



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2010년02월03일
(11) 등록번호 10-0940129
(24) 등록일자 2010년01월26일

(51) Int. Cl.
G01N 21/55 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2006-7005681
(22) 출원일자 2004년09월21일
심사청구일자 2008년01월25일
(85) 번역문제출일자 2006년03월22일
(65) 공개번호 10-2007-0001051
(43) 공개일자 2007년01월03일
(86) 국제출원번호 PCT/US2004/030859
(87) 국제공개번호 WO 2005/031315
국제공개일자 2005년04월07일
(30) 우선권주장
10/668,642 2003년09월23일 미국(US)
(뒷면에 계속)

(56) 선행기술조사문헌
US3825347 A
US5042949 A
US5781304 A

전체 청구항 수 : 총 32 항

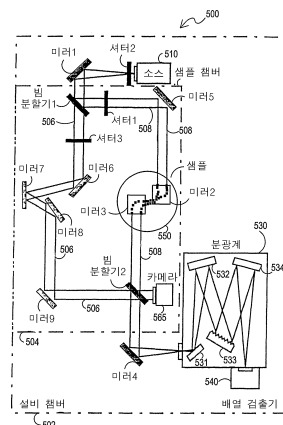
심사관 : 심재만

(54) 진공 자외선 참조 반사율계

(57) 요약

제공된 분광학 시스템(500) 진공자외선 스펙트럼에서 동작한다. 보다 상세하게, 진공자외선 스펙트럼에서 반사율 측정법 기술들을 이용하는 시스템은 계측 응용물들을 위하여 준비된다. 정확하고 반복 가능한 측정을 보장하도록, 광학 경로(506,508)들의 환경은 광학 경로에서 존재할 수도 있는 가스들의 흡수 영향들을 제한하도록 제어된다. 여전히 발생할 수도 있는 흡수 영향을 설명하도록, 광 경로의 길이는 최소화된다. 흡수 영향을 추가적으로 설명하도록, 반사율 데이터가 상대 표준으로 참조된다.

대표도 - 도5



(30) 우선권주장

10/668,644	2003년09월23일	미국(US)
10/669,030	2003년09월23일	미국(US)
10/909,126	2004년07월30일	미국(US)

특허청구의 범위

청구항 1

삭제

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

청구항 37

삭제

청구항 38

삭제

청구항 39

삭제

청구항 40

삭제

청구항 41

삭제

청구항 42

삭제

청구항 43

삭제

청구항 44

삭제

청구항 45

삭제

청구항 46

삭제

청구항 47

삭제

청구항 48

삭제

청구항 49

삭제

청구항 50

삭제

청구항 51

삭제

청구항 52

삭제

청구항 53

삭제

청구항 54

삭제

청구항 55

삭제

청구항 56

삭제

청구항 57

삭제

청구항 58

삭제

청구항 59

삭제

청구항 60

삭제

청구항 61

삭제

청구항 62

삭제

청구항 63

삭제

청구항 64

삭제

청구항 65

삭제

청구항 66

삭제

청구항 67

삭제

청구항 68

삭제

청구항 69

삭제

청구항 70

삭제

청구항 71

삭제

청구항 72

삭제

청구항 73

삭제

청구항 74

삭제

청구항 75

삭제

청구항 76

삭제

청구항 77

삭제

청구항 78

삭제

청구항 79

삭제

청구항 80

삭제

청구항 81

삭제

청구항 82

삭제

청구항 83

삭제

청구항 84

삭제

청구항 85

삭제

청구항 86

삭제

청구항 87

삭제

청구항 88

삭제

청구항 89

삭제

청구항 90

삭제

청구항 91

삭제

청구항 92

삭제

청구항 93

삭제

청구항 94

삭제

청구항 95

삭제

청구항 96

삭제

청구항 97

삭제

청구항 98

삭제

청구항 99

삭제

청구항 100

삭제

청구항 101

삭제

청구항 102

삭제

청구항 103

심자외선(DUV) 파장 이하에서 작동하는 반사율계로서,

심자외선 파장 이하의 파장들을 포함하고 반사율계에서 적어도 하나의 광 빔을 생성하도록 이용되는 광을 생성하는 광 소스;

광 빔이 주행하고 심자외선 광 이하의 파장들의 전송을 허용하도록 충분히 제어되는 적어도 하나의 환경적으로 제어된 챔버;

광 빔의 적어도 일부를 수신하고, 그 출구 평면에서 심자외선(DUV) 파장 이하의 광 파장들을 포함하는 공간적으로 분할된 다중 광 파장들을 제공하는 분광계; 및

공간적으로 분할된 다중 광 파장들을 수신하고, 심자외선 파장 이하의 파장에 대한 데이터를 검출하는 배열 검출기를 포함하는 반사율계.

청구항 104

제 103 항에 있어서, 적어도 하나의 환경적으로 제어되는 챔버는 상기 반사율계에 적용되는 파장 범위 내에서 실질적으로 비흡수성으로 되도록 선택되는 가스로 퍼지되는 것인 반사율계.

청구항 105

제 103 항에 있어서, 적어도 하나의 환경적으로 제어되는 챔버는 진공인 반사율계.

청구항 106

제 103 항에 있어서, 상기 반사율계는 인-라인(in-line) 측정, 모니터링 또는 제어가 유리하게 이루어질 수 있도록 하나의 프로세스 툴 내에 통합된 것인 반사율계.

청구항 107

제 103 항에 있어서, 반사율계 광학기(optics), 분광계 및 배열 검출기는 국소화된 시료 영역 내 다수의 위치에 서 반사율 측정을 동시에 수행할 수 있도록 배치된 반사율계.

청구항 108

제 103 항에 있어서, 2차원 시료 영역으로부터, 그리고 2차원 시료 영역으로 광 빔을 지시하도록 배치된 다수의 광학 요소들을 더 포함하며, 이때 배열 검출기는 상기 2차원 시료 영역 내 다수의 위치에 대해 반사율 데이터가 동시에 얻어질 수 있도록 하는 것인 반사율계.

청구항 109

제 103 항에 있어서, 그 안에서 광 빔이 주행하고 심자외선 이하의 광 파장들을 전달할 수 있을 정도로 충분히 제어되며, 적어도 하나는 반사율 데이터가 수집되기를 희망하는 시료를 유지하도록 배치된 시료 챔버인, 다수의 환경적으로 제어되는 챔버를 더 포함하는 반사율계.

청구항 110

제 109 항에 있어서, 상기 환경적으로 제어되는 챔버 둘을 연결하는 적어도 하나의 커플링 메커니즘을 더 포함함으로써, 상기 커플링 메커니즘을 통해 심자외선 이하의 광 빔의 파장들을 전달할 수 있도록 하며, 상기 광 빔은 적어도 상기 적어도 하나의 커플링 메커니즘을 통과할 때 평행한 광 빔인 반사율계.

청구항 111

심자외선(DUV) 파장 이하의 파장들에 대한 반사율 데이터를 수집하는 단계를 포함하는, 반사율계를 이용하여 시료로부터의 반사율 데이터를 수집하는 방법으로서,

반사율계에서 적어도 하나의 광 빔을 생성하도록 이용되는 심자외선 파장 이하의 광 파장들을 생성하는 단계;

상기 광 빔을 적어도 하나의 환경적으로 제어된 챔버 내에서 전송하는 단계;

심자외선 광 이하의 파장들의 전송을 허용하도록 적어도 하나의 환경적으로 제어된 챔버 내의 환경을 제어하는 단계;

시료 상에 광 빔을 지시하는 단계;

광 빔이 시료로부터 반사된 후 분광계 내에서 광 빔의 적어도 일부를 수신하는 단계;

분광계의 출구 평면에서, 심자외선 파장들 이하의 광 파장들을 포함하는 공간적으로 분할된 다중 광 파장들을 제공하는 단계; 및

심자외선 파장들 이하의 파장들에 대한 시료 반사율 데이터를 수집하기 위하여 심자외선 파장들 이하의 파장들에 대한 데이터를 검출하는 배열 검출기으로써, 상기 공간적으로 분할된 다중 광 파장들을 수신하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 112

제 111 항에 있어서, 상기 배열 검출기으로써, 국소화된 시료 영역 내 다수의 위치로부터 동시에 반사율 측정을 검출하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 113

제 111 항에 있어서, 상기 광 빔은 비극성화 상태에 있는 것인 방법.

청구항 114

제 111 항에 있어서, 상기 광 빔은 다수의 환경적으로 제어된 챔버를 통해 전달되는 방법.

청구항 115

제 114 항에 있어서, 환경적으로 제어된 챔버 중 하나는 시료 챔버인 방법.

청구항 116

제 115 항에 있어서, 환경적으로 제어된 챔버 중 하나는 기구(instrument) 챔버이고, 시료 챔버 및 기구 챔버는 광 빔이 통과하는 광학 커플링 메커니즘에 의해 연결되는 것인 방법.

청구항 117

제 116 항에 있어서, 상기 배열 검출기로써, 국소화된 시료 영역 내 다수의 위치로부터 동시에 반사율 측정을 검출하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 118

제 116 항에 있어서, 상기 광 빔은 상기 광학 커플링 메커니즘을 통과할 때평행하게 되는 것인 방법.

청구항 119

적어도 하나의 미지의 특성을 가지는 시료와 만나도록 배치된 시료 채널 광 경로를 생성하기 위해 이용되는 광 소스; 및

반사율계 또는 반사율계 보정 시간과 시료 반사율 데이터가 얻어지는 시간 사이의 환경적 변화를 보상하기 위하여(account for) 시료로부터 얻어진 반사율 데이터를 조정할 수 있게 하는 반사율계의 참조 수단(means for referencing the reflectometer)을 포함하며,

이때 상기 참조 수단은 참조 채널 광 경로를 포함하는 것인 반사율계.

청구항 120

제 119 항에 있어서, 상기 참조 채널 광 경로 및 시료 채널 광 경로는 심자외선 파장 이하에서 흡수성 물질들로부터 기인하는 환경적 영향을 최소화하기 위하여 거의 동등한 광학 경로 길이를 가지는 것들인 반사율계.

청구항 121

제 120 항에 있어서, 적어도 하나의 환경적으로 제어된 챔버를 더 포함하며, 상기 시료 채널 광 경로와 참조 채널 광 경로는 하나의 환경적으로 제어된 챔버 내 적어도 일부분 내에 형성되는 반사율계.

청구항 122

제 120 항에 있어서, 상기 반사율계는 2차원 시료 영역으로부터 반사율 데이터를 얻으며, 상기 반사율계는

참조 채널 광 경로 및 시료 채널 광 경로 모두 내에 있고, 그 출구에서 공간적으로 분할된 다중 광 파장들을 제공하는 분광계, 및

참조 채널 광 경로 및 시료 채널 광 경로 모두 내에 있고, 2차원 시료 영역 내 다수의 위치에 대해 동시에 반사율 데이터가 얻어질 수 있도록 공간적으로 분할된 다중의 광 파장들을 수신하는 배열 검출기를 더 포함하고,

이때 상기 참조 채널 광 경로는 반사율계의 이용을 통해 얻어지는 반사율 데이터를 조정하기 위해 시스템 또는 환경적 변화를 보상하기 위해 이용될 수 있는 데이터를 수집하도록 배치되는 것인 반사율계.

청구항 123

제 119 항에 있어서, 반사율계가 프로세스 튜브의 시료 챔버와 접하는 것을 용이하게 하는 적어도 하나의 커플링 메커니즘을 더 포함하되, 상기 커플링 메커니즘은 반사율계 환경의 일부분이 시료 챔버 환경의 일부분과 공유되도록 배치되고, 상기 시료 챔버는 반사율 데이터를 수집하기를 원하는 시료를 유지하도록 배치되며, 상기 환경의 공유 부분은 심자외선 파장 이하의 광 파장들의 전달을 허용하도록 충분히 제어되는 것인 반사율계.

청구항 124

제 119 항에 있어서, 상기 시료 채널 광 경로와 참조 수단은 간섭계(interferometer)의 균형잡힌 아암(balanced arms)을 형성하는 것인 반사율계.

청구항 125

제 119 항에 있어서, 상기 시료 채널 광 경로와 참조 채널 광 경로는 광 소스로부터의 소스 빔을 분할하고, 연이어 상기 분할된 부분들을 재결합하여 그들이 회절 요소 및 검출기의 공통된 부분으로 지시되도록 하기 위한

하나 또는 그 이상의 빔 스플리터 기구를 이용하여 형성되는 것인 반사율계.

청구항 126

제 119 항에 있어서, 상기 참조 채널 광 경로와 시료 채널 광 경로는 공통 소스, 회절 격자, 및 검출기를 공유하는 것인 반사율계.

청구항 127

제 1 시료로부터 참조 데이터를 얻는 방법으로서,

시료 광 채널을 제공하는 단계;

참조 광 채널을 제공하는 단계로서, 상기 시료 광 채널과 참조 광 채널은 적어도 하나의 검출기와 파장을 공간적으로 분할하는 공간적으로 분할된 광학 요소의 공통 부분을 포함하는 적어도 일부의 공통된 광학 요소들을 공유하도록 하는 단계;

참조 광 채널을 이용하여 검출기로서 참조 데이터를 얻는 단계로서, 상기 참조 데이터는 시료 광학 채널 경로에서 임의의 시료의 사용과 무관하게 시스템 또는 환경 변수들을 지시하는 것인 단계; 및

제 1 시료로부터의 시료 참조 데이터의 수집과 관련된 참조 데이터를 이용함으로써 시료 광 경로로부터 얻어지는 참조 데이터를 참조하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 128

제 127 항에 있어서, 공간적으로 분할된 광학 요소는 회절 격자인 방법.

청구항 129

제 127 항에 있어서, 제 1 시료는 미지의 시료이고, 상기 참조 데이터의 참조는 시스템 또는 보정 시간과 제 1 시료 반사율 데이터가 얻어지는 시간 사이의 환경적 변화를 보상하는 것인 방법.

청구항 130

제 129 항에 있어서, 보정 시료에 대한 반사율 측정을 수행하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 131

제 130 항에 있어서, 보정 시료와 관련된 참조 데이터를 얻는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 132

제 127 항에 있어서, 제 1 시료는 보정 시료이고, 상기 방법은 미지 시료에 대한 반사율 측정을 수행하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 133

제 132 항에 있어서, 보정 시료의 반사율 측정과 관련된 참조 데이터는 보정 시료로부터 반사율 데이터를 얻는 시간 직전에 검출되는 것인 방법.

청구항 134

제 127 항에 있어서,

시료 광학 채널 내에서 시료의 2차원 영역 상에 광 빔을 지시하는 단계와;

상기 광 빔이 시료로부터 반사된 후 이미징 분광계 내에서 광 빔의 적어도 일부를 수신하는 단계;

분광계의 출구 평면에서 공간적으로 분할된 다중 광 파장들을 제공하는 단계; 및

시료의 2차원 영역 내 다수의 위치에 대해 반사율 데이터가 동시에 얻어지도록 하기 위하여 2차원 배열 검출기로서 공간적으로 분할된 다중 광 파장을 수신하는 단계를 더 포함하는 방법.

명세서

기술분야

- [0001] 본 발명은 일반적으로 진공 자외선 참조 분광학을 위한 기계류 및 진공 자외선 참조 분광학의 응용물들에 관한 것이다. 하나의 실시예에서, 본 발명은 전연(leading edge) 반도체 디바이스의 제조 동안 공정 제어를 사용하기 위한 높은 처리량, 비접촉 계측 능력들을 반도체 제조자에게 제공하도록 사용될 수 있다. 추가적으로, 본 발명은 집적화된(인 라인) 공정 제어에서의 사용을 용이하도록 충분히 컴팩트하다.

배경기술

- [0002] 반도체 산업은 현재 어느 시점에서 보다 얇은 층들로 구성되고 보다 작은 특성 사이즈들을 소유하는 디바이스들의 제조를 가능하게 하는 공정 기술을 개발하고 있다. 이러한 발전을 가능하게 하도록, 현재 시스템들이 공정 조건들에 있어서 미묘한 변화들을 검출하는데 필요한 감도들이 부족함으로써, 이를 지원하는 계측 기술이 개발되어야만 된다.
- [0003] 광학 계측 설비들은 이것들이 전형적으로 비접촉, 비파괴적이고 높은 측정 처리를 가능하게 하기 때문에 반도체 처리 응용물들에 오랫동안 사용되어 왔다. 이러한 설비들의 거의 대부분은 물질들을 특징화하도록 엘립소메트리(ellipsometry) 및/또는 반사율 측정법을 채택한다. 전형적으로, 이러한 설비들은 막 두께, 광학적 특성 및 조성, 다공도 및 거칠기같은 다른 물질 특징들을 측정하도록 사용되어 왔다. 보다 최근에 스캐터로메트리(scatterometry) 모델링 기술의 사용을 통하여 디바이스 특성들의 결정적인 치수들을 특징화하는 상기 설비들의 확장에 관심이 떠올랐다.
- [0004] 실질적으로, 현재의 모든 엘립소메트리 및 반사율 측정 계측 설비들은 원자외선($\sim 200\text{nm}$)과 근자외선($\sim 1000\text{nm}$) 파장들 사이의 스펙트럼 영역의 일부에서 동작한다.
- [0005] 불행하게, 반도체 공정 기술들이 발달하고 디바이스 외형이 감소함으로써, 공정 조건에 있어서의 변화들에 대한 이러한 설비들의 감도는 감소된다. 계측 설비로부터의 광감도, 정확도 및 반복 가능한 피드백없이, 반도체 제조자들은 공정 설비들을 정확하게 제어할 수 없으며, 따라서 높은 수율을 달성할 수 없다. 간단하게, 종래의 광학 설비는 그 자체를 미래 기술에 대해 부적합하게 만드는 한계점에 도달하였다.
- [0006] 선택된 수의 회사들은 진공 자외선(VUV, 일반적으로 190nm 이하의 파장) 광학 계측 설비를 위한 개발 필요성을 인식하여 이러한 요구에 대처하도록 목적화된 상업적 제품들을 제조하여왔다. 회사의 예들은 독일의 Sentech Instruments GmbH, 미합중국의 J. A. Woollam Co., Inc., 프랑스공화국의 Sopra Inc.를 포함한다. 그러나, 이 모든 회사들은 엘립소메트릭 기술에 의지하는 설비들을 설계하였으며, 이러한 설비들은 이것들의 현식적인 특질에 의하여 복잡한 하드웨어와 제어 시스템들을 요구한다. 이러한 디바이스들은 전형적으로 느리며, 반도체 제조 환경에서 요구되는 높은 수준의 측정 처리량을 유지할 수 없다. 아울러, 이러한 설비들은 대체로 많은 수의 전달 가능한 분극화 요소들을 채택하며, 이러한 요소들은 채택될 수 있는 가장 짧은 파장의 광자들을 효과적으로 제한한다. 그 결과 현재의 VUV 엘립소메트릭 계측 시스템들은 단지 약 140nm 보다 긴 파장에서만 동작할 수 있다.
- [0007] 또한, 미합중국 특허 제6,414,302호(Freeouf)는 전체 광경로가 제어된 환경에서 유지되는 기하학 형태로 장기적인 고에너지의 양방향성 엘립소메트릭 측정들을 수행하는 이점을 기술한다. 이러한 접근은 보다 높은 에너지 광자들의 사용에 의하여 부여된 개선된 신호 구별 능력의 사용을 만들도록 시도하였지만, 이는 또한 복잡한 엘립소메트릭 기술들의 채택과 관련된 상기의 복잡성의 문제가 있다. 아울러, 이러한 설계는 정확하고 재생 가능한 결과들을 얻기 위하여 실제 측정 동안뿐만 아니라 일련의 측정들 사이에 엄격하고 재생가능하게 제어되는 환경

을 요구한다. 즉, 환경적인 영향으로부터 따르는 측정 데이터에 있어서 불확실성을 최소화하도록, 적절한 환경 조건들이 실현되는 것뿐만 아니라 동일한 적절한 조건들이 각 그리고 매측정동안 재생 가능하게 실현되고 유지 되는 것을 보장하는 것이 필요하다. 조건들이 변하면, 설비의 반복성 및 안정성에 나쁜 영향을 미치게 된다.

