(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2008-0052252
(43) 공개일자 2008년06월11일

(51) Int. Cl.
G02B 21/00 (2006.01) *G01B 9/04* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2007-0061460
(22) 출원일자 2007년06월22일
심사청구일자 2007년06월22일
(30) 우선권주장
1020060122347 2006년12월05일 대한민국(KR)

(71) 출원인
한국전자통신연구원
대전 유성구 가정동 161번지
고려대학교 산학협력단
서울 성북구 안암동5가1 고려대학교 내
(72) 발명자
김은경
대전 유성구 신성동 대림아파트 105-703호
문승언
대전 유성구 관평동 한화파트 105-1701
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
신영무

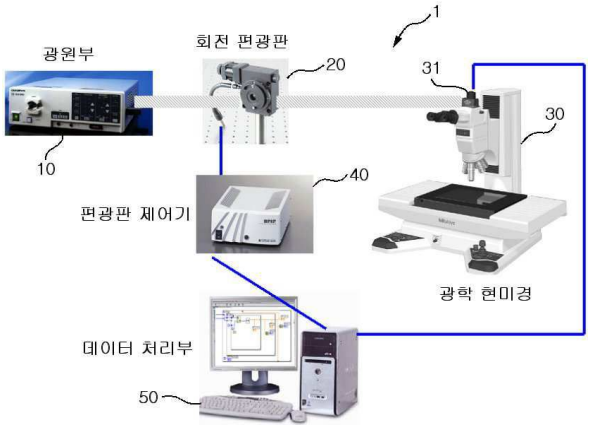
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 편광판과 고속 푸리에 변환을 이용한 나노선 감지용 광학현미경 시스템

(57) 요 약

본 발명은 나노선을 포함하는 전자 소자를 제작함에 있어, 기존의 광학 현미경 시스템을 이용할 수 있도록 회전 편광판과 고속푸리에변환을 사용하여 나노선 감지용 광학 현미경 시스템을 고안한 것에 관한 것이다. 본 광학 현미경 시스템은 광원을 생성하여 상기 생성된 광원을 나노선 소자용 시료에 제공하는 광원부; 상기 광원부에서 제공된 상기 광원의 경로 상에 마련되어 상기 광원을 편광시키는 회전 편광판; 상기 회전 편광판에서 편광되어 상기 나노선 소자용 시료에 입사된 광원을 이용하여 상기 나노선 영상을 검출하는 광학 현미경; 상기 광학 현미경의 일 영역에 마련되어 상기 광학 현미경에서 검출된 상기 나노선 영상을 촬영하여 저장하는 CCD 카메라; 및 상기 CCD 카메라를 통해 저장된 상기 나노선 영상을 고속 푸리에 변환 처리하는 데이터 처리부를 포함한다. 이에 따라, 나노선의 광학적 이방성으로 인하여 나노선에 입사하는 빛의 편광 방향에 따라 반사광의 세기가 변화한다. 일정한 주기로 회전하는 편광판을 통과한 광원을 나노선에 입사한 후 반사광 이미지를 일정 시간 간격으로 얻은 후 영상을 각 픽셀별로 고속푸리에변환 처리함으로 나노미터 선폭을 갖는 나노선의 영상을 뚜렷하게 얻을 수 있다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

이홍열

충북 청주시 상당구 용암동 2095번지 현대1차아파트 102동1201호

박종혁

대구 동구 신암동 766

박강호

대전 유성구 송강동 한마을아파트 110-206호

김종대

대전 서구 관저동 대자연마을아파트 108-2105

김규태

서울 성북구 안암동 고려대학교

장도영

서울 성북구 안암동 고려대학교

박웅석

서울 성북구 안암동 고려대학교

지현진

서울 성북구 안암동 고려대학교

특허청구의 범위

청구항 1

광원을 생성하여 상기 생성된 광원을 나노선 소자용 시료에 제공하는 광원 부;

상기 광원부에서 제공된 상기 광원의 경로 상에 마련되어 상기 광원을 편광시키는 회전 편광판;

