통해 컴퓨터와 통신을 하며 이때 사용되는 통신 프로그램은 visual basic으로 프로그래밍한 ocx 파일로 LabVIEW 안에서 사용된다. 별도의 프로그램 형태로 사용되므로 전체 프로그램과는 별도로 ocx 프로그램 안에서 multimeter와 컴퓨터의 통신 통로인 serial port를 열어주는 과정이 필요하다.

표 2. 자동제어 프로그램에 사용된 controller와 모델명

controller	모델 명
ion gauge controller	Granville-Phillips Series 307 Vacuum gauge controller
ion pump controller	Perkin-Elmer DIGITEL 500 ion pump system controller
ion gun controller	Physical Electronics 20-045 ion gun controller
multimeter(sputtering current)	Keithley Model 2000 multimeter
leak valve controller	Granville-Phillips Series 216 Automatic Pressure controller
power supply	KEPCO 50-8M-4882 power supply
ultimeter(temperature reading)	Metex M-3640D

### 감사의 글

본 연구는 2003년도 교내특별연구비 지원에 의해 수행되었음.

### 참고 문헌

- [1] National Instrument, *LabVIEW manual*.
- [2] 곽두영, *LabVIEW : 컴퓨터 기반의 제어와 계측 solution*, OHM사 (2002).
- [3] 곽두영, *컴퓨터 기반의 제어와 계측 LabVIEW Express*, OHM사(2003). LabVIEW의 web publishing tool은 LabVIEW 6.1 version부터 사용가능한 기능이다.
- [4] Netopia Inc.에서 나온 상용 프로그램이다.  
Website : <http://www.netopia.com>