[0008] 미합중국 특허 출원 제20020149774에서 McAninch은 제어된 환경에서 샘플을 배치할 것을 요구하지 않는 광학 계측 공구에 대한 정화 시스템을 개시한다. 재생 가능한 정상 상태(steady-state) 조건들은 흐름 특성들이 측정동안 샘플의 배치에 상당히 좌우하여 변하게 되는 것이 예측됨에 따라서 그러한 장치를 사용하여 달성하는 것이 어렵게 될 것이다. 샘플 크기와 샘플의 표면상의 패턴화된 구조의 존재와 같은 다른 변수들은 또한 흐름 특성에 영향을 주는 것을 예측할 수 있다. 추가적으로, 이러한 개시는 데이터 참조가 설계에 어떻게 통합되는지의 언급이 없다.

[0009] 둘 모두 미합중국 법인인 액톤 리서치 코퍼레이션(Acton Research Corporation)와 맥퍼슨 인코퍼레이티드(McPherson, Inc.,)와 같은 다른 회사들은 또한 VUV 영역에서 반사율과 투과율의 스펙트럼 측정을 수행하기 위한 광학 설비들을 개발하였다. 일반적으로 이야기하면, 이러한 시스템은 스텝 및 스캔 기술을 채택하는 것에 의하여, 스펙트럼은 일정 각도 범위를 통한 회절격자의 스캐닝과 조합하여 단일 요소 검출기의 사용을 통해 기록된다. 이것 만으로, 이러한 시스템들은 시간을 소모하고, 반도체 제조자들의 요구에 잘 어울리지 않는다.

[0010] 반사율계로 크게 반복할 수 있는 결과들을 달성하기 위하여, 반사율 데이터를 상대 표준에 참조하고 비교할 수 있는 수단을 제공하는 것이 필요하다. 이러한 방식에서, 시스템이 먼저 조정되는 초기와 샘플 측정이 수행되는 추후시기 사이에 발생하는 시스템에서의 변화들은 적절하게 설명될 수 있다.

[0011] 수많은 참조 기술들이 종래에 존재하지만, 대체로, 이러한 방법들은 시간을 소모하고, 참조 샘플을 샘플 위치로 그리고 그로부터 벗어나 기계적으로 위치시키는 것을 필요로 하고, 또는 샘플 및 참조 측정을 위한 별도의 검출 성분들(즉, 회절 요소들 및 검출기들)을 채택하고, 이는 부정확한 결과들이 따를 수 있다. 예를 들어, 반사율계 데이터를 참조하는 별도의 검출 성분들을 이용하는 하나의 접근은 " 이중 빔" 구성을 채택하는 것이다. 이러한 장치에 있어서, 광대역 광은 전형적으로 단일파장(monochromatic) 배출 빔을 생성하기 위하여 분광계를 사용하여 분산된다. 샘플 빔은 샘플에 의해 반사되어 샘플 검출기에 기록되는 한편, 참조 빔은 샘플을 우회하여, 참조 검출기에 의해 기록된다. 이러한 접근은 회절격자의 스캐닝을 요구하고 초기에 기술된 검출기 쟁점으로 문제가 있기 때문에 시간을 소모한다.

[0012] 그러므로, 직렬의 계측 응용물들에서 그 사용을 용이하게 하도록 신속하고 컴팩트한 참조물의 정확도 높은 수단을 광학 측정 공구에 통합하는 것이 필요하다.

[0013] 디바이스의 기하학적 형태가 축소됨으로써, 계측 설비들은 샘플들의 보다 작은 영역 상에서의 측정을 수행하는 것이 예측된다. 샘플의 재위치 및 재정렬과 전형적으로 관련되어 시간의 증가없이 보다 큰 정보를 얻기 위하여, 계측 공구가 샘플의 국부화된 영역 내에서 많은 수의 이러한 위치(sites) 상에서 측정들을 동시에 수행할 수 있었으면, 크게 유익할 수 있었다.

[0014] 현재 이용 가능한 광학 계측기술들이 VUV 영역에서의 정확하고 반복 가능한 데이터를 수집하는 것과 관련된 어려움을 극복할 수 있는 것이 없음으로써, 이러한 설비를 설계하는데 있어서 큰 이점이 따른다.

[0015] 실제로, 모든 광학 계측 설비들은 초기에 기록된 다수로부터 의미있는 물질 정보를 추출하는 알고리즘을 모델링하는 일부 형태를 통합한다. 이러한 알고리즘의 성능은 감소되는 데이터 세트들의 특성에 크게 좌우된다. 일반적으로 광범위한 파장을 커버하는 데이터 세트들은 알고리즘을 맞추는 것에 대한 보다 많은 제한을 제공하는 것에 의하여, 보다 빠른 수렴(convergence)와 보다 정확한 결과들을 제공한다.

[0016] 적어도 2개의 스펙트럼 영역들을 커버하는 넓은 범위의 파장들 이상의 반사율 데이터를 모으는 종래의 접근은, 하나의 요소 검출기가 회전하는 격자 단색광기(monochromator)와 함께 사용되는 스텝 및 스캔 기술을 채택하는 것이다. 종종 조사된 파장들의 범위가 충분히 크면, 단일 광대역 데이터 세트의 취득동안 격자들, 검출기들, 광학 기기 구성 부분들, 및 소스(source)들을 수동으로 변화시키는 것이 필요할 수도 있다. 이러한 접근은 종종 시간을 소모하고, 반도체 산업에서 조우하는 것들과 같은 제조 환경에 잘 어울리지 않는다.

[0017] 간섭계들은 넓은 범위의 파장들에 걸쳐서 데이터를 수집하도록 적외선 스펙트럼 영역에서 사용된다; 그러나, 이러한 설비들은 설비들의 광학적 및 기계적 허용 범위들이 파장에 비례하고, 이러한 스펙트럼 영역에서 만족시키는 것이 어렵다.

[0018] 미합중국 특허출원 제20030071996호에서 Wang은 별개의 최적화된 빔 경로들을 구비한 측정 시스템을 개시한다.

이러한 시스템이 효율적인 측정치들이 다수의 스펙트럼 부대역(sub-band)들 이상 작동되게 할지라도, 이는 수집된 데이터를 참조하는 수단을 제공하지 않는다. 그러므로, 신호처리량은 높지만, 시스템 반복성은 아주 빈약하다. 이러한 것은 이러한 파장들이 주파수 참조를 필요로 하는 자동 변화에 크게 민감하기 때문에 VUV에서 동작할 때 특히 관련한다.

[0019] VUV에서의 크게 반복 가능한 참조 데이터의 수집은 아마 교정의 종결시와 이후의 샘플 측정의 개시 사이에서 발생할 수도 있는 환경 변화를 개조하는 데이터에 의하여 도입되는 에러들을 최소화 및/또는 아주 제거하도록 설계된 시스템을 사용하여 최상으로 달성된다. 이러한 시스템의 하나의 예가 미합중국 특허출원 Ser. No. 10/668,644에 개시되어 있다. 출원인은 VUV와 적어도 하나의 다른 스펙트럼 영역을 포함하는 넓은 범위의 파장에 걸쳐서 데이터를 취득할 수 있는 반사율계에서 이것의 사용을 용이하게 하기 위하여 이러한 능력을 확장시키는 것이 바람직하다는 것을 확인하였다.

[0020] 출원인은 완전한 광대역 파장들을 포함하는 각각의 스펙트럼 영역들로부터의 데이터 세트들이 샘플 상에서의 동일한 물리적 위치로부터 동일한 스폿 사이즈로 수집되는 것을 보장하는 것이 바람직하다는 것을 추가적으로 확인하였다. 더욱이, 유사한 산란 조건들이 조우되는 것을 보장하기 위하여 샘플에 관계한 동일 정위(즉, 경사각과 방향)를 사용하여 이러한 데이터 세트들이 수집되었다면 또한 바람직하다.

[0021] 출원인은 또한 각 스펙트럼 영역들로부터의 데이터가 미광(stray light) 상태들을 피하도록 연속하여 수집되는 직렬 수집 공정의 사용을 상기 시스템이 만들었다면 바람직하다는 것을 또한 확인하였으며, 이는 병렬 공정이 채택되면 예상할 수 있었다.

발명의 상세한 설명

[0022] 본 발명의 목적은 보다 얇은 층들과 보다 작은 특성들을 통합하는 반도체 디바이스를 특정화할 수 있는 확실한 광학 계측 공구를 반도체 제조 산업에 제공하는데 있다. 이러한 설비는 VUV 파장 영역 및 그 이하에서 물질의 특정화를 통하여 수여되는 공정 조건들에서의 작은 변화에 대한 증가된 레벨의 감도의 완전한 이점을 취하게 된다. 이러한 설비는 비접촉 및 비파괴적이며, 참조된 반사율 데이터의 사용을 만들게 된다.

[0023] 설비의 디자인은 간단하고 튼튼하여 VUV 파장에서 이를 동작시키는데 용이하게 한다. 이러한 단순함의 결과, 이것은 빠른 것에 의하여, 응용물들을 제조하는 높은 처리량에 있어서 이를 사용하도록 이끈다. 시스템은 이것이 컴팩트하고 적은 공간을 요구하도록 설계된다. 설비는 교정, 참조 및 샘플 측정의 과정 동안 재생 가능한 제어된 환경을 지속할 필요성을 분명히 제거하도록 환경 영향들을 최소화하는 이점을 제공한다. 추가적으로, 이것은 제품 샘플들 상에서의 인라인 측정들이 가능하도록 작은 사이즈의 스폿 측정을 제공하고, 국부화된 영역 내의 직렬 위치들에서의 다중 측정이 동시에 얻어질 수 있도록 화상 광학 기기들을 채택한다.

[0024] 하나의 실시예에서, 진공 자외선 스펙트럼에서 동작하는 분광계 시스템이 제공된다. 보다 상세하게, 진공 자외선 스펙트럼에서 반사율 측정법 기술들을 이용하는 시스템은 계측 응용물들에서 사용하기 위하여 제공된다. 시스템은 화상 분광계와 조합하여 배열 검출기(array detector)의 사용을 포함한다. 이러한 방식에 있어서, 다중 파장을 위한 데이터는 동시에 수집될 수도 있다. 더욱이, 데이터의 다중 파장들은 2차원 샘플 면적을 위하여 동시에 수집될 수도 있다. 시스템은 고정된 회절격자들의 사용을 추가로 포함할 수도 있으며, 편광 요소들의 사용을 요구하지 않는다. 정확하고 반복 가능한 측정을 보장하도록, 광 경로의 환경은 제어된다. 광 경로는 제어된 환경의 챔버를 포함할 수도 있으며, 챔버에서 비흡수성 정화 가스들이 존재하거나 또는 진공 배기 기술들이 이용된다. 제어된 환경은 별도의 계기 챔버와 별도의 샘플 챔버를 추가로 포함할 수도 있다. 제어된 환경은 VUV 광자들의 흡수를 반복 가능한 방식으로 제한한다.

[0025] 또 다른 실시예에서, 진공 자외선 스펙트럼에서 동작하는 분광계 시스템이 제공된다. 보다 상세하게, 진공 자외선 스펙트럼에서 반사율 측정법 기술을 이용하는 시스템은 계측 응용물들에서 사용하기 위해 제공된다. 정확하고 반복 가능한 측정을 보장하도록, 광 경로의 환경은 광 경로에서 존재할 수도 있는 가스들의 흡수 영향들을 제한하도록 제어된다. 여전히 발생할 수도 있는 흡수 영향들을 처리하도록, 광 경로의 길이는 최소화된다. 흡수 영향을 추가적으로 처리하도록, 반사율 데이터는 상대적인 표준에 참조될 수도 있다. 참조물은 낮은 이용 가능한 광자 집속과, 광 경로가 포함된 가스 매체의 구성에 대한 기록된 데이터의 감도로 인하여 VUV 반사율계에서 특히 유익하다. 그러므로, 제어된 환경에서의 변화들에 의해 도입될 수도 있는 에러들이 감소된다. 하나의 예시적인 실시예에서, VUV 반사율계는 근평형 마하젠더 간섭계(near balanced Mach Zehnder interferometer)의 2개의 아암들을 형성하는 샘플 빔과 참조 빔을 생성하도록 빔 분리가 이용되는 기술을 이용할 수도 있다. 또 다른 실시예에서, 참조 채널은 마이컬슨 간섭계(Michelson interferometer)로 구성될 수도 있다.

- [0026] 여전히 또 다른 실시예에서, 진공 자외선 스펙트럼에서 동작하는 분광계 시스템이 제공된다. 보다 상세하게, 진공 자외선 스펙트럼에서 반사율 측정법 기술을 이용하는 시스템은 계측 응용물에서 사용하기 위하여 제공된다. 정확하고 반복 가능한 측정을 보장하도록, 광 경로의 환경은 광 경로에서 존재할 수도 있는 가스들의 흡수 영향들을 제한하도록 제어된다. VUV 반사율계는 반도체 처리 환경에서 광범위한 데이터를 모니터링하도록 이용될 수도 있다. 예를 들어, 기술들은 필름 또는 필름들의 스택의 두께, 광학 특성, 조성, 다공도 및 거칠기를 측정하기 위하여 사용될 수도 있다. 아울러, 이러한 VUV 기술들 및 장치들은 디바이스의 중요한 치수들 및 다른 특성들을 특징화하도록 사용될 수도 있다. VUV 반사율계 시스템은 자립형(stand alone) 공구로서 사용될 수 있으며, 또는 시스템의 비교적 컴팩트한 특성은 시스템이 다른 공정 공구에 통합되는 정도의 이점을 취할 수도 있다. 그러므로, 예를 들어, 본 명세서에 기술된 VUV 기술들은 증착, 에칭, 포토리소그래피 등을 위하여 사용되는 공구에 직접 통합될 수도 있어서, 인라인 측정, 모니터링 및 제어가 유익하게 얻어질 수도 있다.
- [0027] 현재의 본 발명의 목적은 보다 얇은 층들과 신규한 복합 물질들을 통합하는 반도체 디바이스들을 특징화할 수 있는 확실한 계측 공구를 반도체 제조 산업에 제공하는데 있다. 설비의 사용자에게 의하여 채택된 어떠한 맞춤 알고리즘도 2개 이상의 스펙트럼 영역들로 구성된 데이터 세트에 의하여 수여되는 보다 높은 수준의 제한의 완전한 이점을 취하는 것에 의하여 보다 빠른 수렴 및 보다 정확한 결과들을 달성할 수도 있다. 이러한 설비는 비접촉 및 비파괴적이며, 광대역 반사율 데이터의 사용을 만들게 한다.
- [0028] 설비는 제 1 스펙트럼 영역에서 동작하기 위하여 최적화되고 적어도 하나의 다른 스펙트럼 영역에서 만족스럽게 수행할 수 있다. 별개의 스펙트럼 영역에서 사용하기 위한 소스들 및 검출기들의 선택은 그것들의 선택을 허용하는 설비에서의 광학 모듈 내에서 통합된다. 추가적으로, 모듈은 별개의 스펙트럼 영역들에서의 측정이 유사한 스폿 특성들을 사용하여 수집될 수 있도록 인도(delivery) 및 수집 광학 기기들을 포함한다. 더욱이, 본 발명은 직렬의 수집 통로(approach)를 채택하는 것에 의하여, 별개의 스펙트럼 영역들로부터의 데이터는 미광 상태들을 피하도록 연속하여 수집된다.
- [0029] 하나의 실시예에서, 제 1 스펙트럼 영역에서 동작하기 위해 최적화되고 적어도 하나의 다른 스펙트럼 영역에서 잘 수행할 수 있는 분광계 시스템이 제공된다. 시스템은 이동하는 광학 요소(서티와는 별도로)들이 제 1 스펙트럼 영역으로부터 데이터의 수집에서 수반되는 것이 없도록 설계된다. 추가적으로, 시스템은 별도의 스펙트럼 영역들을 위하여 최적화된 선택 가능한 소스들 및 검출기들을 제공하는 광학 모듈을 통합한다. 더욱이, 광학 모듈은 별도의 스펙트럼 영역들에서의 측정들이 유사한 스폿 특성들을 이용하여 수집될 수 있도록 하는 공통의 인도 및 수집 광학 기기들을 제공한다. 모듈은 또한 매우 반복 가능한 결과들이 달성되는 것을 보장하도록 측정된 데이터들을 신속하게 참조하는 수단을 제공한다.
- [0030] 또 다른 실시예에서, VUV에서 동작하기 위하여 최적화되고 DUV-NIR에서 잘 수행할 수 있는 분광계 시스템이 제공된다. 추가적으로, 시스템은 VUV 및 DUV-NIR에서 사용하기 위하여 최적화된 선택 가능한 소스들 및 검출기들을 제공하는 광학 모듈을 통합한다. 더욱이, 광학 모듈은 양쪽의 스펙트럼 영역들에서의 측정들이 유사한 스폿 특성들을 이용하여 수집될 수 있도록 하는 공통의 인도 및 수집 광학 기기들을 제공한다. 모듈은 또한 매우 반복 가능한 결과들을 달성되는 것을 보장하도록 측정된 데이터를 신속하게 참조하는 수단을 제공한다. 모듈은 반복 가능한 방식으로 VUV 광자들의 흡수를 제한하도록 작용하는 VUV 소스, 샘플 챔버 및 VUV 검출기 사이의 제어된 환경을 제공한다. DUV-NIR 파장들에 추가하여 VUV 파장들을 포용하는 광대역 데이터 세트들의 사용은 물질들의 보다 큰 다양성들이 상당히 특징화될 수 있도록 한다. 배열 기본의 검출 설비는 보다 큰 파장의 영역들의 동시 수집을 허용하도록 이용될 수도 있다.
- [0031] 본 발명의 이점들의 특성들의 추가적인 이해는 다음의 상세한 설명 및 첨부된 도면들을 참조하여 실현될 것이다.

실시예

- [0077] 매력적인 응용물들을 위한 광학 계측 설비의 감도를 향상시키도록, 측정이 수행되는 파장의 범위를 확장하는 것이 필요하다. 특히, 진공 자외선(VUV)으로서 언급되는 전자기 스펙트럼의 영역으로 그리고 그 이상 연장하는 보다 짧은 파장(보다 높은 에너지)의 광자들을 이용하는 것이 바람직하다. 역사적으로, VUV (그리고 낮은) 광자들은 표준 대기 조건에서 강하게 흡수된다는 사실에 기인하여, 이러한 파장에서 동작하도록 설계된 광학 설비의 개발에서 비교적 적은 노력을 하였었다. 진공 자외선(VUV) 파장들은 일반적으로 심자외선(DUV) 파장들 보다 작은 파장으로 고려된다. 그러므로, VUV 파장들은 대체로 190nm 이하의 파장으로 고려된다. VUV 범위의 바단 단부에 대한 일반적인 절단은 없지만, 이 분야에서 일부는 VUV를 종료하도록 그리고 극자외선(EUV)을 시작하도록 고

려할 수도 있다(예를 들어 이부는 EUV로서 100nm 이하의 파장을 한정할 수도 있다). 여기에 기술된 원리들이 100nm 이상의 파장에 적용할 수도 있을지라도, 이러한 원리들은 또한 대체로 100nm의 파장에 적용할 수 있다. 그러므로, 여기에 사용되는 바와 같이, 용어 VUV는 약 190nm 이하의 파장을 지시하는 것을 의미하지만, VUV가 보다 낮은 파장을 배제하는 것은 아니다. 그러므로, 본 명세서에 기술된 바와 같이, VUV는 낮은 단부 파장을 배제하지 않고 약 190nm 이하의 파장들을 포용하도록 의미한다. 아울러, 낮은 단부의 VUV는 약 140nm 이하의 파장으로서 이해될 수도 있다.

[0078] 실로, 모든 형태의 물질(고체, 액체 및 기체)들이 VUV 파장에서 더욱 더 강한 광흡수 특성들을 보이는 것은 사실이다. 역설적으로, VUV 광학 계측 기술들로 이용할 수 있는 증가된 감도에 대해 그 자체가 반응할 수 있는 물질의 기본적인 특성보다는 오히려 이것이 동일하다. 이는 공정 조건들에서 작은 변화로서 보다 긴 파장에서의 물질의 광학적 행위에서 검출할 수 없는 변화들을 만드는 것이 따르고, VUV 파장에서의 이러한 물질의 측정 가능한 특성들에서의 상당하고 용이하게 검출 가능한 변화들을 유도할 수 있다.