상기 회전 편광판에서 편광되어 상기 나노선 소자용 시료에 입사된 광원을 이용하여 상기 나노선 영상을 검출하는 광학 현미경;

상기 광학 현미경의 일 영역에 마련되어 상기 광학 현미경에서 검출된 상기 나노선 영상을 촬영하여 저장하는 CCD 카메라; 및

상기 CCD 카메라를 통해 저장된 상기 나노선 영상을 고속 푸리에 변환 처리하는 데이터 처리부

를 포함하는 나노선 감지용 광학 현미경 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 회전 편광판에 전기적으로 연결되어 상기 회전 편광판을 회전시키는 편광판 제어기를 더 포함하는 나노선 감지용 광학 현미경 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 회전 편광판은 상기 나노선의 광학적 이방성을 이용하며, 상기 나노선 시료용 소자에 입사되는 광원의 편광 방향을 변조시키는 나노선 감지용 광학 현미경 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 편광판 제어기는 상기 회전 편광판을 0.1 ~ 1Hz의 주파수(f_0)로 회전하도록 제어하는 나노선 감지용 광학 현미경 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 회전 편광판의 회전에 의해 상기 나노선 소자용 시료에 입사되는 광원의 편광축이 $2f_0$ 로 변조되는 나노선 감지용 광학 현미경 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 광원부에서 제공된 광원이 상기 편광판 제어기에 의해 일정 주파수로 변화하여 상기 나노선 시료에서 입사되는 광원이 특정 주파수로 변조로 변조될 때, 상기 변조된 주파수 정보를 시간에 따라 픽셀 배열로 저장한 후 고속 푸리어 트랜스폼을 사용하여 상기 나노선의 영상 데이터를 처리하는 나노선 감지용 광학 현미경 시스템.

명 세 서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

<9> 본 발명은 나노선 감지용 광학 현미경 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 나노선 시료와 패턴의 얼라인을 용이하게 하기 위하여 기존의 광학 현미경 시스템을 이용하여 나노선을 감지하는 나노선 감지용 광학 현미경 시스템에 관한 것이다.

<10> 나노선을 이용한 전자 소자를 제작하는 공정에는 필수적으로 사진 제판 (photolithography) 공정이 필요하다. 특히, 전자 소자를 제작하기 위한 구조물을 패터닝하기 위해서는 기본적으로 사진 제판 공정 중, 시료와 패턴을 정렬(align)하기 위해 시료 영상을 획득하는 기술이 필요하다.

<11> 나노선 전자 소자 제작에 사용되는 나노선의 일반적인 직경은 수 나노미터 내지 수십 나노미터이고, 그 길이는 수십 나노미터 내지 수 마이크로미터 혹은 수십 마이크로미터이다. 직경이 수십 나노미터 이상이고 길이가 수 마이크로미터로 비교적 굵고 긴 나노선을 이용하여 전자 소자를 제작하는 경우에는, 시료의 영상을 일반 광학 현미경으로 획득할 수 있기 때문에, 기존의 반도체 공정 장비를 사용하여 시료와 패턴의 정렬 작업을 수행할 수 있다.

<12> 그러나 직경이 0 ~ 20나노미터(특히, 10 ㎚ 미만 또는 10 ~ 20 nm)인 얇은 나노선을 이용하여 전자 소자를 제작하는 경우에는, 기존의 광학 현미경을 사용하여 나노선의 영상을 획득하는 것이 용이하지 않다. 또한, 두께가 수 나노미터 정도인 단일 탄소 나노 튜브(single wall carbon nanotube)를 이용하여 전자 소자를 제작하는 경우에도 역시 광학 현미경을 사용하여 나노선의 영상을 획득하는 것이 용이하지 않다.

<13> 따라서 전술한 문제점들을 해결하기 위해, 직경이 가는 나노선 또는 탄소 나노 튜브를 이용하여 전자 소자를 제작하는 경우에는 얼라인 공정에 필요한 시료의 영상을 얻기 위하여 광학 현미경 대신 분해능이 우수하여 시료의 영상을 뚜렷하게 얻을 수 있는 원자현미경(AFM: atomic force microscope) 또는 전자현미경(SEM: scanning electron microscope)과 같은 고분해능 현미경이 사용되고 있다.

<14> 그러나 상기 고분해능 현미경을 사용하는 경우에는, 시료의 영상을 획득하는데 광학 현미경에 비해 상대적으로 많은 시간이 소요되고 공정 비용도 비싸기 때문에 상용화가 쉽지 않다. 특히, 대면적 나노선 소자를 제작하여 상용화하는 것이 용이하지 않다는 단점이 있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

<15> 본 발명은 전술한 문제점을 해결하기 위해 고안된 발명으로, 본 발명의 목적은 기존의 반도체 소자 제조 공정에 사용되는 광학 현미경을 그대로 이용하여 직경이 가는 나노선 또는 탄소 나노 튜브의 영상을 획득할 수 있는 나노선 감지용 광학 현미경 시스템을 제공하는 것이다.

<16> 또한, 본 발명의 목적은, 광학 현미경을 이용하여 나노선 시료와 패턴의 얼라인을 가능하게 함으로써, 제작 공정 시간을 단축하고 공정 비용을 절감할 수 있는 나노선 감지용 광학 현미경 시스템을 제공하는 것이다.

발명의 구성 및 작용

<17> 전술한 목적을 달성하기 위한, 본 발명의 일 측면에 따르면, 본 나노선 감지용 광학 현미경 시스템은 광원을 생성하여 상기 생성된 광원을 나노선 소자용 시료에 제공하는 광원부; 상기 광원부에서 제공된 상기 광원의 경로상에 마련되어 상기 광원을 편광시키는 회전 편광판; 상기 회전 편광판에서 편광되어 상기 나노선 소자용 시료에 입사된 광원을 이용하여 상기 나노선 영상을 검출하는 광학 현미경; 상기 광학 현미경의 일 영역에 마련되어 상기 광학 현미경에서 검출된 상기 나노선 영상을 촬영하여 저장하는 CCD 카메라; 및 상기 CCD 카메라를 통해 저장된 상기 나노선 영상을 고속 푸리에 변환 처리하는 데이터 처리부를 포함한다.

<18> 바람직하게, 상기 회전 편광판에 전기적으로 연결되어 상기 회전 편광판을 회전시키는 편광판 제어기를 더 포함한다. 상기 회전 편광판은 상기 나노선의 광학적 이방성을 이용하며, 상기 나노선 시료용 소자에 입사되는 광원의 편광 방향을 변조시킨다. 상기 편광판 제어기는 상기 회전 편광판을 0.1 ~ 1Hz의 주파수(f_0)로 회전하도록 제어한다. 상기 회전 편광판의 회전에 의해 상기 나노선 소자용 시료에 입사되는 광원의 편광축이 $2f_0$ 로 변조된다. 상기 광원부에서 제공된 광원이 상기 편광판 제어기에 의해 일정 주파수로 변화하여 상기 나노선 시료에서 입사되는 광원이 특정 주파수로 변조로 변조될 때, 상기 변조된 주파수 정보를 시간에 따라 픽셀 배열로 저장한 후 고속 푸리어 트랜스폼을 사용하여 상기 나노선의 영상 데이터를 처리한다.

<19> 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시 예를 구체적으로 설명하다.

<20> 도 1은 본 발명에 따른 나노선 감지용 광학 시스템의 모식도이다. 본 발명에 따른 나노선 감지용 광학 현미경

시스템(1)은 광원이 입사되는 광원부(10)와, 나노선 소자용 시료(미도시)에 도달되어 반사된 광원의 영상을 촬영하는 CCD(Charge Coupled Device) 카메라(31)를 포함하는 광학 현미경(30)과, 이들 사이에 마련된 회전 편광판(20)을 포함하며, 상기 광원부(10)로부터 입사된 광원에 의해 나노선 소자용 시료에 도달되어 CCD 카메라(31)를 통해 획득된 시료의 광학 영상(데이터)을 고속 푸리에 변환 처리하는 영상 처리 기술을 이용 한다.