[0079] VUV 광자들이 대부분의 물질 형태에 의해 강하게 흡수된다는 사실은 VUV에서의 작업을 용이하도록 하기 위하여 종래의 보다 긴 파장의 계측 설비의 단순한 확장 또는 그로의 변형을 불가능하게 한다. 오늘날 공구들은 표준 대기 조건들에서 동작하도록 설계되고, 전형적으로 그 중에서도 이것들의 보다 짧은 파장에서의 동작하기 위해 필요한 제어된 환경이 부족하다. VUV 방사는 O_2 및 H_2O 분자들에 의해 강하게 흡수되고, 그러므로 이것들의 스펙트럼은 설비의 광 경로를 통하여 VUV 광자들의 전송을 허용하도록 충분히 낮은 수주에서 유지되어야만 된다. 이러한 점을 보다 자세히 예시하도록, 표준 대기(도표) 및 1PPM의 O_2 및 H_2O 농도 레벨을 함유하는 제어된 환경의 100cm 경로 길이를 통한 광전송은 도 1에서 광자 파장의 함수로서 점선으로 도시되었다. 도면으로부터 명백한 바와 같이, 표준 대기를 통한 광자들의 전송은 약 200nm보다 강한 파장에서 가파르게 떨어진다.

[0080] 표준 대기 조건들에서 기능하도록 의도된 종래의 광학 설비들만이 아니고, 이것들 또한 이것들을 VUV 동작을 위해 부적합하게 하는 광학 요소들의 배열 및 설계들을 채택한다. 반사율계로 매우 반복 가능한 결과들을 달성하기 위하여, 반사율 데이터가 상대적인 표준에 참조되거나 비교될 수 있게 하는 수단을 제공하는 것이 필요하다. 이러한 방식에 있어서, 시스템이 먼저 교정될 때의 초기와 샘플 측정이 수행된 때의 추후 사이에 발생하는 시스템에 있어서의 변화는 적절하게 처리될 수 있다. 보다 긴 파장에서, 이러한 변화들은 통상 소스의 스펙트럼 출력에서의 강도 변화에 의해 좌우된다. 그런, VUV 파장에서 작업할 때, 환경 조건에서의 변화(즉, 광 경로의 환경에서의 흡수종들의 농도에 있어서의 변화)는 훨씬 많은 역할을 할 수 있다.

[0081] 그러므로, 종래의 보다 긴 파장 시스템들은 흡수 환경이 측정 공정에 있는 상당한 영향을 어드레스하는 것을 실패한다. 정확하고 반복 가능한 반사율 데이터가 얻어지는 것을 보장하는 것만이 아니고, 교정, 측정 및 참조 공정의 모든 상황들 동안 발생하는 흡수 효과들을 추가적으로 보장하도록, 광 경로를 포함하는 환경을 제어하는 수단을 제공하는 것이 필요하다.

[0082] 그러므로, VUV 파장에서 그리고 그 이하에서 동작하도록 설계된 제어된 환경을 광학 계측 공구에 제공하는 것이 필요하다. 아울러, 정확하고 반복 가능한 결과들을 얻어지는 것을 보장하기 위하여, 제어된 환경에서의 변화들에 의해 유도된 에러들을 감소시키거나 함께 제거하도록 작용하는 강인한 참조 방법론을 통합하는 설계가 필요하다.

[0083] 본 발명의 한 실시예를 나타내는 광학 반사율계 계측 공구(200)의 개략도가 도 2에 도시되어 있다. 명백한 것으로서, 소스(210), 빔 조건 모듈(220), 광학 기기(도시되지 않음), 분광계(230), 및 검출기(240)들은 환경적으로 제어된 설비 챔버(202) 내에 포함된다. 샘플(250), 추가 광학 기기(260), 동력화된 스테이지(270, 광 흡수기를 포함할 수도 있다)들은 별개의 환경적으로 제어된 챔버(204)에 수용되어, 설비 챔버 환경의 본질을 오염시킴이 없이 샘플의 로딩 및 언로딩을 가능하게 한다. 설비 및 샘플 챔버들은, 가스의 배출을 발생시키는 것이 필요하면 광자들의 전송을 허용할 수 있는 제어된 커플링 기구(206)를 통하여 연결된다. 예를 들어, 커플링 기구(206)는 광학 윈도우들일 수도 있거나, 광학 전속 경로가 필요할 때 개방하는 게이트 밸브들일 수도 있거나, 또는 광 경로가 2개의 챔버들 사이에서 결합되는 것을 적절하게 허용하는 다른 기구들일 수도 있다. 이러한 방식에 있어서, 설비와 샘플 챔버들 사이에 광 경로가 제공된다. 추가적으로, 제어된 환경 외측에 위치한 프로세서(29)는 수집된 데이터의 적절한 데이터 처리 및/또는 저장을 제공할 수도 있는 다양한 수치 계산 수단중 어떠한 것일 수도 있다.

[0084] 도 2에서 명시적으로 도시되지는 않았지만, 시스템은 자동화된 형태로 샘플들의 로딩 및 언로딩을 돕도록 로봇 및 다른 관련된 기계화된 부품들이 또한 장비되는 것에 의하여, 측정 처리량을 더욱 증가시킬 수 있다는 것을

유의해야 한다. 아울러, 본 발명의 분야에서 공지된 바와 같이, 샘플들을 교환하기 위하여 환경 제어를 항상시키고 시스템 처리량을 증가시키도록 샘플 챔버와 관련하여 시스템 처리량 로드 록킹 챔버들이 또한 이용될 수도 있다.

[0085] 동작시에, 소스(210)로부터의 광 빔은 빔 조건 모듈(220)에 의하여 변경되고, 커플링 기구 윈도우(206)를 통한 인도 광학기기를 경유하여 샘플 챔버(204)에 수용된 샘플(250) 상으로 향하여 초점이 맞추어진다. 샘플로부터 반사된 빔은 커플링 기구(206)를 통해 되돌아 나아가, 수집 광학 기기에 의해 포획되어, 분광계(203)의 진입 평면에 초점이 맞추어진다. 아래에 보다 상세하게 기술되는 바와 같이, 분광계(230)는 하나의 실시예에서 화상 분광계일 수도 있다. 이러한 형태의 분광계는 전형적으로 일정 형태의 다중 요소 검출기(240), 예를 들어 배열 검출기)가 장비되어서, 동시에 일정 범위의 데이터 지점들을 수집할 수 있다. 디바이스의 전체 광 경로는, 흡수종들을 제거하도록 기능하고 VUV 광자들의 전송을 허용하는 제어된 환경 내에서 유지된다. 제어된 환경들은 필요한 가장 낮은 동작 파장에 따라서, 설비 및 샘플 챔버들 내로 고순도 질소, 아르곤, 또는 헬륨과 같은 비흡수 정화 가스를 도입하는 것에 의하여 및/또는 진공을 경유한 배출을 통하여 정화 또는 진공 시스템이 생성될 수도 있다. 고순도 정화 가스가 사용되면, 커플링 기구(206)는 MgF_2 윈도우들로 구성될 수 있는데 반하여, 챔버들이 비워지면, 기계적인 게이트 밸브들이 채택될 수 있다. 다른 잠재적으로 적절한 윈도우 물질들은 용해된 실리카, 불소 도핑 용해 실리카, 수정, CaF, SrF, BaF, MgF_2 , LaF 및 LiF를 포함한다. 진공 기술 및 기계적인 게이트 밸브들의 조합을 이용하는 것에 의하여, 광자들의 흡수가 더욱 증가되는 것을 인식하게 될 것이다.

[0086] 본 발명의 하나의 실시예에서, VUV 소스(210)는 일본국의 하마마츠사에 의해 제조된 Model#L7293 과 같은 긴 코 돌출형(long nose projecting type) 중수소(D2) 램프이다. 이러한 소스는 광대역 VUV 소스이고, 약 115nm(도 3의 도표 300 참조)로 연속적인 발산 하강을 제공하도록 포화 아크 램프 기술과 불화 마그네슘(MgF_2) 윈도우를 결합한다. 그러나, 윈도우는 용해된 실리카, 불소 도핑 용해 실리카, 수정, CaF, SrF, BaF, MgF_2 , LaF 및 LiF를 포함하는 다양한 VUV 물질들로 구성될 수도 있다. 램프의 돌출 디자인은 우수한 방향성을 제공하는 것에 의하여, 반사율계 광학 시스템에 VUV 광자들의 효과적인 결합을 가능하게 한다. D2 아크 램프들은 너무 많은 것을 요구하는 반도체 계측 응용물들에 적합한 고 안정성, 고휘도 및 긴 수명을 제공하는 것에 의하여 특징화된다. 본 발명의 대안적인 실시예들은 115nm 및 그 이하의 파장 하강에서 광자들을 발산하는 협대역 소스 및 윈도우리스 배출 소스를 포함하지만 이에 한정되는 것은 아닌 다양한 다른 VUV 소스트들을 통합할 수도 있다. 예를 들어, 윈도우리스 소스는 차별적으로 펄핑되는 배출 소스일 수도 있다. 그러므로, 본 명세서에 제공되는 시스템과 기술들은 저단 VUV(또는 보다 낮은) 응용물들에 특히 유용하다.

[0087] 도 2를 다시 참조하여, 빔 조건 모듈(220)은 공간적 및/또는 스펙트럼 필터링 요소들의 도입을 위하여 소스 빔의 특성을 변경하는 것을 허용한다. 이러한 기능성은 일반적으로 요구되는 것은 아니지만, 유익한 것으로 판단되는 특정 적용물에 발생할 수도 있다. 예들은 광학 빔 경로에서 다양한 광학 표면들에서 발생할 수도 있는 산란 기구들을 통하여 우수한 VUV 신호들을 보다 긴 파장의 광이 발생시키는 것을 방지하도록 개구의 사용을 통하여 또는 “차양” 필터의 도입을 통하여 소스 빔의 공간적 또는 시간적 응집을 변경시키는 것을 포함한다. 디바이스의 특정 실시예에 있어서, “차양” 필터는 액톤 리서치 코포레이션의 VUV 필터이고, 이것의 전형적인 반사 특성들은 액톤 리서치(Acton Research) 부품 번호 120-VBB 필터에 대한 도표 400 및 액톤 리서치 부품 번호 170-VBB 필터에 대한 도표 410에 의하여 도시된 바와 같이 도 4에 나타나 있다.

[0088] 광학 반사율계 계측 공구(500)의 하나의 실시예의 보다 상세한 도면이 도 5에 제공되며, 디바이스의 측정 및 참조 채널들을 포함하는 광학 기기들이 보다 상세하게 도시되어 있다. 도시되지 않았음에도 불구하고, 광학 반사율계 계측 공구는 정화 또는 진공 시스템(280), 프로세서(290), 스테이지(270)들 도 2에 도시된 부품들을 포함할 수도 있다. 도 5에 도시된 바와 같이, 소스(510), 분광계(530), 및 배열 검출기(540)들은 설비 챔버(530)에 제공될 수도 있다. 샘플 챔버(540)는 커플링 기구(도시되지 않음)를 통하여 설비 챔버(502)에 결합된다.

[0089] 도 5를 다시 참조하여, 샘플 설비에 대한 광 경로가 기술된다. 소스(510)로부터의 광은 미러 1에 의하여 빔 분할기 1을 향하여 조준되고 향하게 되고, 빔 분할기 1에서 소스 빔은 샘플 및 참조 빔 성분(일반적으로 빔(508, 506)으로 각각 지시됨)으로 분할된다. 샘플 빔(508)은 평면 미러 5를 향하여 빔 분할기 1로부터 반사되고, 광은 평면 미러에서 미러 2를 향하여 다시 향하게 된다. 여기에서, 광은 샘플(550)로 하강 조준된다(도면의 평면으로).

[0090] 샘플(55)로부터 반사된 광(도면의 평면으로부터) 조준 광학 기기(미러 3)에 의해 포획되어, 빔 분할기 2를 통하여 초점화 광학 기기, 미러 4를 향하게 된다. 그런 다음, 광은 분광계(530)의 진입 평면 상에 초점이 맞추어진

다. 샘플의 측정동안, 셔터 1 및 2들은 개방하는 한편, 셔터 3은 폐쇄된 상태로 유지된다.

[0091] 하나의 실시예에서, 미러 1, 미러 2, 미러 3 및 미러 4들은 편심 포물 반사기이다; 그러한 것의 한 예는 도 6에서 편심 미러(600)로서 도시된다. 이러한 미러들은 바람직하게 이것들의 제조의 결과 종래의 기술을 이용하여 폴리싱되고, 그런 다음 Al/MgF_2 와 같이 일정 형태의 광대역 반사 코팅제(61)로 덮여진다(일부 제조자들은 미러 상에서 서로 직접 알루미늄과 MgF_2 를 제공하거나 또는 대안적으로 다른 물질의 얇은 층들이 알루미늄 층의 위 또는 아래에 위치될 수도 있다). 추후의 폴리싱은 다이아몬드 회전 공예로부터 일어나는 문제들을 최소화하기 위하여 미러들의 화상 특성들을 개선한다. 광대역 코팅제(610)는 VUV에서 미러들의 반사 특성을 향상시키도록 맞추어진다. 코팅제(610)를 위하여 특히 적합한 코팅제들은 액톤 리서치 컴패니(Acton Research Company)사에 의해 제조된다. 도 7은 액톤 리서치 컴패니에 의해 제조된 코팅제 #1000, #1200, 및 #1600에 대한 반사율 도표를 도시한다. 보다 짧은 파장에서 동작하기 위하여, 이리듐과 같은 다른 코팅제들이 보다 적합하게 될 수도 있다.

[0092] 다른 형태의 미러들이 또한 시스템에 통합될 수 있지만, 편심 포물선 반사기들의 사용은 반사율 데이터가 많은 이점을 산출하는 근직각입사(near-normal incidence) 조명/수집을 사용하여 얻어질 수 있게 한다. 이러한 이점들은 편광 효과들이 무시될 수 있기 때문에 측정된 데이터의 연속적인 분석을 단순화하고, 샘플 상의 측정 영역들의 대칭 조명을 산출하고, 보다 큰 각도의 입사를 사용하여 마주하는 샘플 표면에서의 산란 효과를 최소화하고, 컴팩트한 시스템 설계, 집적 및/또는 인라인 계속 응용물들을 위한 중요한 고려 사항을 용이하게 하는 것을 포함한다. 추가적으로, 어떤 광학 측정들은 근직각 구성의 사용으로부터 그 자체에 이로울 수도 있다. 전형적인 예들은 광파산관계측 방법들 및 관통-펠리클 포토마스크를 사용하는 고 양상 특징들의 치수 특징화를 포함하고, 그러나 이에 한정되는 것은 아니다. 예를 들어, 도 8에 도시되고 종래에 공지된 바와 같이, 반도체 포토리소그래피 마스크 기관(800)은 펠리클(820)에 의하여 돌출되는 막(들)(810)을 가진다. 막(들)(810)관통 펠리클 측정은 근직각 구성의 사용으로부터 이로울 수도 있다.

[0093] 편심 포물경들은 보통 다양한 광학 기기 제조자들에 의하여 제조된다; 이것들은 용이하게 이용 가능하고 비교적 저렴하다. 이것들은 집적 및 정렬에 대해 보다 큰 정도의 자유도를 제공하고, 유사한 응용물에서 사용될 때 원 환체 미러들과 동일한 정도의 비점수차의 문제가 없다.

[0094] 본 발명의 특히 유용한 실시예에 있어서, 하나 이상의 편심 포물경들은 편심 각도(도 6에서 도면부호 6으로 지시됨)가 90° 와 동일하도록 설계된다. 이러한 배열은 상당한 융통성 및 보다 짧은 파장에서의 산란에 대한 감소된 감도를 제공한다(수반된 보다 작은 입사각의 결과). 융통성은 광학 기기의 중앙 광축에 나란한 축을 중심으로 하나의 광학 기기의 회전이 다른 편심 각도들을 처리하는 광학 기기에 대한 3치수 패턴(즉, 원뿔)에 대비되는 것으로서 2차원 패턴(즉, 원)을 정밀하게 표시한다는 사실로부터 따른다. 이러한 특정 기하학적 구성은 다수의 시스템 향상 가능성들 및 이점들을 제공한다.

[0095] 이러한 향상의 하나의 예는 시스템으로 다중 소스들의 간단한 통합을 가능하게 하는 것이다. 다른 소스들은 광학 기기의 중앙 광축에 직각인 축 주위의 적절한 위치들에 배치될 수 있다. 다른 소스를 선택하도록, 축 주위로 광학 기기를 회전시키는 것이 단지 필요하다. 이러한 배열의 또 다른 이점은 설비의 초기 정렬 위상 동안 실현되는 것이다. 직각 입사를 사용하여, 구성은 이것들이 중앙 초점에 직각인 표면에 초점이 맞추어진다는 의미에서, 이것들이 축 상에서 작동하기 때문에 공구의 조명 및 수집 아암들에서의 적절한 정렬의 간단한 치수화를 가능하게 한다. 이러한 것은 보다 양호한 스폿 한정, 그러므로 보다 양호한 전체의 화상 성능이 따른다.

[0096] 도 5를 다시 참조하여, 광이 분광계(530)에 들어가면, 광은 평면 미러(531)에 의해 반사되고, 초점화 미러(532)에 의해 조준되어, 회절격자(533) 상에 입사한다. 그레이팅에 의해 회절된 광의 일부는 제 2 초점화 미러(534)에 의해 수집되어, VUV 광감성 배열 검출기(540)의 표면에 초점이 맞추어진다. 본 발명의 기술분야에서 공지된 바와 같이, 회절격자로부터 반사된 광은 검출기의 폭을 교차하는 파장에 의하여 공간적으로 분리된다. 이러한 특정 실시예에서, 분광계 내에 있는 모든 광학 기기들이 그 효과를 증가시키도록 Al/MgF_2 와 같은 광대역 코팅제로 코팅되었다는 것을 유의해야 한다. 이상적으로, 분광계는 Chromex Instruments사에 의해 제조된 250이고 작은 경우에 큰면적의 평탄 영역에서 무비점 수차를 제공하는 방식으로 설계되는 화상 분광계이다(미합중국 특허 제4932768호 참조). 이러한 분고아기들은 전형적으로 검출기 요소에 의한 동시 검출을 위하여 광범위한 다중 파장들이 분광계들을 빠져나가도록 한다(빠져나가는 광을 단일 파장으로 구속하도록 시도하는 일부 형태의 분광계들에 대비되는 것으로서). 전형적으로, 이러한 분광계들은 이동 가능한 회절격자가 변화하는 파장에서의 데이터를 발생시키도록 요구되지 않기 때문에, 고정된 회절격자를 이용한다. 화상 분광계는 배열 검출기와 조합하여 이용될 수도 있어서, 분광계를 빠져 나가는 다중 파장들은 배열 검출기의 폭을 교차하여 퍼질 수도 있다.

검출기의 폭을 교차하는 컬럼들은 상이한 파장의 광으로 나타난다. 화상 분광계들의 내부 요소들은 다중 파장들이 충분히 결정되어서 배열 검출기가 다양한 파장들에 대한 데이터를 정확하게 얻을 수 있도록 설계될 수 있다.

[0097] 덧붙여, 회절격자들이 짧은 파장들에서의 광 스케터링으로부터 따른 미광을 최소화하도록 홀로그래픽 이온 에칭 형태의 것이면 바람직하다. 본 발명의 대안적인 실시예는 또한 프랑스공화국의 Jobin-Yvon사에 의해 제조된 바와 같은 비주기형 원환체 회절격자, 또는 캐나다 연방공화국의 Resonance Ltd.사에 의해 제조된 로울랜드(Rowland) 원형 구성들, 또는 미합중국의 Catalina Scientific Corp.사에 의해 제조된 것들과 같은 에셀렛 격자(Echelette) 구성들을 포함하는 다른 형태의 VUV 분광계를 통합할 수 있다. 아울러, 이용되는 회절격자는 이동 가능할 필요는 없으며 오히려 고정된 회절격자로서 충족될 수도 있다.