<21> 도 1을 참조하여, 본 나노선 감지용 광학 현미경 시스템(1)을 보다 구체적으로 설명하면, 나노선 감지용 광학 현미경 시스템(1)은 광원을 입사하는 광원부(10; light source), 광원부(10)에서 입사된 광원을 특정한 방향으로 편광하는 회전 가능한 회전 편광판(20; rotational polarizer), 회전 편광판(20)에 전기적으로 연결되어 회전 편광판(20)의 회전을 제어하는 편광판 제어기(40; polarizer controller), 회전 편광판(20)을 통과하여 나노선 소자용 시료에 입사되어 반사된 광을 이용하여 나노선의 광학 영상을 검출하는 광학 현미경(30; optical microscope), 광학 현미경(30)의 일 영역에 마련되어 나노선의 광학 영상을 촬영하고 촬영된 영상 데이터를 저장하는 CCD 카메라(31), 및 CCD 카메라(31)를 통해 얻어진 나노선의 영상 데이터를 고속 푸리에 변환(fast fourier transform: FFT) 방법을 이용하여 고속 푸리에 변환 하는 데이터 처리부(50)를 포함한다.

<22> 보다 구체적으로, 광원부(10)는 백색광을 발생시켜 나노 소자용 시료에 제공하며, 회전 편광판(20)은 광학적 이성질체가 방향에 따라 편광된 투과광의 빛깔이 달리진다는 사실을 이용하여 편광 성질을 얻는 장치로, 광원부(10)에서 제공된 백색광을 편광시킨다. 회전 편광판(20)을 통과한 빛은 특정한 방향으로 편광된다. 편광된 빛이 나노선에 입사되면 대부분의 나노선은 나노선의 형성 방향과 편광축 사이의 각도에 따라 다르게 발광하는 광학적 이방성을 보인다. 나노선의 형성 방향과 편광축이 정렬되어 둘 사이의 각도가 0도인 경우에는 최대로 발광하고, 반대로 90도인 경우에는 최소로 발광하는 특성을 보인다. 이와 같은 나노선의 광학적 이방성을 이용함으로써, 본 발명에 따른 고해상도 광학 현미경 장치가 구현된다.

<23> 본 실시 예에서는 편광판 제어기(40)를 이용하여 회전 편광판(20)을 회전 제어한다. 편광판 제어기(40)는 광원부(10)와 광학 현미경(30) 사이에 설치되는 것으로, 회전 편광판(20)을 0.1 Hz ~ 1 Hz 범위의 주파수(f_0)로 회전하도록 제어한다. 일반적으로, 광학 현미경(30)은 광원부(10)에서 제공된 광원을 이용하여 나노선 소자용 시료의 나노선을 검출할 수 있는 것으로, 광학 현미경(30)에 마련된 CCD 카메라(31)는 회전 편광판(20)을 통과하여 나노선 소자용 시료에서 반사된 광원을 촬영한다.

<24> 본 실시 예에서는 CCD 카메라(31)의 위치가 접안 렌즈의 상부에 형성되어 있으나, 이와 달리 접안 렌즈의 하부는 물론 광학 현미경(30)의 다른 일 영역에 설치할 수 있으며, 외부에서 원격 조정이 가능하도록 설치한다. CCD 카메라(31)를 통해 얻은 나노선 소자용 시료의 영상 데이터는 일정한 시간 간격으로 저장되며, 상기 영상 데이터가 상기 데이터를 처리하는 데이터 처리부(50)에 저장될 수 있도록 CCD 카메라(31)를 원격 조정한다. 데이터 처리부(50)는 CCD 카메라(31)를 통해서 촬영된 영상 데이터를 고속 푸리에 변환을 이용하여 노이즈를 제거함으로써 10 ~ 20 나노미터 범위의 직경이 작은 나노선 또는 수 나노미터의 탄소 나노 튜브의 시료의 영상을 구할 수 있다.