[0098] 어떤 수자의 VUV 광감성 배열 검출기가 본 발명과 함께 사용될지라도, VUV 광자들의 효율적인 전환을 제공하는 한편 넓은 동적 범위를 제공하는 검출기를 사용하는 것이 바람직하다. 후면 약화(Back-thinned), 후면 조명(back-illuminated), 코팅되지 않은 고체촬상소자(CCD)들은, 이것들이 고감도를 제공하고 이것들의 인광성 물질 코팅 전면 조명으로 대우에 의하여 마주치는 것으로서 폴리-Si 게이트에서의 VUV 광자들의 흡수로 인한 손실을 피함으로써 이러한 응용물에 특히 적합하다. 코팅되지 않은 디바이스들은 일반적으로 이것들이 가진 반반사층(anti-reflection layer)들보다 넓은 범위의 파장 이상 양호하게 실행하는 것이 예상된다. 사용될 수도 있는 것과 다른 형태의 배열 검출기는 표준형 CCD 또는 포토다이오드 배열(PDA)에 결합된 마이크로 채널 플레이트 검출기이다. 이 응용물에 적합한 마이크로 채널 플레이트 검출기들중 하나는 미합중국의 Burle Industries, Inc.사에 의해 제조된다. 대안적으로, 정면 조명된 CCD 또는 포토다이오드 배열들은, 이것들이 짧은 파장의 광자들을 흡수하고 디바이스들과 함께 효과적으로 수집될 수 있는 보다 긴 파장의 광자들을 재 발산하는 인광성 물질 코팅제가 구비되면 독자적으로 사용될 수 있다.

[0099] 또 다른 양태의 배열 검출기(540)는, 측정된 신호를 마스킹하고 낮은 광자 레벨들이 퍼지는 경우에 시스템 정확도에 나쁜 영향을 미칠 수 있는 다크 카운트(dark counts, 즉 열적으로 발생된 캐리어)들을 감소시키도록 낮은 온도(0℃ 이하)로 냉각될 수 있는 것이다. 검출기를 냉각시키기 위하여, 디바이스에서 응축 가능한 종들이 쌓이는 것을 방지하도록 기밀 밀봉된 챔버에서 이를 캡슐화하는 것이 필요하다. 이러한 것은 통상 VUV 광자들이 통과하는 것을 허용하는 MgF_2 윈도우가 밀봉된 진공 챔버에서 디바이스를 장착하는 것에 의하여 달성된다. 보다 짧은 파장(통상적으로 약 115nm 이하, MgF_2 를 위한 전송 컷오프)에서의 동작을 위하여, 보호성 윈도우는 제어된 환경이 비흡수성 정화가스보다는 오히려 진공의 것일 수 있음에 따라서 제거될 수 있다. 특히 적합한 검출기(모델 # DV-420-BN)는 북아일랜드의 Andor Technology사에 의해 제조된다. 이러한 특정 검출기는 26.6mm의 폭, 6.7mm의 높이를 가지는 배열 검출기이다. 이러한 검출기는 행렬로 배열되는 픽셀들의 배열로 형성된다. 이러한 예에서, 전형적인 픽셀은 10미크론의 차수(order)의 보다 작은 해상도를 가진 검출기가 전형적으로 이용될 수 있을지라도 폭 및 높이에 있어서 26미크론일 수도 있다.

[0100] 패턴화된 샘플들에서의 별개의 측정 위치들의 선택에 있어서 도움이 되도록, 선택적인 카메라 시스템(565, 즉 필요한 초점화 요소들에 더한 카메라)이 채택될 수 있다. 반사율계 장치로 이러한 시스템을 집적하는 수많은 방식이 있지만, 하나의 가능한 방법은 샘플 채널(508)을 통과하여 빔 분할기 2로부터 반사한 빔을 포획하도록 이를 사용하는 것이다. 이러한 방식으로 이용될 때, 카메라 시스템(565)은 샘플 채널(508)이 사용되는 어느 시점(즉, 셔터 1이 개방될 때)에도 상들을 수집하도록 사용될 수 있다. 대안적으로, 플립인 미러가 카메라로 샘플 빔의 일부(샘플로부터 반사 후에)를 일시적으로 방향을 바꾸도록 카메라 시스템에 추가될 수 있다. 끝으로, 샘플 상의 상들 및 위치 특정 특징들을 취득하기 위하여, 반사율계의 별개의 조명 및/또는 수집 대한 광학 기기의 도입의 선택이 있다.

[0101] 배열 기본의 검출기와 조합하여 화상 스펙트럼 사진기의 사용은 전체 스펙트럼이 종래의 스캐닝 단색광기 및 단일 요소 검출 장치보다 훨씬 빠르고 높은 정도의 정확도(이동하는 부분이 없음으로 인하여)로 수집될 수 있도록 한다. 아울러, 이는 고품질의 화상 반사율 측정법을 가능하게 하여, 샘플에서의 작은 영역으로부터의 데이터가 용이하게 수집되고 공간적으로 분석되는 것을 허용한다. 이러한 것은 측정이 단지 블랭킷 "테스트" 기관들 또는 웨이퍼들 상에서만 아니라 실제의 패턴화된 제조 샘플들에서 실행되는 것을 허용한다.

[0102] 도 9는 이러한 다중 측정이 달성되는 형태를 도시한다. 이러한 기술들은 2차원 배열 검출기인 선택된 검출기의 이점을 취한다. 그러므로, 예를 들어, 도 5에 대하여, 배열 검출기(540)는 2차원 배열 검출기일 수도 있다. 도 9의 좌측은 4개의 직사각형 구조물(900)들이 형성된 패턴화된 샘플(550)의 일부를 나타낸다. 예를 들어, 이러한 구조물(900)들은 반도체 웨이퍼들 상에 형성된 패턴화된 폴리실리콘 구조물, 금속 구조물 또는 다른 구조물들과 같이 반도체 기관 상에 형성될 수도 있다. 구조물(900)들은 반도체 기관의 패턴화되지 않은 영역에 의하여 둘러

싸일 수도 있다(도시된 구조물은 단지 본 발명의 이해를 돕기 위한 예이며, 샘플의 부분들 또는 구조물들은 명세서에 기술된 바와 같이 동시의 다중 측정될 수도 있다). 분광계의 입구 슬릿에 영상화된 공간적 영역을 한정하는 세로의 직사각형(920)은 샘플의 중간의 두 특징들에 겹쳐진다. 상당히 큰 영역이 샘플에서 실제적으로 조명될 수도 있지만, 특정된 면적으로부터 반사된 광만이 분광계에 의해 수집되어 검출기에 의해 기록되게 된다. 이 영역의 폭과 높이는 선택된 지지 수집 및 조명 광학 기구들과 조합하여 분광계 입구 슬릿의 슬릿 폭(930) 및 슬릿 높이(940)의 함수이다. 예시적인 슬릿들은 20 내지 30미크론의 차수에 있는 폭을 가지며, 1cm의 차수에 있는 높이를 가진다. 도 9의 예로 도시된 바와 같이, 샘플 및 슬릿은 행렬로 형성되는 것으로 고려될 수도 있다(열은 열(950)들과 같이 도면의 좌측으로부터 우측까지이고, 행은 도면의 상부로부터 하부까지이다). 분광계의 입구 슬릿을 통과한 샘플로부터의 정보는 회절격자에 의해 회절되고, 배열 검출기에 표현된다. 샘플의 열 정보는 검출기에서 열들로 정확하게 표현되지만, 행 정보는 회절격자가 행 정보를 분산시킴에 따라서 표현되지 않아서, 모든 행들로부터 기원하는 주어진 파장 성분들은 검출기에서 단일의 행으로 표현된다. 그 결과, 샘플에서의 상이한 상하 위치들(즉, 열들)에 대응하는 데이터는 검출기의 상이한 상하 위치들(열들)에 영상화된다.

[0103] 검출기가 직렬의 픽셀 열들(전형적으로 256, 512 또는 1024)로 구성됨으로써, 픽셀의 각 열은 패턴화된 샘플 상의 상이한 별개의 위치들에 대응하는 데이터를 기록하게 된다. 이러한 지점은 샘플(550) 상의 5개의 별개의 열 위치(950)들로부터 수집된 반사율 스펙트럼 도표(960)들을 나타내는 도 9의 우측에 도시된다. 그러므로, 샘플 정보의 어느 주어진 열 위치(950)들에 대하여, 일정 범위의 파장들에 대한 스펙트럼 도표가 얻어질 수도 있다. 더욱이, 배열 검출기는 별개의 다중 열 위치(950)들로부터 정보를 동시에 수집할 수도 있다. 그러므로, 다중 파장들을 위한 그리고 다중 열 위치들을 위한 데이터들이 동시에 수집될 수도 있다. 검출될 수도 있는 샘플 위치들의 개개의 열들의 해상도는 배열 검출기에서 이용되는 픽셀 높이에 따라 좌우된다. 수집 및 조명 광학 기구의 선택 및/또는 조정을 통하여, 입구 슬릿 폭 및 검출기 비닝(binning) 구성들, 다양한 사이즈의 측정 위치들의 범위가 달성될 수도 있다. 이러한 형태에 있어서, 샘플의 2차원 영역이 광 경로에 의해 조명될 수도 있으며, 2차원 영역으로부터의 데이터는 2차원 배열 검출기 상에 기록될 수도 있다. 도 9의 스펙트럼 도표(960)에 도시된 바와 같이, 이러한 기술들은 샘플 구조(900)를 특징화하도록 및/또는 샘플의 패턴화되지 않은 영역들로부터 샘플 구조(900)들을 구별하도록 이용될 수도 있다. 덧붙여, 슬릿 폭이 샘플 구조(900) 위에 단지 주어진 열을 묘사하여 도시되었을지라도, 샘플은 이동될 수 있어서(도면에서 좌측 또는 우측), 슬릿 폭의 주어진 열은 패턴화 및 패턴화되지 않은 영역들에 겹치므로, 양 영역들의 조합을 나타내는 데이터를 제공한다.

[0104] 주어진 국부화된 영역 내에서의 다수의 별개의 위치들로부터 데이터를 동시에 수집하는 능력은 종래의 설비에서의 위치 당 측정시간의 상당한 부분이 샘플 배치로부터 따르기 때문에(즉, 측정 위치로의 샘플 위치의 정확한 조정 및 위치 선정) 측정 처리량에 관하여 이점을 제공한다. 추가적으로, 이러한 독특한 능력은 또한 밀접하게 분리된 위치들 사이에서의 비교 측정들이 관심이 있는 응용물에서의 유용성을 입증할 수도 있다. 전형적인 예들은 화학적 기계적 폴리싱 응용물에 관한 디싱(dishing) 및 부식을 포함하지만, 이에 한정되는 것은 아니다. 그러므로, 샘플의 이동과 관련하여 수행되는 별도의 다중 측정들을 취하여만 하는 것보다는 오히려, 단일 측정이 샘플의 2차원 영역에서의 다중 위치들에 관계하는 데이터를 되돌릴 수도 있다. 이러한 기술들에 있어서, 광학 요소(미러들, 빔 분할기 등과 같은)들의 품질은 2차원 측정이 이용되지 않는 응용물들과 비교하여 보다 큰 왜곡이 없는 영역들이 제공되도록 하여야만 되는 것을 인식할 수 있을 것이다. 그러므로, 본 발명에서 제공되는 광학 VUV 반사율계 시스템은 또한 2차원 반사율계 시스템으로서 하나의 실시예에서 특징화될 수도 있다. 이러한 2차원 데이터 수집의 많은 사용들이 상기된 바와 같은 카메라 요소와 함께 유익하게 이용될 수 있어서, 분석되는 2차원 샘플의 패턴 인식이 발생할 수도 있다는 것을 인식하게 될 것이다.

[0105] 본 명세서에서 기술된 시스템들과 기술들은 특히 고속 측정이 필요한 응용물에서 사용하는데 특히 유리하다. 주어진 국부화된 영역 내의 다수의 별개의 위치들로부터 데이터를 얻을 수 있는 능력에 더하여, 이러한 측정들이 이동 가능한 회절격자들을 이용하는 느린 단계 및 스캔 기술들을 필요로 하지 않고 얻어질 수도 있다.

[0106] 초기에 논의된 흡수 문제의 결과로서, 작은 환경적 혼란은 VUV 파장에서의 측정된 데이터에 상당히 크게 영향을 줄 수 있다. 이러한 라인들을 따라서, 측정 공정 동안 발행하는 환경 변화로부터 따르는 유해한 효과를 최소화하기 위하여 짧은 시간에 측정을 실행할 수 있는 장치들을 제공하는 것이 필요하다. 더욱이, 측정된 데이터가 데이터의 표준화의 공정을 위하여 공지된 표준에 참조될 수 있도록 하는 수단을 제공하는 것이 필요하다. 추가적으로, 참조 수단은, 교정 측정의 종결 및 연속적인 샘플 측정의 개시 사이에 발생할 수도 있는 데이터 변경 환경적 변화에 의하여 도입되는 에러들을 더욱 최소화 및/또는 완전히 제거하도록 하여야만 된다.

[0107] 참조는 시스템에서의 변화(즉, 소스의 출력, 환경적 조건 등)들이 적절하게 고려되고 부정확한 데이터가 따르지 않는 것을 보장하는 것이 필요하다. 어떠한 파장 상황에서도 반사율 측정 결과들의 안정성을 보장하는 것이 필

수적이지만, 참조는 보다 낮은 이용 가능한 광자집속 및 광 경로 내에 포함된 가스 매체의 조성에 대한 기록된 데이터의 강화된 감도로 인하여 VUV에서 동작하였을 때 보다 중요한 것이다.

[0108] 도 5를 다시 참조하여, 본 명세서에 기술된 VUV 장치에 있어서, 데이터 참조는 참조 빔 채널(506)의 사용을 통하여 달성된다. 명세서에 상세하게 기술된 바와 같이, 참조 빔 채널이 소스 빔 채널(508)로서 평형화되는(또는 샘플 빔 길이의) 것이 필요하다. 도 5에 도시된 이러한 참조 빔 채널(506)은 빔 채널이 샘플 및 참조 성분들로 분할됨에 따라서 빔 분할기 1에서 생성된다. 이러한 빔은 빔 분할기를 통해 전송되어, 미러 9로부터 반사되기 전에 미러 6, 7 및 8로부터 반사된다. 빔은 그런 다음 초기에 샘플 빔 채널(508)에 대해 기술된 바와 같이 검출기로의 동일한 경로를 따르도록 빔 분할기 2로부터 반사한다. 제어 가능한 개구들이 참조 빔 채널 및 샘플 빔 채널을 선택적으로 이용 또는 무력화하도록 이용될 수도 있다. 예를 들어, 개구들은 제어 가능한 광학 셔터들로부터 형성될 수도 있다. 참조 측정 셔터 1이 폐쇄되는 동안, 셔터 2 및 3들은 개방을 유지한다.

[0109] 빔 분할기 1로부터 빔 분할기 2로 샘플 및 참조 빔들에 의해 수행되는 광 경로들이 정확하게 조정되어서, 경로들이 길이에 있어서 거의 동일하면, 경로들은 근평형 마하젠더 간섭계의 2개의 아암들을 형성한다는 것이 본 발명의 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게는 자명하게 될 것이다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 다른 간섭계 설계물들을 통합하는 다른 많은 등가의 장치들이 존재한다는 것은 또한 자명하다. 이러한 대안적인 실시예의 예가 도 10에 도시되어 있으며, 마이컬슨 간섭계는 그 설계물에 통합된다. 도시되지는 않았을지라도, 커플링 기구, 카메라, 정화 또는 진공 시스템, 프로세서 등과 같은 도 2 또는 도 5의 시스템의 다른 요소들은 도 10의 시스템의 사용으로 통합될 수도 있다. 도 10의 장치에 있어서, 소스(1010)로부터의 광은 미러 1에 의해 조준되어 샘플 빔(1030) 및 참조 빔(1040)들이 분할되는 빔 분할기(102)를 향하게 된다. 샘플 빔(1030)은 셔터 1을 통하여 수행하여, 편심 포물선 반사기(미러 2)에 의하여 샘플(1050)에 초점이 맞추어진다. 샘플로부터의 광은 동일한 광학 기구에 의해 포획되어, 그것의 본래 경로를 따라서 되돌아 수행한다. 빔은 그런 다음 빔 분할기(1020)를 통하여 수행하여 또 다른 편심 포물선 반사기(미러 3)에 의하여 분광계(1070)의 입구 슬릿(1060)에 초점이 맞추어지고, 최종적으로 배열 검출기(1080)를 향하게 된다. 샘플 측정 셔터 1 및 2들이 개방되는 동안, 셔터 3은 폐쇄된 상태를 유지한다.

[0110] 참조 측정동안, 참조 빔(1040)은 미러 4에 의해 그 경로를 따라서 되돌아 반사되기 전에 빔 분할기(1020) 및 셔터 3을 통과한다. 그런 다음, 빔은 빔 분할기(1020)로부터 반사하여 샘플 빔과 유사한 형태로 간섭계(1070)의 입구 슬릿(1060)에 초점이 맞추어진다. 참조 측정동안, 셔터 2 및 3들은 개방하지만, 셔터 1은 폐쇄된 상태를 유지한다.

[0111] 이러한 참조 구성의 이점은 다음과 같이 기술된다. 흡수 대기의 종(species)들로 인한 VUV 광자들의 감쇠가 광 경로의 함수임으로써(보다 긴 경로, 보다 흡수하는 분자들이 마주침으로써), 그리고 의존관계(dependence)가 특성에 있어서 비선형임으로써, 유사한 감쇠 효과들이 각 빔에 의하여 마주치면, 샘플 및 참조 아암들은 실질적으로 동일한 길이의 것이어야 한다. 이러한 것이 용기가 아니면, 아암들은 상이한 길이의 것이고, 교정 측정 후의 어느 시점에서 취해진 데이터는 단지 그 환경에서의 흡수 종들의 농도가 교정 측정이 수행되었을 때 존재하는 것과 정확하게 동일한 경우에만 정확하게 된다. 이러한 조건을 보장하는 것이 실제로 불가능함으로써, 샘플 및 참조 경로 길이들이 동일하지 않으면, 정확한 결과들이 얻어질 수 있는 것이 상당히 불가능하게 된다.

[0112] 아래에 보다 상세하게 기술된 바와 같이, 참조 빔을 제공하는 것은 측정을 위하여 광학 반사율계 시스템의 조건을 지시하는 것이 얻어지도록 허용한다. 예를 들어, 광학 반사율계 시스템 내에서의 흡수 가스의 존재는 특정 샘플로부터 얻어진 데이터에 크게 영향을 미칠 수 있다. 참조 빔 채널은 환경 또는 다른 시스템 조건들의 지시인 기구를 제공한다. 참조 채널로부터 얻어진 데이터는 그런 다음 샘플로부터 얻어진 데이터를 조정 또는 보정하도록 이용될 수도 있다. 그러므로, 광 경로의 환경 조건들을 지시하는 기구를 제공하도록 참조 빔의 사용은 광학 계측 시스템으로부터 얻어진 데이터로 만들어진 계산에 있어서 증가된 정확도를 준비한다. 아울러, 참조 빔의 사용은 적절한 샘플 데이터가 광범위한 환경 조건들에 걸쳐서 얻어지도록 허용하고, 그러므로, 특히 보다 낮은 파장 측정을 위한 환경 참조들을 완하시킨다.

[0113] 아주 정확한 참조 데이터가 얻어지는 것을 보장하는 것에 더하여, 채널 장치는 또한 다수의 다른 직접적인 이점들을 제공한다. 먼저, 참조하는 의도는 그 이상 확실하고 정확한 데이터들이 얻어질 수 있는 수용 가능한 환경적 동작 조건들의 범위를 확장한다. 아주 단순하게, 흡수 종들의 농도가 VUV 광자들의 측정 가능한 소량을 소스에 남기는 것을 허용하여, 샘플로부터 반사하여 검출기에 도달하기에 충분히 낮은 한, 정확한 측정이 실행될 수 있다. 이러한 것은 제어된 환경에서의 필요 조건들을 감소시키고 가능한 넓은 범위의 조건들 이상의 데이터 수집을 만든다. 본질에 있어서, 참조 방법은 정확한 측정들이 재생 가능한 환경들에 대비되는 것으로서 적절하고

넓은 범위에 걸쳐서 실행될 수 있도록 한다. 더욱이, 여기에 기술된 간섭계들은 채널들의 경로 길이들을 평형화할 뿐만 아니라, 검출기에 의해 보여지는 스펙트럼 강도 프로파일들을 평형화하도록 작용한다. 이것은 보다 긴 집적 시간들을 준비하고 검출기에 대해 고유한 것일 수도 있는 어떠한 비선형의 효과들을 완화하는 것을 도움으로써 중요한 것이다.

[0114] 본 발명의 여전히 또 다른 실시예에 있어서, 샘플 그 자체 외에, 실제로 모든 광학 요소들은 설비 챔버 내에 수용된다. 도 11에 도시된 이러한 구성은 샘플 챔버의 공간적 필요조건들을 상당히 감소시키고, 집적화된 공정 제어 응용물들에 이를 잘 적합하게 한다. 도 11에 도시된 바와 같이, 광학 반사율계 계측 공구(1100)가 제공된다. 소스(1110), 분광계(1170) 및 배열 검출기(1180)들은 설비 챔버(1102) 내에 제공된다. 또한, 샘플 빔 경로 및 참조 빔 경로의 모든 광학 요소들은 설비 챔버 내에 제공된다. 그러므로, 미러 1-6들 및 셔터 1-3들은 설비 챔버(1102) 내에 모두 위치된다. 미러 2는 커플링 기구(1106)를 통하여 샘플 챔버(1104)로 하강(도면의 평면으로)하여 빔의 초점을 맞춘다. 샘플(1150)로부터, 샘플 빔은 그런 다음 커플링 기구를 통하여 미러 3으로 주행한다(도면의 평면으로부터). 도 11에 도시된 바와 같이, 참조 빔 경로는 2개의 커플링 기구(1105A, 윈도우 또는 게이트 밸브들과 같이)를 통과하고, 커플링 기구들은 설비 챔버(1102)로부터 샘플 챔버(1104)로 그리고 다시 설비 챔버(1102)로의 반사 빔을 결합한다. 이러한 방식에 있어서, 참조 빔은 샘플 빔으로서만 샘플 챔버의 환경에 있게 된다. 이상적으로, 참조 빔이 샘플 챔버(1104)에서 주행하는 거리는 샘플 빔이 샘플 챔버에서 주행하는 거리와 일치하게 된다. 아울러, 참조 빔이 샘플 빔의 두 배인 커플링 기구를 통과한다는 것을 유의해야 한다. 그러므로, 참조 빔의 광 경로는 샘플 빔의 조건들을 밀접하게 모방하도록 설계된다. 이러한 방식으로, 참조 빔과 샘플 빔의 광 경로들은 설비 챔버와 샘플 챔버에 있는 개개의 경로들에 대하여 전체적으로 유사하다. 도 11에 도시된 경로 및 커플링 기구의 장치는 예시적인 것이고, 다른 경로들 및 장치들이 이용될 수 있는 한편, 여전히 상기된 이점을 달성한다.

[0115] 도 11a는 도 11에서 미러 2,3들을 수용하는 설비 챔버(1102), 커플링 기구(1106), 및 샘플(1150)을 수용하는 샘플 챔버(1104)를 도시한다. 도 11a에 도시된 바와 같이, 샘플 빔(1107) 및 참조 빔(1109)들은 샘플 챔버(1104)를 통과한다. 비록 덜 필요할지라도, 시스템은 참조 빔이 샘플 빔을 통과할 수 없도록 구성될 수도 있다. 이러한 구성은 예를 들어 초기의 교정 시간 및 나중의 샘플 측정 시간에 대하여, 샘플 챔버에서 샘플 빔에 의해 주행된 경로 길이가 충분히 짧을 때 그리고 샘플 챔버에서의 흡수 종들의 농도가 충분히 잘 제어되는 경우에 이용될 수 있어서, 이러한 구성에 의해 도입된 에러들은 수용 가능한 에러 허용 범위 내에 있다. 이러한 경우에, 참조 빔은 참조 빔과 샘플 빔이 설비 챔버에서 동일한 광학 거리를 주행하도록 구성될 수도 있다. 참조 빔이 단지 설비 챔버에서 주행함으로써, 전체 빔 경로는 상당히 더 짧아진다. 이러한 방식에 있어서, 2개의 빔들이 처하는 환경은 여전히 일치된다(샘플 챔버에서의 경로 길이에 관한 것 외에). 이러한 조건은 샘플 챔버가 고품질 비흡수 가스로 정화되거나 또는 고진공 환경을 이용하여 비워지는 경우에 실현될 수도 있다.

[0116] 도 11 및 도 11a의 시스템들은 단독 공구로서 이용될 수 있거나 다른 공정 공구와 통합될 수도 있다. 하나의 실시예에서, 도 11a의 시스템은 공정 공구와 계측 공구 샘플 챔버 사이에 샘플의 운반을 준비하는 일부 기구가 공정 공구에 단지 부착될 수도 있다. 그러나, 도 11b는 공정 공구가 광학 반사율계 계측 공구를 통합하기 위한 대안적인 방법을 도시한다. 도 11b에 도시된 바와 같이, 설비 챔버(1102)는 커플링 기구(1106)에 결합된다. 커플링 기구(1106)는 예를 들어 윈도우일 수도 있다. 이러한 경우에, 커플링 기구(1106)는 공정 공구(1005)에 형성되는 게이트 밸브 또는 공정 공구(1105)의 환경을 샘플 챔버(1104)와 공유되는 것을 허용하는 다른 어떤 기구일 수도 있다. 도 11b에 도시된 바와 같이, 샘플(1150)이 공정 공구의 영역(1175) 내에 수용되기 보다는 오히려, 샘플(1150)은 공정 공구의 환경을 떠날 필요가 없다. 영역(1175)은 공정 공구 내에 있는 공정 챔버, 운반 영역 또는 다른 영역일 수 있다. 도시된 예에서, 커플링 기구(1106, 게이트 밸브와 같은)가 개방될 때, 영역(1175)과 샘플 챔버(1104) 사이의 환경은 공유된다(비록 샘플 챔버로 불릴지라도, 샘플 챔버(1104)는 샘플을 결코 수용하지 않으며, 오히려 샘플을 수용하는 영역이 공유되는 환경을 가진다). 대안적으로, 커플링 기구를 개방하는 것은 영역(1175)을 포함하도록 샘플 챔버(1104)를 효과적으로 확장하도록 고려될 수도 있다. 이러한 방식으로, 흡수 종들의 농도와 같은 환경 조건들은 영역(1175)과 샘플 챔버(1104) 사이와 유사할 수도 있다. 참조 빔(1109)과 샘플 빔(1107)을 위한 빔 경로들은 영역(1175) 및 샘플 챔버(1104)의 공통의 환경 내에서의 유사한 길이의 것으로 다시 설계될 수도 있다. 도 11b의 기구는 또한 집적이 게이트 밸브와 같은 단일의 간단한 커플링 기구를 제공하는 것에 의하여 샘플 공구로 달성될 수도 있다는 이점이 있다. 상기된 바와 같이, 영역(1175) 내의 환경이 밀접하게 제어될 수 있으면, 샘플 챔버와 영역(1175) 사이의 환경을 공유함이 없이 수용 가능한 에러 허용 범위 내에서 측정을 달성하는 것이 가능하다. 이러한 경우에, 커플링 기구(1106)는 윈도우일 수도 있으며, 계측 공구는 샘플 챔버(1104)를 필요로 하지 않게 된다.

- [0117] 도 11b의 공정 공구(1105)는 예를 들어 증착 공정 공구, 에칭 공정 공구, 포토리소그래피 공정 공구, 평탄화 공정 공구와 같은 어떠한 형태의 샘플 공정 기구일 수도 있다. 이러한 장치에 있어서, 샘플은 공정 공구(1105) 내에 수용될 수도 있다. 공정 공구는 커플링 기구(1106)을 통하여 빔에 의해 접근될 수도 있는 광 경로에 위치되는 샘플을 수용할 수도 있다. 샘플은 계속 측정을 위하여 사용하기 위해 전용되는 공정 공구 샘플 챔버에 위치되거나 또는 공정 공구의 어떤 다른 영역 내에 위치될 수도 있다. 도 11b의 구성에 있어서, 광학 반사율계 계측 공구(1100)은 커플링 기구(1106)을 가지는 공정 공구(1105)에 연결될 수도 있는 설비 챔버(1102, 및 관련된 요소들)로 구성되는 유닛 상에 별도의 추가물일 수도 있다. 도 11b의 구성은 공정 공구 제조 요구가 공구 자체 내에 상당한 계측 요소들을 통합하여야만 됨이 없이 공정 공구 상에 단지 커플링 기구를 제공하기 때문에 다양한 공정 공구들과 사용하는데 용이하게 적응할 수 있다.
- [0118] 도 11, 도 11a 및 도 11b의 장치들과 함께, 샘플 챔버 내에 있는 광 경로 길이는 설비 챔버 내에 동봉된 것과 비교하여 아주 짧은 수 있다. 바람직한 실시예에서, 샘플 챔버에서의 광 경로는 미크론의 범위 내에서 짧을 수 있다. 대안적으로, 공정 공구의 설계를 용이하게 하도록, 경로는 수백 cm의 범위로 훨씬 길게 될 수 있다. 그러나, 광 경로가 길면 길수록, 흡수 특징들의 존재를 최소화하도록 이것을 보다 필요로 하며, 그러므로, 샘플 챔버 위에 배치된 환경적 요구들을 증가시킨다. 짧은 광 경로가 이용되면, 샘플 챔버 환경의 품질 상의 필요조건들이 감소되는 것에 의하여, 정작 시간을 감소시키고 샘플 처리량을 증가시킨다. 광학 표면들이 샘플 챔버의 순환 환경에 잔류하였다면, 연속적으로 유지되는 설비 챔버 내에 수용된 광학 표면들이 오염에 덜 민감함으로써 추가의 이점이 발생한다. 도 11에 예시적으로 도시되지 않았지만, 참조 및 샘플 빔들의 광 경로 길이들은 샘플 챔버 자체의 사려깊은 설계를 통하거나, 샘플의 다른 어떤 조정 또는 위치 선정 수단에 의하여, 또는 샘플 및 설비 챔버들 사이의 하나 이상의 커플링 기구들에 의하여 거의 동일하다.
- [0119] 도 11, 도 11a 및 도 11b는 감소된 사이즈의 샘플 챔버의 사용을 도시한다. 그러한 모든 특징들 또는 요소들이 도면에 도시되지 않았을지라도, 도 2, 도 5, 도 11, 도 11a 및/또는 도 11b의 다른 특징들 및 요소들이 서로 교환될 수도 있다는 것을 다시 인식할 수 있을 것이다. 그러므로, 예를 들어, 도 11의 광학 반사율계 계측 공구는 카메라, 정화 또는 진공 시스템, 프로세서, 마이컬슨 간섭계 설계물 등을 이용할 수도 있으며, 어느 특정 도면에 도시된 시스템이 단지 예시된 그것들의 요소들 또는 도시된 바와 같은 요소들의 배열과 함께 사용하는 것으로 한정되지 않는다.
- [0120] 디바이스에 채택된 빔 분할기들은 다양한 설계의 것일 수 있다. 예를 들어, 빔 분할기들은 전체 빔 지름을 감추거나 또는 전체 빔 지름의 일부를 감추는 완전히 반사하는 미러들인 부분 전송 빔 분할기들이다. 15nm 이상의 파장에서 동작이 필요하고 VUV 광자집속이 충분하면, MgF_2 기판을 채택하는 종래의 박막 간섭 빔 분할기가 이용될 수 있다. 특히 이러한 응용물에 적합한 빔 분할기는 액톤 리서치 코포레이션사에 의해 제조된다(모델 VUVBS-45-MF-2D). 이러한 빔 분할기에 대한 전형적인 반사 및 전송 특성들은 도표(1310, 1320)들로서 도 13에 도시되었다. 도표(1310, 1320)들은 각각 파장의 함수로서 45° 에서의 반사율(%) 및 45° 에서의 전송율(%)을 나타낸다. 115nm 이하의 파장에서의 동작이 필요하거나 또는 광자 레벨이 충분히 낮다면, 공간 빔 분할기(광 경로를 양분하는 전체적 반사 미러) 또는 미러에 있는 플립(미러들에 있는 플립으로 빔 분할기 1 및 2를 교체하고 서터 1 및 2들을 제거)이 사용될 수 있다.
- [0121] 도 5에 도시된 바와 같이 예를 들어 샘플 아암에서의 경로 길이를 밀접하게 평행하게 하도록 미러 6, 7 및 8들이 반사 아암에서의 경로 길이를 조정하는 수단을 제공한다. 본 발명의 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 이러한 목적을 달성하기 위하여 많은 대안 수단이 존재한다는 것을 인식할 것이다. 예를 들어, 미러 7 및 8이 없는 도 11에 도시된 바와 같은 구성이 이용될 수도 있다. 이러한 시도와 관련된 이점들은 샘플 및 참조 빔들 사이의 흡수에 있어서의 차이가 상이한 경로 길이 차이들 및 O_2 및 H_2O 오염물들의 농도(PPM으로)에 대해 도표화된 도 14의 검사로 알 수 있다. 도 14는 시스템이 교정되는 때의 초기와 알려지지 않은 샘플이 측정된 추후 시점으로부터의 오염물의 농도에 있어서의 차이 대 설비의 샘플 및 참조 채널들의 경로 길이에 있어서의 차이의 그래프이다. 도표(1410, 1420 및 1430)들은 농도 및 경로 길이 차이들의 특정 세트에 대한 측정된 반사율 데이터에서 도입되는 0.01%, 0.10% 및 1%의 절대 에러들의 선들에 대응한다. 그러므로, 예를 들어, 대략 0.01%의 절대 에러를 보이는 점(1445)은 교정 샘플이 측정되는 시간과 샘플 측정이 정되는 시간 사이의 농도 차이가 $1.0E+01$ 및 $1.0E+02$ 사이이고 경로 길이차이가 대략 0.01cm이면 얻어질 수도 있다. 도 14는 본 발명에 기술된 원리들을 설명하기 위한 예시적인 그래프라는 것을 알 수 있을 것이다. 예를 들어, 도 14의 그래프는 O_2 와 H_2O 가 함께 변화하는 것을 추정한다(즉, 10PPM의 농도 차이는 O_2 에서의 10PPM의 변화와 H_2O 에서의 10PPM의 변화에 대응한다). 아울러, 흡수 종들인 다른 오염물들이 존재한다는 것을 알 수 있을 것이다. 아울러, 도 14가 145nm의 파장에서

의 데이터를 보일지라도, 다른 파장들도 유사하게 기술된 개념들을 반영하게 된다.

- [0122] 그러므로, 예러들이 0.1% 이하로 유지되는 것을 특정 응용물이 요구하고 샘플 챔버에서의 흡수종들의 농도가 초기 교정과 최종 샘플 측정시 사이에 100PPM의차수로 변화하는 것을 예측할 수 있으면, 도 14에 반영된 바와 같이, 최대 경로 길이 차이가 계산될 수도 있다. 도시된 예에서, 이러한 경로 길이 차이는 약 0.025cm 미만일 수도 있다. 예측된 농도 차이들이 보다 크게 되도록 예측되면, 수용 가능한 경로 길이 차이들은 감소되게 된다. 마찬가지로, 예러가 수용 가능한 경로 길이보다 작게 유지되어야만 되면, 차이(주어진 농도 차이에 대하여)들은 낮게 되어야만 된다. 이러한 효과들이 주위에 있는 흡수종들의 존재에 크게 좌우되며 환경이 저하됨으로써 주어진 경로 길이 차이에 대한 흡광도 차이들이 비선형으로 증가한다는 것을 유의해야 한다.
- [0123] 상이한 응용물들이 상이한 정도의 정확성을 유지하는 동안, 많은 응용물들중 하나가 0.1% 미만 및 일부의 경우에 0.01% 미만의 이러한 예러를 유지하는 것이 좋다. 마주칠 수 있는 농도 차이의 범위는 설비가 어떻게 설계되고 어떻게 채택되는 가에 따라서 크게 좌우된다. 예를 들어, 단독 시스템은 적절한 농도 차이가 매우 낮은 레벨에서 유지되도록 적절한 정화 및/또는 진공 제어와 함께 사용하게 위하여 설계될 수 있음에 반하여, 계측 설비가 도 1b를 참고하여 기술된 바와 같은 다른 공정 공구(샘플 챔버의 일부가 다른 공정 공구에 잔류하는)들에 부착되는 집적화된 응용물에서, 이것은 차이를 제어하는 것이 가능하지 않게 될 수도 있다.
- [0124] 샘플 및 참조 측정동안, 도 5, 도 10 또는 도 11을 참조하여 기술된 실시예의 서터 2는 측정 기간을 정확하게 제어하도록 작용하고, 이는 측정된 데이터의 정확도를 직접적인 영향을 준다. 그러므로, 서터 2는 밀리초의 시간 단위로 정확하게 제어될 수 있는 고속 전자 서터이다. 이러한 서터의 예는 미합중국 Thermo Oriel사에 의해 제조된 모델 76994이다. 서터 2는, 또한 소스로부터의 광에 대한 장기간의 노출이 따르는 측정물들이 그 표면들로부터에서의 변화를 방지하기 위하여 능동적으로 진행되지 않는 시간동안 소스로부터의 광이 설비에서의 광학 표면들에 도달하는 것을 방지하도록 작용한다.
- [0125] 본 발명에서 존재하는 설계들을 사용하여, 샘플 및 참조 채널들로부터의 신호들이 분광계 내에 있는 회절결자의 동일한 영역을 이용하여 분사되고, 공통의 검출기를 사용하여 기록되는 것을 유의하는 것은 중요하다. 이러한 것은 격자의 국부적 성능에서의 차이들 및 다중 검출기들 사이의 반응에서의 차이들로부터 따르는 부정확성을 피하는 것을 돕는다.
- [0126] 추가적으로, 2개의 빔들이 일치하도록 샘플 및 참조 빔들이 분광계로 들어가는 각도를 조정 또는 조율하기 위한 수단이 존재하는 것이 필요하다. 두 빔들의 진입 각도의 차이들은 상이한 유효 스펙트럼 해상도로 인하여 2개의 신호들의 비에 있어서 인위적이고 원하지 않는 특성들을 포함하는(이에 한정되는 것은 아니다) 혼란들이 따를 수도 있다(2개의 빔들이 상이한 유효 슬릿 폭들을 보이기 때문에). 진입 각도를 조정하는 효과적인 수단은 빔 분할기 2를 유지하는 표준 운동학적 장착 수단의 사용을 통하여 제공될 수 있다. 본 발명의 통상의 지식을 가진 자는 진입 각도들을 조정하기 위한 많은 다른 수단이 또한 채택될 수 있다는 것을 인식할 것이다. 상기된 바와 같이, 거의 동일한 광 경로 길이들이 얻어지도록 샘플 및 참조 빔들의 광 경로 거리를 밀접하게 일치시키는 것이 필요할 수도 있다. 또한 미러, 빔 분할기 등과 같은 광학 요소들의 수 및 형태들을 일치시키는 것이 필요하여서, 실질적으로 유사한 특성들을 가지는 참조 및 샘플 경로들이 제공된다. 그러나, 챔버의 환경 조건들로부터 따르는 흡수가 우위를 차지하는 변수일 수도 있기 때문에, 광 경로 거리는 빔 경로들을 일치시키는데 있어서 가장 중요한 변수일 수도 있다.
- [0127] 환경적 흡수에 의해 존재하는 과제들의 관점에 있어서, 디바이스의 전체적인 광 경로의 길이를 가능한 짧게 감소시키는 것이 필요하다. 이러한 설계 변수가 최적화될 수 있는 범위에서의 한정은 필요로 하는 소스의 밝기 및 스펙트럼 해상도를 포함하는(그러나 이에 한정되는 것은 아니다) 다수의 시스템 특징들에 좌우될 것이다. 더욱이, 설비 및/또는 샘플 챔버들을 정화하는데 요구되는 세팅 시간 및 정화 가스의 양을 최소화하도록 설비의 체적을 감소시키는 것이 필요하다. 이러한 특징들은 충분한 가스 혼합물이 발생하는 것을 보장하도록 의무화된 순환 및 지적인 기계적 설계의 도입을 통하여 일정 범위 영향을 받게 될 것으로 예측될 수 있다.
- [0128] 설비의 제어된 환경은 관계된 다수의 이점들을 가져온다. 먼저, 진공 또는 고순도의 정화 조건들의 사용은 필연적으로 산화물 성장, 탄화수소 증가, 습기 흡수 등을 이끌 수 있는 잠재적 오염물들의 부재를 내포한다. 이러한 고려 사항은, 오염물 처리를 통하여 우연히 생성된 막박들과 관련된 치수들과 비교하여 보다 작은 전연 웨이퍼 공정 기술은 보다 얇은 층들 및 보다 작은 특성들을 통합함으로써 더욱 중요하게 된다. 초박층들이 수반되는 응용물들에 있어서, 존재할 수도 있는 오염물 층들을 제거하기 위하여 선택적 탈착 유닛(도 2 참조)에서의 샘플들의 예비 측정 취급을 통하여 측정 정확도에서의 개선이 실현될 수 있다. 본 발명의 기술 분야에서 공지된 바와 같이, 이러한 탈착은 가열을 이용하여 습기와 탄화수소와 같은 다른 오염물들을 제거할 수도 있다. 이러한 능력

은 교정 및 테스트 물질들의 정확성을 보장하는데 있어서 중요하다. 제어된 환경의 추가적인 이점은 설비 내에서의 온도 및 입자 레벨들이 잘 제어됨에 따라서 우수한 측정 안정성을 제공하는 것이다.