<25> 전술한 광학 현미경 시스템(1)에 따르면, 편광판 제어기(40)가 회전 편광판(20)을 0.1 Hz 내지 1 Hz의 특정 주파수(f_0)로 회전하도록 제어함에 따라, 나노선 소자용 시료에 입사되는 선 편광된 광원의 편광축이 $2f_0$의 주파수로 회전하게 된다. 이에 따라 나노선의 축과 편광축이 이루는 각도가 $2f_0$의 주파수로 변하게 되어 나노선에서 반사되는 빛의 세기도 $2f_0$의 주파수로 변조된다. 반면에 나노선 주변의 시료는 일반적으로 광학적 이방성이 없거나 작아서 주변의 시료를 통해 반사되는 빛의 세기 중 $2f_0$의 주파수로 변조되는 성분이 나노선에 비해 상대적으로 매우 작다. 결과적으로, 나노선에 해당하는 특정 주파수($2f_0$)로 변조되는 신호를 선택적으로 얻으면, 나노선이 없는 주변 영역의 신호가 제거되기 때문에 나노선의 영상을 더욱 뚜렷하게 얻을 수 있게 된다. 전술과 같은 나노선 영상을 획득 방법은, 특정 주파수 신호가 잡음이 많은 다른 환경에 묻혀 있을 때 사용하고자 하는 특정 주파수의 신호만을 추출하는 락-인 증폭기(Lock-in Amplifier)의 원리를 이용하고 있다.

<26> 본 광학 현미경 시스템(1)에 사용하는 광학 현미경(30)의 배율은 1000배 내지 2500배인 것을 사용하고, 회전 편광판(20)이 회전하는 동안 CCD 카메라(31)를 이용하여 나노선 시료의 영상을 초당 30 내지 40 프레임의 동영상으로 2초 ~ 20 초간 저장한다. 이때, CCD 카메라(31)는 640 X 480 픽셀 또는 그 이상의 픽셀 수를 갖는 것을 이용하는 것이 더욱 효율적이다. 각 프레임당 저장된 CCD 카메라(31)에서 촬영된 영상 데이터는 가로(n_0) X 세로(m_0) 의 픽셀 수로 구성된 이차원 배열로 표시할 수 있다. 각각의 픽셀은 나노선 소자용 시료에서 반사하는 빛의 세기 정보(I; intensity)를 가지고 있다. 따라서, (n, m) 번째 픽셀의 세기 정보는 I(n, m)로 표시할 수

있다. 한편, 전술한 바와 같이, 각 프레임은 일정 시간 간격(2 ~ 20초 간)으로 저장되어 있으므로, 시간 축을 고려한다면 빛의 세기 정보(I)는 도 2에 개시된 바와 같이 삼차원 배열로 표시할 수 있다.