[0129] 여기에 기술된 참조하는 기술은 전통적인 교정 기술들 이상의 이점을 제공하고 참조하는 기술은 교정 기술과 비교하여 및/또는 교정 기술들 대신 사용될 수도 있다. 전통적인 교정 기술에 있어서, 공지된 특징(공지된 반사율과 같은)을 가지는 참조물이 측정을 위하여 제공된다. 공지된 샘플로부터의 측정은 공지되지 않은 샘플로부터 취해진 측정으로부터 얻어진 데이터를 분석하는데 도움이 되도록 이용된다. 그러나, 이러한 교정 기술들은 교정이 모든 측정이 공지되지 않은 샘플에서 만들어지기 전에 수행되면(특히 다중 측정이 각 샘플에서 수행되면) 시간을 소모한다. 더욱이, 교정 자체는 교정 샘플의 품질이 규정의 시간(예를 들어 교정 샘플이 시간 이상 오염되게 되는)을 떨어뜨리는 에러들을 유도할 수 있다. 더욱이, 샘플 챔버로 그리고 그로부터의 교정 샘플의 이동은 데이터 분석의 정확성에 나쁜 영향을 미치는 추가의 환경적 변화를 유도할 수도 있다. 본 발명에 기술된 참조 기술들은 기계적인 에러의 유도없이 달성될 수 있다.

[0130] 그러나, 본 발명에서 제공되는 참조하는 기술은 신속하고 최소의 시스템 영향으로 수행될 수 있다. 그러므로, 예를 들어, 참조 측정은 샘플로부터 수집된 모든 측정에 앞서 용이하게 얻어질 수 있다. 그러므로, 시간에 있어서 샘플 데이터 수집에 밀접하게 참조하는 실시간 데이터는 계측 시스템의 조건들을 지시하도록 얻어질 수 있다. 아울러, 이러한 참조 데이터는 시스템 흡수 효과들이 검출되었기 때문에 샘플 데이터를 조정하도록 사용될 수도 있다. 더욱이, 이러한 참조 데이터는 표준 샘플에 좌우됨이 없이 시스템을 참으로 특징화할 수 있다. 이러한 참조 데이터는 또한 다른 시스템 변화(즉, 소스 출력에서의 변화들과 같은)들이 발생되었기 때문에 샘플 데이터를 조정하도록 사용될 수도 있다. 참조 기술들은 수집된 데이터를 보다 전체적으로 특징화하도록 전통적인 교정 기술들과 조합될 수도 있다. 그러므로, 시스템 교정은 일정의 주기적 기초(하루 1회, 일주일에 1회 등) 위에 수행될 수도 있으며, 참조 기술들은 예를 들어 샘플당 1회 또는 샘플로부터 취해지는 모든 측정에 앞서 상당히 빈번하게 수행될 수도 있다.

[0131] 교정, 참조 및 측정 순서(1200)에 포함된 전형적인 단계들의 예가 도 12에서 높은 레벨로 제공된다. 단계(1202)에 의해 도시된 바와 같이, 교정 샘플은 샘플 챔버에 적재될 수도 있으며, 적절한 시스템 상태(흡수종들과 같은)가 확립될 수 있다. 측정은 단계(1204)에 의해 도시된 바와 같이 광학 반사율계 시스템을 교정하기 위하여 공지된 교정 샘플에서 수행될 수 있다. 시스템이 이 때 실제적으로 교정될 수 있거나 또는 교정 데이터가 공지되지 않은 샘플에 만들어진 측정들로부터 존재하는 어떤 최종 데이터결과들을 조정하는데 이용되도록 수집될 수도 있다는 것을 유의해야 한다(일련의 소프트웨어 알고리즘을 통하여 이행되는 조정들과 같은). 참조 채널의 측정들은 교정 측정이 수행되었던 때에 반사율계 시스템의 상태를 특징화하여 기록하기 위하여 단계(1206)에 의해 도시된 바와 같이 얻어질 수 있다. 도시된 바와 같이, 참조 채널의 측정들은 교정 샘플의 측정 후에 수행되도록 도시되었다는 것을 유의해야 하며, 그러나, 참조 측정들은 교정 측정에 앞서 수행될 수도 있다. 그러나, 이러한 측정이 적시에 비교적 가까이 만들어져서 교정시에 시스템 특징들이 결정될 수 있는 것이 바람직하다.

[0132] 다음에, 분석될 필요가 있는 공지되지 않은 샘플은 샘플 챔버에 적재되어, 적절한 시스템 상태(흡수 종들과 같은)가 단계(1208)에 의해 도시된 바와 같이 만들어질 수도 있다. 광학 반사율계 측정이 그런 다음 단계(1212)에 의해 도시된 바와 같이 공지된 샘플로부터 얻어진다. 참조 채널의 측정들은 그런 다음 공지되지 않은 샘플에서의 측정이 수행도리 때에 반사율계 시스템의 상태를 특징화하여 기록하기 위하여 단계(1214)에 의해 도시된 바와 같이 얻어질 수 있다. 도시된 바와 같이, 참조 채널의 측정들이 공지되지 않은 샘플에서의 측정 후에 수행되고, 그러나 참조 측정들은 공지되지 않은 샘플 측정에 앞서 수행될 수도 있다는 것을 다시한번 유의해야 한다. 끝으로, 단계(1216)에 도시된 바와 같이, 샘플 측정의 결과들은 시스템 교정 측정시에 그리고 샘플 측정시에 수행된 참조 측정으로부터 기록된 정보를 사용하여 조정될 수도 있다. 이러한 조정들은 시스템의 상태에서의 변화들로부터 따르는 에러들을 제거하기 위하여 만들어진다. 그러므로, 이러한 방식에 있어서, 교정시에 그리고 공지되지 않은 샘플의 측정시에 흡수종들의 농도에 있어서의 변화가 참작될 수도 있다. 그러므로, 참조 빔은 특히 경로 길이 차이들과 같은 다른 변수들이 공지되거나 또는 정확하게 평가되는 경우에 주위 환경 농도 또는 농도에 있어서의 차이를 특징화하는데 도움이 되도록 이용될 수도 있다. 도 14를 참조하여 아래에 보다 상세하게 기술되는 바와 같이, 참조 빔 경로와 샘플 빔 경로 사이의 넌제로(non-zero) 경로 길이 차이들의 존재는 흡수종 농도 변화로 인하여 만들어질 수도 있는 교정들의 정확도를 제한하게 된다. 추가적으로, 참작될 수 있는 변화들은 추가적으로 교정 측정시와 공지되지 않은 샘플 측정시 사이에 존재할 수도 있는 참조 빔 경로와 샘플 빔 경로 사이의 공통적인 시스템의 요소들에 있어서의 변화들을 포함한다. 예를 들어, 소스의 특징, 공유된 광학 기기들, 분광계, 검출기 등의 변화들이 검토될 수도 있다. 이러한 변화들은 연령/수명 변화들, 온도 변화들, 기계적 변화들 등의 결과일 수도 있다.

- [0133] 교정, 참조 및 측정 순서(200)에 수반되는 전형적인 단계들의 보다 상세한 예가 도 12a의 흐름도에 제공된다. 단계(1205)에 지시된 바와 같이, 공지된 참조를 구비한 교정 샘플은 측정을 위한 위치(샘플 챔버 내에 있는 것과 같은)에 적재되고, 그런 다음 정화 및/또는 진공 펌핑이 흡수 종들의 적절하게 낮은 환경적 농도들을 확립하도록 발생할 수도 있다. 광학 반사율계 측정은 단계(1210)에 의하여 지시된 바와 같은 교정 샘플의 강도를 기록하도록 교정 샘플로부터 얻어질 수도 있다. 다음에, 소스 강도 프로파일은 단계(1215)에 의하여 지시된 바와 같이 계산될 수 있다. 단계(1220)는 시간(t_1)에서 참조 채널의 강도를 기록하는 것을 포함한다. 앞서 기록되고 계산된 데이터를 이용하여, 참조 반사율은 단계(1225)에서 도시된 바와 같이 계산될 수도 있다.
- [0134] 다음에, 공지되지 않은 샘플은 시스템에 적재될 수 있고, 흡수 종들의 적절한 농도들은 단계(1230)들에 지시된 바와 같이 다시 얻어질 수도 있다. 따른 참조 측정은 그런 다음 시간(t_2)동안 참조 채널의 강도가 기록되는 단계(1235)에 의해 지시된 바와 같이 기록되고 저장된다. 소스 강도 프로파일은 그런 다음 단계(1235)로부터의 데이터를 사용하여 단계(1240)에서 다시 계산된다. 소스 강도 프로파일은 단계(1245)에서 도시된 바와 같이 재작성된다. 공지되지 않은 샘플의 강도는 단계(1250)에 도시된 바와 같이 기록되고, 단계(1255)에 도시된 바와 같이 계산될 수 있다. 샘플 참조는 단계(1260, 1265)들의 재작성된 방정식들을 이용하여 계산될 수도 있다. 단계(1265)에서 지수의 용어는 단일 챔버에서 2개의 빔(샘플 및 참조)들의 경우를 위하여 작성된다. 2개의 챔버들의 보다 복잡하게 된 경우에, 제 1챔버에서의 차이를 특징화하는 것과, 제 2 챔버에서의 차이를 특징화하는 다른 하나의 2개의 지수 성분들을 포함하도록 확장되게 된다.
- [0135] 추가의 측정들은 그런 다음 동일한 공지되지 않은 샘플 또는 다른 공지되지 않은 샘플에서 수행될 수도 있다. 이러한 추가의 참조들을 위하여, 교정 샘플의 또 다른 적재 및 측정이 각각의 그러한 측정들을 위하여 발행하지 않을 수 있으며, 오히려 교정 데이터는 재사용을 위하여 저장되고, 공지되지 않은 샘플 단계들은 다시 수행될 필요가 있다. 여전히 다른 실시예에서, 참조 단계들의 데이터는 또한 추가의 참조가 모든 추가의 공지되지 않은 샘플 측정을 위하여 수행될 필요가 없도록 재사용될 수도 있다. 그러므로, 본 명세서에 기술된 참조 기술들은 광범위한 방식으로 이용될 수 있는 반면에, 참조 기술들의 이점의 적어도 일부를 여전히 얻을 수 있게 된다.
- [0136] 도 12a의 단계(1255-1265)들에 지시된 바와 같이, 경로 길이 및 농도 차이의 상관관계가 명확하게 도시되어 있다. 또한 단계(1265)에 지시된 바와 같이, 경로 길이차(샘플-L 참조)가 0을 향하여 감소할 때, 지수 상관관계 용어에 의해 야기된 어떠한 에러도 차이가 0에 접근할 때 지수 용어가 조화에 접근하기 때문에 감소된다. 이러한 것이 농도들에 있어서의 차이(N_2-N_1)에 관계없이 발생할 수 있다는 것을 유의해야 한다. 도면에 도시된 전형적인 단계들에 덧붙여, 광의 부재시에 수행되는 배경 측정(즉, 폐쇄된 샘플 및 참조 서티들로의 측정)은 모든 연속적인 측정들로부터 기록되고 공제되게 된다. 설비에서 사용된 검출기가 냉각되고 온도 제어된다는 사실 특성에 의하여, 이러한 배경 측정들은 이러한 검출기와 관련된 배경 레벨들이 낮고 크게 안정하도록 예측됨으로써 규칙적으로 수행되는 것이 바람직하지 않다.
- [0137] 본 명세서에 기술된 광학 계측 시스템들의 이점들이 상기된 참조 기술들의 사용을 요구함이 없이 얻어질 수도 있다는 것을 인식하게 될 것이다. 그러므로, 본 명세서에서 기술된 시스템들과 기술들은 참조 기술과 관계없이 또는 참조 기술들과 조합하여 이행될 수도 있다. 아울러, 본 발명에서 제공되는 참조 기술들은 본 명세서에 기술된 것들과 상이한 광학 계측 시스템들과 함께 이용되거나 또는 상이한 파장에서 동작하는 시스템들과 함께 이용될 수도 있다. 그러나, 본 명세서에서 개시된 참조 기술들 및 광학 계측 시스템들은 조합하여 사용할 때 특히 유익하다.
- [0138] 도 12 및 도 12a에 도시되지 않았으나, 데이터 취득 공정 동안 추가의 보정 단계를 수행하도록 상당한 레벨의 미광이 존재하는 상황에서 유용할 수도 있다. 미광은 시스템의 빔 경로에서의 광학 표면에서 산란 공정들을 통하여 발생된 광을 참조한다. 이러한 광의 존재는 궁극적으로 검출기에 의해 기록된 위조된 계수(즉, λ_0 에 대응하는 픽셀에 입사하는 λ_0 와 다른 파장의 광)들이 따를 수 있다. 본 명세서에 기술된 VUV 장치는 디바이스 내에서 미광의 발생을 상당히 감소시키도록 설계되었지만, 여전히 일부 오염물들에서의 이러한 현상을 보정하는 것이 유익하다.
- [0139] 시스템 내에서 미광을 보정하기 위한 하나의 접근은 설비의 스펙트럼 범위 이하(즉, 디바이스의 보다 낮은 파장의 컷 오프 이하)의 광을 기록하는 것을 시도하는 하는 것을 포함한다. 이러한 영역 이하의 기록된 어떠한 신호도 존재하는 해상력에 의한 것이 아니며, 대신 산란 공정들을 통하여 생성되었던 것으로 추정된다. 파장의 함수로서, 이러한 신호의 강도의 이해하여, “실제” 신호들이 동시에 기록되는 설비의 스펙트럼 범위 내의 보다 긴 파장 영역들로부터의 적절한 “미광” 기여를 감하는 것이 가능하다.

- [0140] 본 명세서에 개시된 개념들은 VUV 계측 공구를 제공한다. 공구의 설계는 간단하고 이것이 VUV 파장에서 용이하게 동작하도록 한다. 아울러, 공구는 엘립소메트리 기술들과 관련된 많은 문제들을 피한다. 예를 들어, 본 명세서에 기술된 공구와 기술들은 편광 요소들 없이 이용될 수도 있다. 엘립소메트리에서, 샘플의 표면으로부터 반사된 광의 편광 상태에서의 변화가 측정된다. 전형적인 엘립소메트리 기술들은 적어도 2개의 편광 요소들을 사용한다(샘플 이전의 광 경로에서의 하나와, 샘플 이후의 광 경로에서의 하나). 이러한 기술들은 다중 편광화 각도를 위한 수집 데이터의 특성 때문에 시간을 소모한다. 덧붙여, 편광 요소들은 일반적으로 흡수성이므로, 이것들을 낮은 파장에서, 특히 약 140nm 이하의 VUV 영역들에서 부적절하게 만든다. 그러므로, 본 명세서에 기술된 시스템들과 기술들(편광 요소들 없이 이용될 수도 있는)은 하단 VUV 영역들(또는 그 이하의)인 파장과 함께 사용하는데 특히 유익하다. 편광 요소들의 흡수 특성은 또한 측정을 얻기 위하여 충분한 광을 수집하는데 필요한 시간을 증가시킨다.
- [0141] 그러므로, 편광 비의존성 측정이 얻어지도록, 비편광 광 경로와 함께 본 명세서에 개시된 기술들을 이용하는 반사율계 공구를 제공하는 것이 바람직하다. 여기에 개시된 편광 비의존성 기술들은 위상 비의존성 반사율 크기 측정(phase independent reflectivity amplitude measurement)을 제공한다. 본 명세서에 개시된 반사율계 공구들은, 파장들이 공간적으로 분리되는 광 경로가 회절격자를 칠 때까지 광 경로 내에 있는 다중 파장들을 포함한다. 엘립소메트리 기술은 전통적으로 광 경로에서의 일부 지점에서 단일 파장으로 광원들을 필터링하는 것을 포함한다. 본 명세서에 기술된 기술들 및 공구들의 적어도 일부가 편광화된 반사율 측정법으로서 공지된 응용물들을 위하여 유용할 수도 있다는 것을 유의해야 한다. 이러한 응용물들은 전형적으로 2개의 가능한 편광화 상태들 중 하나에서 반사율 증폭 데이터의 수집을 가능하게 하도록 샘플의 앞 또는 뒤에 위치한 단일의 편광화 요소를 사용할 수도 있다.
- [0142] 또한 본 명세서에 개시된 공구들 및 기술들은 샘플을 참조하여 광학 빔이 요구되는 보다 작은 입사각 때문에 엘립소메트리 기술들과 비교하여 바람직하다. 그러므로, 도 11a를 참조하여 도시된 바와 같은 샘플에 대하여, 10° 이하, 심지어 4° 입사각(Φ)이 70° 의 차수에서의 입사각들을 종종 이용하는 엘립소메트리 기술들과 대비하여 본 명세서에 기술된 기술을 이용하는 것이 가능하다. 이러한 것은 계측 공구의 공간이 보다 작고 공정 공구들과의 계측 공구의 합병이 보다 간단함으로써 유익하다. 예를 들어, 다중 커플링 기구들과 대비하여 하나의 커플링 기구의 사용을 통하여 공정 공구와 본 명세서에 기술된 계측 공구를 통합하는 것이 가능하다.
- [0143] 스펙트럼 데이터가 검출기에 의하여 기록되면, 이것은 분석 알고리즘들을 경유하여 연속적으로 감소되는 경우에, 도 1에 도시된 프로세서 유닛으로 보내진다. 이러한 알고리즘들은 대체로 예를 들어 반사와 같은 광학 데이터를 측정 및/또는 모니터링될 수 있는 샘플의 다른 성질들과 결부시킨다. 샘플이 기관(1510) 상에 있는 박막(1505, 또는 막박들의 적층물)로 구성되면, 상황은 도 15에서와 같이 도시될 수 있으며, 관련된 샘플 성질들은 예를 들어 막 두께, 복잡한 굴절율, 조성, 다공도 및 표면 또는 경계면 거칠기와 같은(그러나 이에 한정되는 것은 아니다) 다수들을 포함한다.
- [0144] 데이터 감소는 통상적으로 샘플을 포함하는 물질 또는 물질들의 광학 성질들을 기술하는 하나 이상의 모델들과 조합하여 프레넬 방정식의 일부 형태를 사용하여 달성된다. 많은 수의 이러한 모델들이 수반되는 물질의 특성에 따라서 상이한 정도의 응용 가능성으로 존재한다. 연속적으로 사용되는 모델들은 “조화 발전기”로서 통상적으로 언급되는 유효 중위 접근(EMA, effective median approximation) 및 변화(이에 한정되는 것은 아니지만)들을 포함한다. 데이터 세트의 감축에서 사용된 특정 모델들과 관계없이, 보다 큰 목적은 샘플의 성질들에 관계하는 어떤 변수(상기된 바와 같은)들이 반복성 최적화 공정을 통하여 얻어질 수 있도록 측정된 데이터를 기술하는데 유효한 수학적 설명을 사용하는 것이다. 즉, 측정된 데이터 세트는 샘플의 특성에 관계한 변수들 세트에 좌우되는 설명을 사용하여 계산된 것과 비교된다. 측정 및 계산된 세트들 사이의 불일치는 2개의 데이터 세트들 사이의 적절한 일치 시간이 달성될 때까지 변수들의 값들을 반복하여 조정하는 것에 의하여 최소화된다. 이러한 불일치는 통상적으로 “적합도(goodness of fit)” 변수의 조건으로 정량화된다.
- [0145] 많은 물질들이 심자외선(DUV) 및 가시영역들에서 보다 긴 파장에서보다 이것들의 광학적 성질들의 VUV 영역에서 보다 중요한 구조를 보임으로써, 특히 데이터 감축 공정에 관계함으로써, 본 명세서에 기술된 VUV 장치에 의해 제공된 확장된 데이터 범위와 관련된 상당한 이점이 있다. 이러한 점은 도 16 및 도 17에 제공된 예들을 통하여 도시된다. 도 16에서의 2개의 곡선들은 실리콘 기관 상에 증착된 얇은($\sim 50\text{\AA}$) 알루미늄 산화물(Al_2O_3)의 측정된 반사 스펙트럼(1610, 실선)과 계산된 반사 스펙트럼(1620, 점선)을 나타낸다. 계산된 결과는 상기에서 개요된 데이터 감축 방법을 사용하여 얻어졌다. 분명한 것으로서, 우수한 일치가 측정 및 계산된 스펙트럼 사이에서 얻어져, 취득된 결과들의 정확성에 있어서 높은 정도의 신뢰를 제공한다.