<27> 도 2는 본 발명에 따른 CCD 카메라에서 촬영된 3차원 배열 구조의 나노선 영상 데이터와 상기 데이터로부터 고속 푸리에 변환 방법을 이용하여 획득한 영상 처리 상태를 나타낸 개략도이다. 도 2를 참조하면, 시간 축으로는 총 l_0개[l_0 =(초당 CCD 영상 저장 프레임수)× (동영상 저장 시간; sec)] 의 CCD 영상 프레임이 저장된다. 1번째 프레임에서 (n, m) 픽셀의 빛의 세기 정보를 $I(n,m)_1$로 표기하면, (n, m) 픽셀의 빛의 세기 정보는 시간 축에 대하여 $I(n,m)_1$, $I(n,m)_2$, $I(n,m)_3$, … , $I(n,m)_{10}$ 의 배열로 정보를 갖게 된다. 각각의 픽셀은 시간 축으로 10 개의 데이터를 가지므로, 각 픽셀에 대해서 빛의 세기 정보에 대한 주파수 정보를 얻을 수 있다. 특히 모든 픽셀에서 주파수 $2f_0$에 대응하는 푸리에 계수를 선택하여 새로운 이미지가 얻어지면, 주파수 $2f_0$로 변조되는 나노선의 이미지를 추출할 수 있다.각 픽셀의 시간 축 데이터 $I(n,m)_1$, $I(n,m)_2$, $I(n,m)_3$, … , $I(n,m)_{10}$ 는 이산(discrete) 데이터이므로 이산 푸리에 변환(discrete Fourier transform)을 통하여 주파수 $2f_0$에 대응하는 푸리에 계수를 구할 수 있다. 그런데 하나의 픽셀 당 10개(일 예로, 30 ~ 40프레임 × 2 ~ 20초)의 데이터로부터 푸리에 계수를 구하는 계산 과정은 총 102번의 계산을 요구하고, 이러한 계산을 총 n_0 x m_0개(예를 들며, 640 X 480 픽셀)의 픽셀에 대해 수행하여야 하므로 고속 푸리에 변환(FFT: fast fourier transform)을 사용하여 계산 횟수를 줄임으로써 영상 처리 속도를 증가시킬 수 있다. 다시 말해, 도 2는 각 픽셀 별 시간 데이터인 $I(n,m)_1$ 로부터 고속 푸리에 변환을 사용하여 주파수 $2f_0$에 대응하는 복소수 푸리에 계수 $(2f_0)n,m$ 를 획득하여 새로운 이미지 픽셀을 얻는 모식도를 나타내고 있다. 이때 복소수 푸리에 계수의 절대값으로부터 나노선의 이미지 영상을 얻는다.

<28> 한편, 푸리에 계수의 위상 정보는 나노선의 축 방향에 대한 정보를 갖는다. 서로 다른 축 방향을 갖는 나노선들에서 반사되는 빛의 변조는 일정 시간 차이를 두고 발생하므로 푸리에 계수들 간에 위상 차이를 가져오게 된다. 따라서 푸리에 계수의 특정 위상값은 그에 대응되는 나노선의 축 방향각을 의미하게 되므로 이것을 이용하여 특정 방향으로 놓인 나노선만을 선택적으로 이미지에 보여줄 수 있다.

<29> 도 3a 및 도 3b는 편광판과 나노선 시료의 기준축이 이루는 각도가 0도인 경우와 90도인 경우를 나타내는 영상 도면으로, 도 1의 광학 시스템을 이용하여 나노선 소자용 시료에서 얻을 수 있는 나노선의 영상 데이터이다. 전술한 바와 같이, Θ는 편광축과 기준 축으로 사용되는 나노선 사이의 각도를 나타내는 것으로, 도 3a는 편광축과 나노선 시료의 기준축 사이의 각도가 0° 인 경우이고 도 3b는 편광축과 나노선 기준축 사이의 각도가 90° 인 경우를 나타낸다. 일반적으로 회전 편광판(20)을 통과한 빛은 편광판(20)의 회전 각도에 따라 특정한 방향으로 편광된다. 만약, 편광축이 수평인 경우에는 즉, 편광축과 나노선의 기준축이 이루는 각도가 0도인 경우에는 편광축과 수평을 이루는 나노선의 밝기가 최대가 되며, 편광축과 수직을 이루는 나노선의 밝기는 최저가 된다. 반면, 편광축이 수직인 경우에는 수직인 편광축과 나란한 방향에 배열된 나노선의 밝기가 최대가 되는 것이다.

<30> 도 3a를 참조하면, 세 개의 나노선(a,b,c) 중 편광축과 나란한 방향에 배치된 나노선(a)이 최대의 밝기를 내는 반면, 나노선(3)은 최저 밝기를 낸다. 도 3b를 참조하면, 세 개의 나노선(a,b,c) 중 편광축과 수직한 방향에 배치된 나노선(a)의 밝기가 최저인 반면, 나노선(c)의 밝기가 최대이다.

<31> 본 발명의 기술 사상은 상기 바람직한 실시 예에 따라 구체적으로 기술되었으나, 상기한 실시 예는 그 설명을 위한 것이며 그 제한을 위한 것이 아님을 주의하여야 한다. 또한, 본 발명의 기술 분야의 통상적인 전문가라면 본 발명의 기술 사상의 범위 내에서 다양한 실시 예가 가능함을 이해할 수 있을 것이다.

발명의 효과

<32> 이상 전술에 따르면, 직경이 수 나노미터 혹은 10 내지 20 nm(0 ~ 20nm)인 나노선 또는 수 나노미터(0 ~ 10nm)의 두께를 갖는 탄소 나노 튜브를 이용한 전자 소자를 제작할 때, 기존에 사용하는 광학 현미경을 사용함으로써, 공정 시간을 단축하고 제조 비용을 절감할 수 있다.

<33> 또한, 기존의 반도체 소자 공정에서 사용하는 광학 현미경을 활용할 수 있게 됨으로 공정 연계성이 우수하여 대면적 나노선 또는 탄소 나노 튜브를 이용한 전자 소자 공정이 가능하다.

<34> 게다가, 본 발명에 따르면 고가의 전자 현미경(또는 원자 현미경)을 대신하여 광학 현미경을 사용하여 나노선의

영상을 얻을 수 있게 되기 때문에, 나노선 연구의 활성화에 기여할 수 있다.

도면의 간단한 설명

<1> 도 1은 본 발명에 따른 나노선 감지용 광학 현미경 시스템의 모식도이다.

<2> 도 2는 본 발명에 따른 CCD 카메라에서 촬영된 3차원 배열 구조의 나노선 영상 데이터와 상기 데이터로부터 고속 푸리에 변환 방법을 이용하여 획득한 영상 처리 상태를 나타낸 개략도이다.

<3> 도 3a 및 도 3b는 편광판과 나노선 시료의 기준축이 이루는 각도가 0도인 경우와 90도인 경우를 나타내는 영상 도면이며, 도 1의 광학 시스템을 이용하여 나노선 소자용 시료에서 얻을 수 있는 나노선의 영상 데이터이다.