[0146] Al_2O_3 층에 대하여 얻어진 n 및 k 값(복잡한 굴절율의 실제 및 가상의 부분들의 값)들은 도 17에서와 같이 나타난다. n 값들의 도표(1710) 및 k 값들의 도표(1720)로부터 명백한 바와 같이, DUV 및 가시 영역에서의 광학 성질들은 n 및 k 스펙트럼과 관련된 메인 피크들이 VUV에서의 보다 짧은 파장들에서 독점적으로 잔류함으로써 구조를 한정하는 방식으로 거의 보이지 않는다. 맞춤 알고리즘에서의 변수들이 이러한 피크들의 위치, 크기 및 폭(다른 것 중에서) 특성상 관련됨으로써, 이러한 변수의 정확한 결정이 흥미있는 파장 범위를 스캐닝하는 실제 측정된 데이터를 맞춤 루틴에 제공하는 것에 의하여 크게 도움을 받는 것이 따른다. 다시 말하면, 많은 물질들의 광학적 성질들이 VUV에서의 이것들의 한정 구조의 대부분을 보임으로써, 이러한 성질들을 정확하게 한정하도록 시도할 때 이러한 스펙트럼 영역에서 측정된 데이터의 사용을 만드는 것은 크게 바람직하다. 도 18은 본 명세서에 기술된 VUV 기술들이 반도체 공정 환경에서 어떻게 매우 얇은 층들을 확인하고 측정하도록 이용될 수 있는 것을 도시한다. 우측의 y -축에 대응하는 도면에서의 제 1 곡선(1810)은 블랭크 마스크 기판 상의 잔류 포토레지스트의 초박층(5Å)과 관련된 참조 신호를 나타낸다. 좌측의 y -축에 대응하는 제 2 곡선(1820)은 잔류 포토레지스트의 상기 층의 막 두께에서 1Å의 증가와 관련된 차이 신호를 나타낸다. 차이 신호에서의 가장 큰 변화들이 보다 짧은 UVU 파장들에서 나타나고, 차이 신호가 파장이 DUV에서의 보다 긴 파장에 접근함으로써 0으로 되려는 것은 명백하다. 도 19는 개시된 방법들이 초박층들의 두께를 측정 또는 모니터링하도록 사용될 수 있는 가의 추가적인 예를 도시한다. 3개의 곡선들은 도면에 존재하고, 실리콘 기판들에 증착된 실리콘 산소-질화물(SiON)의 10Å의 얇은 층(곡선 1810), 14Å의 얇은 층(곡선 1820) 및 18Å의 얇은 층(곡선 1830)들로 이루어진 샘플들로부터 기록된 참조 스펙트럼에 대응한다. 명백한 것으로서, 스펙트럼들 사이의 차이들은 보다 짧은 파장들에서 다시 가장 크고, 이러한 경우에, 본질적으로 보다 긴 DUV 파장들에서 존재하지 않는다. 이러한 것은 반도체 산업이 반도체 디바이스들로 보다 얇은 층들을 통합하도록 하고 항상 작업하기 때문에 이것이 반도체 공정 제어에 관계함으로써 더욱더 중요한 양상이다.

[0147] 이러한 점은 막 두께의 함수(13%의 질소를 가진 명목상의 10Å의 층에 관계하여)로서 $SiO_{0.87}N_{0.13}$ 층에 대한 반사율 변화(명목상의 10Å 층에 관계하여)를 나타내는 도 10의 검사로 더욱 강조된다. 그래프로부터 명백함으로써, 막 두께에서의 주어진 변화에 대한 130nm에서의 반사율 변화(도표 2010)는 순차적으로 157nm(도표 2020) 또는 193nm(도표 2030)에서 예측되는 것들보다 크다. 사실, 130nm에서의 VUV에서의 변화들은 193nm에서 보여진 것들보다 대략 7배 크다. 도 21 및 도 22는 본 명세서에 기술된 VUV 기술들이 어떻게 물질 또는 막의 조성을 모니터링하도록 이용될 수 있는지를 나타낸다. 도 21은 10 내지 15%의 범위에 놓이는 농도로 Si에 증착된 6개의 16Å 두께의 일련의 SiON 층들에 대한 참조 스펙트럼을 나타낸다. 명백한 것으로서, 영역(2110)은 SiON 막들의 조성에서 있어서 변화들에 대하여 가장 높은 감도의 영역이고, 대략 130nm에서 집중된다. 이러한 점은 막 두께의 함수(명목상의 10Å 층에 관계하여)로서 SiON 층에 대한 반사율 변화(10%의 질소를 가진 16Å의 SiON 층에 관계하여)를 나타내는 도 22의 다음의 검사를 더욱 강조한다. 그래프로부터 명백한 것으로서, 두께에 있어서 주어진 변화에 대한 130nm(도표 2210)에서의 반사율 변화들은 순차적으로 157nm(도표 2220) 또는 193nm(도표 2230)에서 예측되는 것들보다 크다.

[0148] 본 명세서에 나타난 VUV 방법들의 사용에 의해 산출된 이점들의 추가적인 예로서, 질소의 불균일한 분포(막 두께의 함수로서)를 보여주는 SiON의 조성의 결정이 고려된다. 도 22a는 $1e^{15}$ 원자들/ cm^2 의 선량을 받는 20Å의 SiO_2 막들에 대한 4개의 일련의 질소 분포들을 나타낸다. 질소 원자 %는 막 깊이의 함수로서 점선으로 도시된다(주위/막 경계면으로부터 측정된 바와 같이). 동일한 수의 질소 원자들이 각각의 4개의 샘플들 내에 포함되지만, 이러한 원자들의 분포들은 상당히 상이하다. 하나의 경우에, 질소가 층의 두께(도표 2240) 도처에 균일하게 분산되고, 또 다른 경우에, 막 깊이의 중간(도표 2250)의 중간에 집중된 광범위한 가우스 분포를 보여주도록 통합되고, 여전히 또 다른 경우에, 바닥 중 가우스(bottom heavy Gaussian) 분포(막/기판 경계면에 밀접하여 집중된, 도표 2260)를 보이고, 마지막의 경우에, 기하급수적으로 쇠퇴하는 분포(도표 2270)를 보인다.

[0149] 도 22b는 광범위 집중 가우수(도표 2251), 바닥 중 가우스(도표 2261) 및 기하급수적 쇠퇴(도표 2271) 분포들을 보이는 샘플들과 관련된 반사율 차이 신호들을 나타낸다. 반사율 차이 신호는 다른 3개의 그것으로부터 정상적으로 분포된 샘플과 관련된 참조 신호를 감하는 것에 의하여 얻어진다. 명백한 것으로서, 불균일하게 분포된 샘플들 모두는 스펙트럼의 VUV 영역에 있는 중요하고 명확하게 구별할 수 있는 참조 차이 신호들들 보이는 한편, 동시에 보다 긴 파장에서 차이들을 거의 보이지 않거나 또는 보이지 않는다. 이러한 도면은 본 명세서에 기술된 VUV 기술들이 어떻게 매우 얇은 층들의 조성 프로파일을 측정 및/또는 모니터링하도록 사용될 수 있는 가를 추가적으로 도시하도록 작용한다.

[0150] 도 17-22b의 예시적인 층들이 Al_2O_3 , 포토레지스트 및 SiON의 것들인 반면에, 실리콘 웨이퍼들 및 포토 마스크

블랭크들을 포함하는(그러나 이에 한정되는 것은 아니다)다양한 기판들 상에 증착된 층들 및 다른 물질의 막 적층물이 유사한 형태로 측정될 수도 있다는 것을 인식하게 될 것이다.

[0151] VUV 파장들에 의해 산출된 또 다른 이점은 2개 이상의 층들로 구성된 특정 막 적층물들을 측정할 때 실현된다. 적층물에서의 막들의 수가 증가됨으로써, 이러한 것은 일반적으로 최적화 루틴에서 보여지는 변수들의 수이다. 변수들의 수가 증가함으로써, 이러한 것을 변수들 사이의 상관관계가 존재할 수도 있는 가능성이 있다. 어떤 상황에 있어서, 이러한 것은 측정된 결과에 있어서 부정확성 또는 불안정성에 기여할 수도 있다. 어떤 상황에 있어서, 문제를 단순화하는 것이 가능하고, 그러므로, 지적인 가중(weighting) 함수의 통합을 통하여 VUV에서 광학적 데이터의 사용을 묘사하는 것에 의하여 최적 루틴에서 보여지는 변수들의 수를 감소시키는 것이 가능하다.

[0152] 본 명세서에서 "동적 가중 함수(dynamic weighting function)"로서 참조되는 이러한 함수는 예상된 기여에 좌우되는 최적 공정 동안 특정 스펙트럼 데이터 상에서의 보다 큰 또는 작은 중점을 동적으로 보이는 변수들 세트의 결정으로 돌리는 것을 포함한다. 이러한 접근에 있어서, 예상된 기여는 샘플의 예상된 구성(즉, 샘플을 포함하는 층들의 두께 및 조성)에 기초하여 동적으로 평가되고, 반복 원리에 의한 반복에서 업데이트된다. 예를 들어, 도 23에 도시된 바와 같이, 실리콘 기판(2340) 상에 증착된 이산화규소(SiO_2) 층(2310) 및 질화규소(SiN)로 구성된 2개의 박막 적층물을 측정할 때, 상부의 SiO_2 막의 두께에 대한 조사동안 VUV에서의 데이터 지점들에서의 보다 큰 중점을 배치하는 것이 이롭다는 것이 증명할 수도 있다. 이러한 것은 모든 의도 및 목적들을 위하여 SiN 이 약 1000Å보다 큰 두께에서 VUV 광자들을 통과시키지 않는다는 사실로부터 따른다. 그러므로, 도 23에 도시된 바와 같이, SiN -기판 경계면으로부터 반사(2350)는 DUV 파장들로 만들어진 측정들에서 나타날 수 있지만, VUV 파장들로 만들어진 측정들에서는 없을 수도 있다. 그러므로, 밑에 있는 SiN 층의 두께는 DUV 파장 데이터가 무시되면 최적화 공정 동안 본질적으로 무시될 수 있다. 이러한 점은 도 24 및 도 25의 검사로 더욱 도시된다. 도 24는 3개의 $\text{SiO}_2/\text{SiN}/\text{Si}$ 샘플들로부터의 반사율 데이터를 나타낸다. SiN 층 두께는 샘플들 중에서 1000Å(도표 2410)으로부터 2000Å(도표 2420), 3000Å으로 변하는 반면에, SiO_2 층 두께는 10Å으로 고정 유지된다. 명백한 것으로서, 3개의 샘플들로부터의 반사 스펙트럼은 DUV 영역에서 주목할만하게 차이를 나타내고, 사실상 VUV 파장들에서 여전히 일치한다. 이러한 것은 VUV 광자들이 SiN 층을 침투하지 못하고, 대신 SiN 기판에 증착된 10Å의 SiO_2 로 구성된 샘플을 보인다. 그 결과가 SiN 층 두께에 둔감하기 때문에, VUV를 강하게 강조하고 DUV 및 보다 긴 파장 데이터를 덜 강조하는 가중 함수를 적용하는 것은 최적화 루틴에 의하여 보이는 변수 세트를 감소시킨다. 이러한 접근은 존재할 수도 있는 SiO_2 및 SiN 에 대한 두께 변수들 사이의 어떠한 상관관계를 제거하는 것에 의하여, 측정 결과들의 정확성 및 반복성을 증가시키도록 작용한다. 추가적으로, 이러한 접근은 대체로 종래의 방법을 사용하여 가능한 것보다 상당히 짧은 시간주기에서의 해결의 집중이 따른다.

[0153] 동적 가중 함수의 이점의 추가의 증거는 도 25에 제공되고, 이는 또한 3개의 $\text{SiO}_2/\text{SiN}/\text{Si}$ 샘플들로부터의 반사 스펙트럼을 나타낸다. 이러한 경우에 있어서, SiN 층 두께는 샘플들 중에서 100Å에서 고정되는 반면에, SiO_2 층 두께는 0Å(도표 2510)로부터 10Å(도표 2520)으로, 20Å(도표 2530)으로 변한다. 알 수 있는 바와 같이, 스펙트럼은 VUV 영역에서의 명확한 차이들을 보이는 반면에, DUV에서 실제로 동일하게 보인다. 그러므로, 흡수 효과들에 대한 본 명세서에 기술된 공구들 및 기술들의 감도 때문에, 측정되는 박막에서의 보다 짧은 파장들의 흡수는 유익하게 이용될 수도 있다. 더욱이, 예상된 샘플 특징들의 대략의 평가가 공지된(예를 들어 밑에 놓인 SiN 막 두께의 대략의 평가) 상황에서, 보다 큰 중요도(또는 동적 가중)는 어떤 파장 영역들에서 반사율 데이터에 놓일 수도 있다.

[0154] 도 23, 도 24 및 도 25의 예시적인 샘플들이 $\text{SiO}_2/\text{SiN}/\text{Si}$ 로 구성되는 한편, 동적 가중 함수 접근이 상이한 물질로 구성된 2개 이상의 층들을 처리하는 샘플들을 측정 및/또는 모니터링하도록 사용될 수 있다는 것이 명확하다.

[0155] 동적 가중 함수는 또한 반복 데이터 맞춤 공정과 연결하여 이용될 수도 있다. 예를 들어, 도 23-25를 참조하여 상기된 $\text{SiO}_2/\text{SiN}/\text{Si}$ 로부터 수집된 데이터에 대하여, 반복 공정은 각각의 층들의 두께를 결정하는 것을 시도하도록 사용될 수 있다. 맞춤 루틴의 각 반복동안, 계산 및 측정된 데이터 세트들 사이의 차이들은 각 파장에서 비교되어, 맞춤 루틴의 변수값(이 경우에 막 두께)에서 만들어진 변화들이 이전의 반복에서 얻어진 변수값 이상의 향상인지를 결정하도록 사용된다. 샘플의 대략의 특성을 고려하는 가중 인자를 포함하는 것에 바람직하다. 예를 들어, 도 25에서의 데이터는 180nm 이상의 파장들이 상부 SiO_2 층의 두께에 관한 정보를 포함하지 않는 것을 명확하게 드러낸다. 전형적인 데이터 맞춤 방법은 이러한 사실을 무시하고, 이러한 두께를 찾을 때 측정된 모든

파장들에서의 측정 및 계산된 데이터를 비교하도록 시도한다. 그 결과, 비교되는 대부분의 파장(180nm 이상의 것들)은 이것들이 가중된 비교 함수의 상당한 부분을 나타내기 때문에 그 결과로 불특정성을 증가시킬 수 있다. 동적 가중 함수 접근을 사용하여, 이 문제는, 유용한 정보를 포함하도록 주목할만하게 예측되는 단지 측정된 데이터가 가중된 비교 함수에 포함되도록 극복될 수 있다. 방법은 공정(측정된 데이터가 고려되어야 하는)을 만드는 결정이 각 반복 후에 반복되기 때문에 동적이다.

[0156] 패턴화된 샘플들이 수반될 때, 부가적인 이론적 구상들은 측정 광자들과 주기적 패턴화된 특징들 사이의 상호 작용의 결과로서 발생하는 광 산란을 적절하게 기술하도록 전형적으로 끌어내어진다. 그러한 광 산란이 도 26을 참조하여 도시된다. 도 26은 패턴화된 기관(2610), 입사 빔(2640)으로부터 발생하는 반사 빔(2620) 및 회절 빔(2630)들을 도시한다. 이러한 형태의 상이 없는 광 차원적인 계측은 광파산관계측으로 공지되어 있으며, 통상적으로 데이터 감소 프로세스 동안 RCWA(Rigorous Coupled Wave Analysis)의 몇 가지 형태를 수반한다. 이러한 기술은 패턴화된 샘플들로 부터의 광 산란의 감도를 이용하며, 샘플을 포함하는 특징들의 치수를 적절한 수학적 표현의 사용을 통해 기록된 광학적 신호에 관련시킨다. 즉, 광파산관계측은 패턴화된 특징들의 차원들을 패턴화된 특징들을 포함하는 어떤 샘플로부터 산란되거나 회절된 광을 설명하는 것에 의해 결정될 수 있게 한다.

[0157] 이러한 접근을 사용하여 패턴화된 기관(2700) 상에서 측정 및/또는 모니터링될 수도 있는 예시적인 양들의 예들은 도 27에 도시되어 있으며, 라인 폭(2710), 측벽각도(2720), 트렌치 깊이(또는 라인 높이)(2730), 트렌치 폭(2740) 그리고 막 두께(2750)와 같은 중요한 치수들을 포함한다(그러나, 이에 한정되는 것은 아니다). 이러한 양들이 박막 적층물 및/또는 구조들에서 측정 및/또는 모니터링될 수도 있는 선택된 수의 많은 그러한 양들을 나타내는 것을 알 수 있다. 이러한 특성의 패턴화된 박막 샘플들은 반도체 디바이스와 저장 매체를 포함하는 많은 분야에서 볼 수 있었다.

[0158] 광 산란 물리학의 개관이 드러남으로써, VUV에서의 것들과 같은 짧은 파장의 광자들은 전자(짧은 파장의 광자들)에 의해서 증가된 감도 때문에 긴 파장의 광자들보다 패턴화된 특징들의 보다 덜 중요한 치수들을 측정 또는 모니터링하는데 본질적으로 보다 적합하다. 사실, 전연 반도체 디바이스들을 포함하는 많은 중요한 치수 계측 응용물들을 위하여, 측정은 짧은 파장의 VUV 광자들을 사용할 때에만 가능하다. 이러한 점은 아래에 제공된 예들을 통해 좀 더 설명될 것이다.