<4> ** 도면의 주요 부분에 대한 부호 설명**

<5> 1: 광학 현미경 시스템 10: 광원부

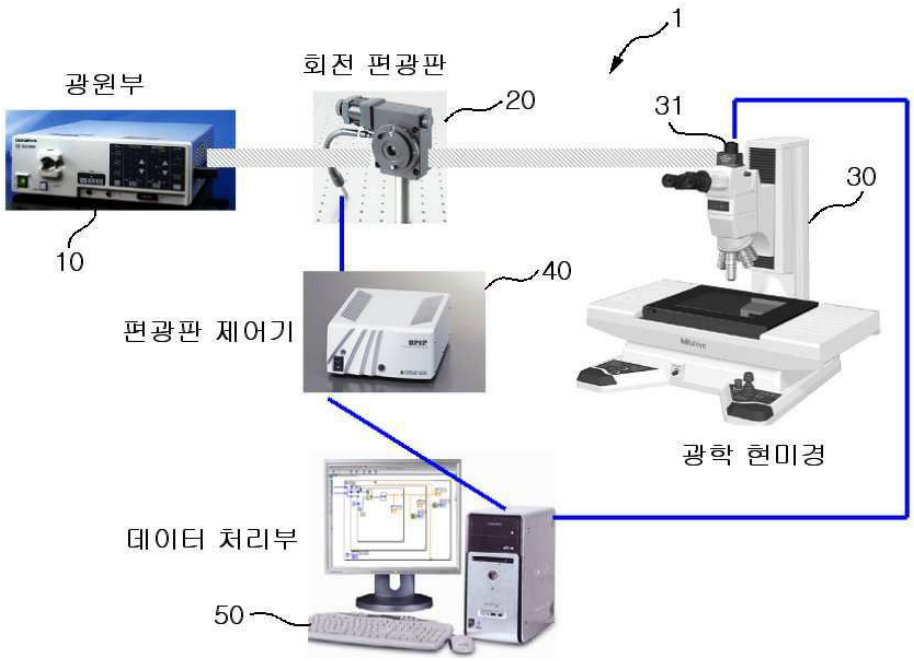
<6> 20: 회전 편광판 30: 광학 현미경

<7> 31: CCD카메라 40: 편광판 제어기

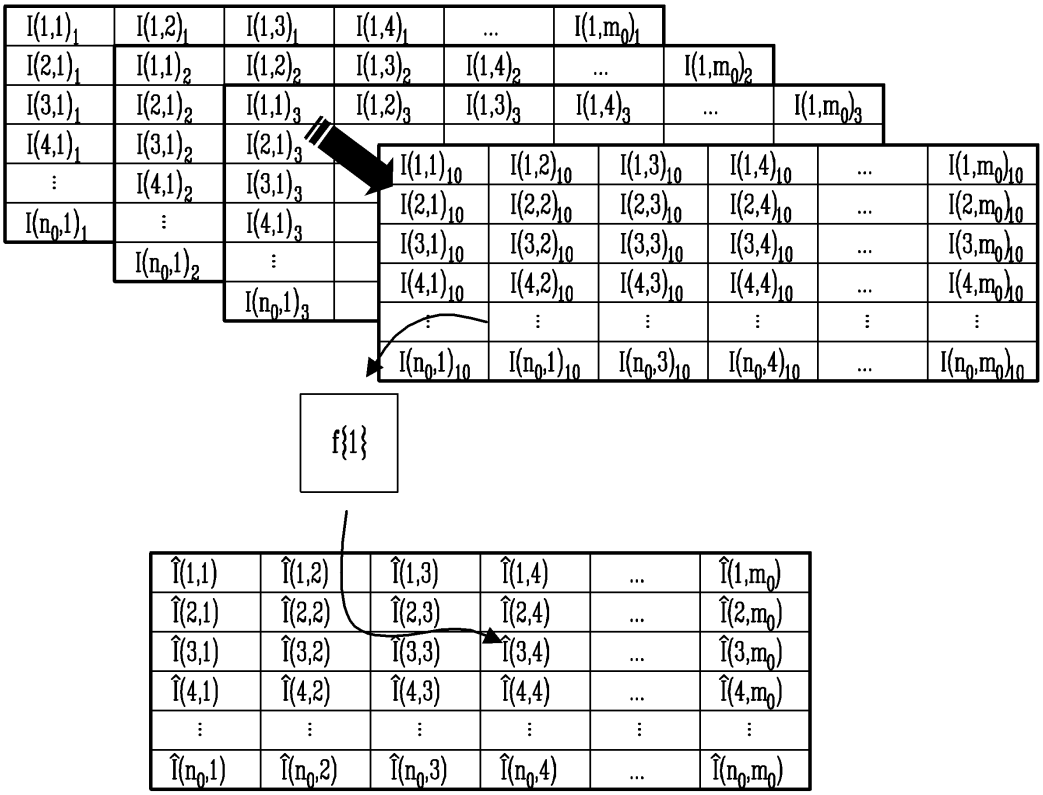
<8> 50: 데이터 처리부 a,b,c: 나노선

도면

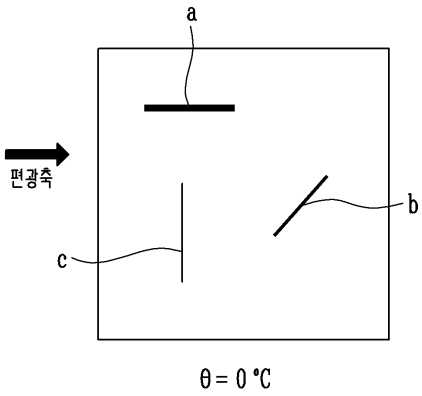
도면1



도면2



도면3a



도면3b