[0159] 도 28은 라인 폭 결정에 관련된 예시적인 VUV를 도시한다. 우측의 y축에 대응하는 도면의 제 1 곡선(2810)은 130nm의 피치와 함께 65nm의 라인 배열로부터 얻어지는 반사 신호를 나타낸다. 즉, 라인 배열은 65nm의 폭 공간들에 의해 분리되는 65nm 폭 라인들을 보이도록 구성된다. 좌측의 y축에 대응하는 도 28의 제 2 곡선(2820)은 66nm 와 65nm 라인 배열들 사이에서 반사된 신호에서의 차이를 나타낸다. 즉, 이 곡선은 65nm 폭 라인들과 공간들을 보이는 라인 배열에 대해 라인 폭에 있어서 1nm의 증가에 관련된 차이 신호를 나타낸다. 도면으로부터 명백한 바와 같이, 차이 신호에서 분명하고 중요한 변화들은 오직 라인 배열의 피치(65nm 라인 폭 + 65nm 공간 폭 = 130 nm 피치)에 대응하는 파장들에서 그리고 그 이하의 파장들에서만 예상된다. 그러므로, 본 명세서에서 기술된 방법을 사용하여 그러한 구조에 있는 라인 폭을 측정하거나 또는 모니터링하기 위하여, 측정되는 파장들의 범위가 피치 파장에서 그리고 그 이하에서 것들을 포함할 필요가 있다.

[0160] 도 29는 피치 결정에 관계하여 예시적인 VUV 측정을 도시한다. 도면에서 3개의 곡선들은 63nm(곡선 2910), 65nm(곡선 2920) 및 67nm(곡선 2930) 라인들 및 공간들로 구성된 라인 배열들로부터 예상되는 반사 신호를 나타낸다. 즉, 데이터는 동일한 라인 폭과 공간 폭을 가지지만 126nm, 130nm, 134nm의 피치들을 가진 라인 배열로부터의 신호를 나타낸다. 도면으로부터 분명히 알 수 있는 바와 같이, 3개의 스펙트럼들에서의 변화들은 주로 그 라인 배열 피치(이 예에서 130nm 근접한 부분)에 대응하는 파장과 같거나 이하의 스펙트럼 영역에서 분명히 알 수 있다.

[0161] 도 30은 본 명세서에서 기술된 VUV 기술들 및 장치들이 어떻게 라인 배열을 포함하는 라인들의 높이에서의 변화들을 측정 또는 모니터링하도록 사용될 수 있는 지를 예시한다. 도면에는 2개의 곡선이 나타나 있다. 좌측의 y축에 대응하는 제 1 곡선(3010)은 라인 높이가 1000Å이고 65nm의 라인들과 공간들을 가진 라인 배열로부터의 예상되는 반사 신호를 나타낸다. 우측의 y축에 대응하는 제 2 곡선(3020)은 동일한 라인 배열을 위하여 라인 높이에 있어서 10Å 증가와 관련된 차이 신호를 나타낸다. 명백한 바와 같이, 스펙트럼 표시를 초래하는 라인 높이에 있어서의 변화들은 초기에 나타난 인 라인 폭 및 피치를 통하여 도입된 변화들과 현저히 구별된다(도 29 및 도 30을 참조한 참조에 대하여). 즉, 라인 높이에서의 변화들로부터 따르는 가장 작은 차이 신호를 보이는 스펙트럼 영역은 사실상 라인 폭과 피치에서의 변화들로부터 따르는 가장 큰 차이 신호를 보이는 동일한 스펙트럼 영역이다.

- [0162] 반도체 공정 제어 계측 분야에서 본 명세서에서 기술된 VUV 기술들과 장치들의 응용은 매우 다양하고 광범위하다. 일반적으로 본 명세서에서 제공된 VUV 반사율계 기술들은 주어진 파장들에서의 반사량을 나타내는 데이터를 제공할 수도 있다는 것이 설명되었다. 더욱이, 이러한 측정의 감도는 다양한 절차 변수들을 지시하는 데이터를 제공하기 위해 반도체 제조 공정 데이터에 중요하게 관련 될 수 있다. 이러한 방법으로 본 명세서에서 제공된 시스템과 기술들은 공정 제어와 공정 특징화 응용물에 이용될 수도 있다. 그러한 경우들중 선택된 수의 특정 한 예들이 제시되었으나, 당해 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자들은 이러한 방법들이 많은 다른 상황들에서 아울러 적용될 수 있다는 것을 인식할 것이다.
- [0163] 본 명세서에서 설명된 기술들은 계측 응용물을 위해 이용되는 오프라인 자립형 계측 설비에 통합될 수도 있다. 그러나 이러한 기술들이 비교적 빠르고 반복적으로 측정 결과를 산출할 수도 있는 비교적 덜 복잡한 하드웨어 솔루션에서 실행되기 때문에, 본 명세서에서 설명된 기술들은 어떠한 종류의 광범위한 반도체 공정 공구들에 통합을 위하여 특히 적합할 수도 있다. 따라서, 예를 들어, 본 명세서에서 설명된 VUV 기술들이 증착, 에칭, 포토 리소그래피 등에 사용되는 공구들에 직접 통합될 수 있어서, 인라인(in-line)측정, 모니터링, 제어는 유리하게 얻어질 수도 있다.
- [0164] 상기된 설비, 부품들, 물질들, 및 기술들은 광대역 파장을 이용하는 시스템에서 이용될 수도 있다. 예를 들어, VUV 파장들을 포함하는 반사율계는 적어도 하나의 다른 스펙트럼 영역에서 동작하도록 구성될 수 있다. 그러므로, 상기 도 1~30을 참조하여 상기된 시스템과 기술들의 전부 또는 일부는 광대역 시스템들 및 기술들과 함께 결합되어 이용될 수도 있다. 도 31~39와 다음의 설명들은 상기된 설비, 부품들, 물질들과 및 기술들과 관련하여 이용될 수 있는 다양한 광대역 시스템 및 기술들을 설명한다.
- [0165] 광대역 시스템(3100)의 한 실시예의 간략한 표현이 도 31에 제시되어 있다. 동작시에, 3개의 소스(3102,3104,3106)중의 하나로부터의 광이 광학 모듈(3108)에 의해 선택되어 샘플(3110)의 표면으로 조준되어 초점이 맞춰진다. 샘플로부터의 반사로, 광은 다시 모여져서 광학 모듈(3108)에 의해 선택되는 바와 같은 3개의 검출기(3112,3114,3116)들중 하나로 향하게 된다. 어떠한 상황에서, 광학 모듈은 또한 소스들, 샘플 챔버(3120) 및 검출기들 사이에서 제어된 환경을 제공한다. 추가적으로, 몇몇 경우에 있어서, 광학 모듈은 수집된 데이터를 참조하는 수단을 제공하는 것에 의해 시스템의 성능을 향상시키도록 작용할 수 있다. 광학 모듈은 검출기들에 의해 기록된 데이터를 분석하도록 사용될 수 있는 프로세서(3122)에 의해 제어된다.
- [0166] 도 32는 VUV와 DUV-NIR 모두에서 참조된 광대역 반사율 데이터를 수집하도록 구성된 본 발명의 실시예(3200)를 제시하고 있다. 동작시에, 이러한 2개의 스펙트럼 영역들로부터의 광은 직렬 방식으로 얻어진다. 즉, VUV로부터의 반사율 데이터가 먼저 얻어져 참조되며, 이어서 DUV-NIR 영역으로부터의 반사율 데이터가 수집되어 참조된다. 양 데이터 세트들이 기록되면, 이것들은 단일 광대역 스펙트럼을 형성하도록 서로 접합된다.
- [0167] 설비는 설비 챔버 (3202) 및 샘플 챔버(3204)의 2개의 환경적으로 제어되는 챔버들로 분리된다. 설비 챔버 (3202)는 대부분의 시스템 광학 기기들이 수용되며, 통상의 기저(basis) 위의 대기중으로 개방되지 않는다. 샘플 챔버(3204)는 샘플(3206)과 참조 광학 미러 M-5를 수용하며, 샘플의 교환을 용이하게 하도록 정기적으로 개방된다.
- [0168] 동작시에, VUV 데이터는 먼저 진공자외선 소스(3201)로부터의 광이 수집되어, 초점 미러 M-1에 의해 빔 분할기 요소 BS를 향해 조준되어, 다시 보내지도록 플립-인(flip-in) 소스 미러 FM-1을 "out" 위치로 변환시키는 것에 의하여 얻어진다. 빔 분할기에 닿는 빛은 평형화 마이컬슨 간섭계를 사용하여 샘플 빔(3210)과 참조 빔(3212)의 두 개 성분으로 분할된다. 샘플 빔은 빔 분할기 BS로부터 반사되어 셔터 S-1을 통해 주행한다. 셔터 S-2는 이 시간 동안 폐쇄된다. 샘플 빔은 보상판 CP를 통해 계속하고, 초점 미러 M-2를 경유하여 윈도우 W-1을 통해 샘플 챔버로 다시 향하여 초점이 맞춰진다. 보상판은, 빔 분할기 동작 특성으로 인해 참조 채널을 지나가는 광이 빔 분할기 기판을 세 번 통과하는 동안, 샘플 채널을 지나가는 광이 단지 한번만 빔 분할기 기판을 통과한다는 사실로부터 따르는 샘플 및 참조 경로들 사이에서 발생하는 위상 차이를 제거하도록 포함된다. 그러므로, 보상판은 빔 분할기와 동일한 재료와 두께로 제조된다. 이러한 것은 샘플채널을 통과하는 광이 또한 동일한 전체 두께의 빔 분할기 기판 물질을 통과하는 것을 보장한다. 윈도우 W-1은 상기된 시스템에서 높은 광학적 처리량을 유지하도록 VUV 파장들에 대해 충분히 투명한 물질로 제조된다.
- [0169] 샘플 챔버(3204)로 들어가는 광은 샘플(3206)을 때리고, W-1을 통해 후방으로 반사되어, 미러 M-2에 의해 수집, 조준 및 다시 향하게 된다. 미러 M-2로부터의 광은 보상판 CP, 셔터 S-1, 빔 분할기 BS를 통과하며, 플립-인 검출기 미러 FM-2(FM-1과 동시에 "out" 위치로 스위칭된)에 의해 구속없이 통과하여, 초점 미러 M-3에 의해 VUV 분광계(3214)의 입구 슬릿 상으로 다시 향하여 초점이 맞춰진다. 이 지점에서, 샘플 빔으로부터의 광은 VUV 분

광계에 의해 분산되고 이와 관련된 검출기에 의해 취득된다.

- [0170] 샘플 빔(3210)의 수집 후에, 참조 빔(3212)이 측정된다. 이러한 것은 셔터 S-1을 닫고 셔터 S-2를 개방하는 것에 의하여 달성된다. 이러한 것은 참조 빔(3212)이 빔 분할기 BS와 셔터 S-2를 통과하는 것을 가능하게 하고, 광은 초점 미러 M-4를 경유하여 윈도우 W-2를 통해 샘플 챔버로 다시 향하여 초점이 맞춰진다. 윈도우 W-2는 또한 상기된 바와 같은 시스템에서 높은 광학적 처리량을 유지하도록 VUV 파장들에 대해 충분히 투명한 물질로 제조된다.
- [0171] 샘플 챔버(3204) 내에서, 광이 평면 참조 미러 M-5로부터 반사되어 미러 M-4를 향해 반사되고, 미러 M-4에서 광은 수집되어 빔 분할기 BS를 향해 조준되어 다시 향하게 된다. 그런 다음, 광은 빔 분할기 BS에 의하여 미러 M-3을 향하여 반사되어, 미러 M-3에서, 광은 VUV 분광계(3214)의 입구 슬릿으로 다시 향하여 초점이 맞추어진다.
- [0172] 샘플 빔과 참조 빔들이 수집되면, 프로세서(도시되지 않음)는 참조된 VUV 반사 스펙트럼을 계산하도록 사용될 수 있다.
- [0173] VUV 데이터 세트의 측정 다음에, DUV-NIR 데이터는 소스와 검출기 플립-인 미러들 FM-1 및 FM-2을 "in" 위치로 각각 스위칭하는 것에 의하여 얻어진다. 그 결과, VUV 소스(3201)로부터의 광은 차단되고, DUV-NIR 소스(3203)로부터의 광은 공기 초점 미러 M-6에 의해 수집, 조준 및 다시 향하게 된 후에 윈도우 W-3을 통과하도록 허용된다. 유사하게, 플립-인 미러 FM-2를 "in" 위치로 스위칭하는 것은 샘플 빔(3210)(셔터 S-1은 개방되고 셔터 S-2는 폐쇄될 때)과 참조 빔(3212)(셔터 S-2는 개방되고 셔터 S-1은 폐쇄될 때)으로부터의 광을 윈도우 W-4를 통하여 미러 M-7로 향하게 하고, 미러 M-7는 광을 DUV-NIR 분광계(3216)의 입구 슬릿 상에 초점을 맞추고, DUV-NIR 분광계(3216)에서, 광은 분산되어 그 검출기에 의하여 수집된다. 적절한 DUV-NIR 분광계들과 검출기들은 오늘날 상업적으로 구입할 수 있는 것이다. 특히, 잘 일치하는 조합은 프랑스의 Jobin Yvon에 의해 제조된다. VS-70은 회전 미러를 채택하지 않는 고효율($f/2$) 광학 설계를 조합한다. 이 설비는 작은 물리적 공간을 차지하며 차수 분류 필터(order sorting filter)를 통합하여, 선형 CCD 또는 PDA 검출기와 함께 사용될 수 있다.
- [0174] 시스템으로 이용되는 플립-인 미러들은 이것들이 빔 방향성에서의 에러들과 관련된 광학 처리량에 있어서 손실을 최소화하기 위하여 빠르고 반복 가능한 형태로 스위칭할 수 있도록 설계된다. 특히 잘 적절한 동력화된 플립-인 미러는 미합중국의 New Focus에 의하여 제조된다. 약간 변형된 실시예에서, 이러한 미러들은 빔 분할기/셔터들 쌍들에 의하여 모두 대체될 수 있으며; 그러나 이것은 VUV 신호 강도에서 불필요한 손실이 수반될 수 있다.
- [0175] 샘플 빔과 참조 빔이 얻어지면, 프로세서는 참조된 DUV-NIR 반사 스펙트럼을 계산하도록 사용된다. 이러한 방식에 있어서, 참조된 반사율 데이터는 VUV와 DUV-NIR 스펙트럼 영역에서 연속적으로 얻어진다. VUV와 DUV-NIR 분광계들은 보다 높은 차수의 회절 성분들로 인한 복잡성을 피하도록 필요한 분류 필터들을 장착할 필요가 있다는 점을 유의한다.
- [0176] 진공 호환 성분들은 전형적으로 이것들의 표준 대응부들보다 설계하는데 복잡하고 제조비용이 비쌈에 따라서, 시스템 요소들은 VUV에 중요하지 않은 시스템 요소들은 제어된 환경의 외측에 장착되는 것이 따른다. 그러므로, DUV-NIR 소스(3203)와 분광계/검출기(3216)는 제어된 환경 외측에 장착된다. 그러나, 그러한 배열이 요구되지 않는다.
- [0177] 본 발명의 이 실시예에 관련된 직렬 수집 공정을 요약하는 흐름도(3300)가 도 33에 도시되어 있다. 보다 상세하게, 단계(3302)에 도시된 바와 같이, 시스템은 먼저 플립-인 소스(FM-1)와 검출기(FM-2) 미러들을 "out" 위치로 스위칭하는 것에 의하여 VUV 스펙트럼 영역의 수집을 가능하게 한다. 그런 다음, 단계(3304)에서, 시스템은 셔터 S-1을 개방하는 것에 의하여 VUV 샘플 채널 데이터 취득을 시작한다. 나아가, 단계(3306)에서, VUV 샘플 채널 데이터 취득은 셔터 S-1을 폐쇄하는 것에 의하여 단음으로써 중지된다. 그런 다음, 단계(3308)에서, VUV 참조 채널 데이터 취득은 셔터 S-2를 개방하는 것에 의하여 시작된다. 다음 단계(3310)에서, VUV 참조 채널 데이터 취득은 셔터 S-2를 폐쇄하는 것에 의하여 중지된다. 더 나아가, 단계(3312)에서, VUV 반사 스펙트럼이 계산된다. 그런 다음, 단계(3314)에서, DUV-NIR 스펙트럼 영역의 수집은 플립-인 소스(FM-1)와 검출기(FM-2) 미러들을 "in" 위치로 스위칭하는 것에 의하여 가능하게 된다. 다음에, 단계(3316)에서, DUV-NIR 샘플 채널 데이터 취득은 셔터 S-1을 개방하는 것에 의하여 시작된다. 그런 다음, 단계(3318)에서, DUV-NIR 샘플 채널 데이터 취득은 셔터 S-1을 폐쇄하는 것에 의하여 중지된다. 그 다음, 단계(3320)에서, DUV-NIR 참조 채널 데이터 취득은 셔터 S-2를 개방하는 것에 의하여 시작된다. 다음에, 단계(3322)에서, DUV-NIR 참조 채널 데이터 취득은 셔터 S-2를 폐쇄하는 것에 의하여 중지된다. 나아가, 단계(3324)에서, DUV-NIR 반사 스펙트럼이 계산된다. 그런 다음,

단계(3324)에서, VUV과 DUV-NIR 스펙트럼 영역들로부터의 데이터는 단일 광대역 반사 스펙트럼을 얻도록 함께 결합된다.

[0178] 본 발명의 이러한 실시예로부터 많은 이점들을 얻을 수 있다. 예를 들어, 시스템은 효율적이고 정확한 VUV 성능을 위해 최적화 되었다. 다른 것들 중에서, 시스템은 VUV 광자들에 의해 수행된 광 경로를 포함하는 환경이 산소와 습기와 같은 흡수종들의 농도가 적절한 광학적 작업량을 낼 수 있도록 충분히 낮은 수준에서 유지되도록 제어되는 것을 요구한다. 이러한 것은 상기에 상세하게 기술된 바와 같은 다양한 방법으로 이뤄질 수 있다. 이러한 기술들은 요구되는 시스템 성능의 수준에 따라서, 비흡수성 가스 및/또는 진공 시스템을 통한 비움으로 환경을 정화하는 것을 포함한다.

[0179] VUV 데이터 취득 동안, 플립-인 소스와 검출기 미러들은 "out" 위치로 스위칭되며, 그러므로 측정에 대한 어떠한 기계적 불특정성도 기여하지 않는다. 사실상, VUV 데이터 취득에 수반되는 이동 광학 요소는 없다(서터들을 제외하고). 이러한 것은 다중의 이유에서 유리하다. 첫 번째, 짧은 파장 VUV 측정은 전형적으로 낮은 광자 집속과 채택될 수 있는 효율적인 광학 기기들 및 코팅제의 부족으로 인하여 다른 파장 영역들의 측정들 보다 수행하는데 보다 흥미롭다. 두 번째, 초박막(<100 Å)의 특징화는 이것들의 보다 두꺼운 막 대응부들로부터의 스펙트럼처럼 간섭영향들과 관계된 구별되는 스펙트럼 특징들을 보이지 않기 때문에 주로 정확한 강도 또는 크기 정보에 의지한다.

[0180] 이 실시예에 의한 또 다른 이점은 높은 반복 가능한 결과들이 성취되도록 수집된 데이터 세트를 참조하는 빠르고 자동화된 수단들을 제공한다는 점이다. 이러한 능력은 시스템의 광학 처리량에서의 변화들에 의하여 도입되는 에러들을 감소시키거나 또는 모두 제거하도록 작용한다. 보다 긴 파장들에서, 이러한 변화들은 전형적으로 소스 출력에서의 변화에 의해 강제되는 반면에, 광 경로의 환경에서 흡수종들의 VUV 변화는 현저할 것으로 예측된다.

[0181] 본 발명의 이 실시예에 의한 또 다른 이점은 단일 광학 운반/수집 모듈의 사용과 관계한다. 이러한 공통의 모듈은 조사된 스펙트럼 영역에 관계없이 동일한 스폿 크기 및 정위(orientation)를 사용하여 샘플 상의 동일한 위치로부터 데이터 수집을 용이하게 하도록 작용한다. 이러한 목적을 위하여, DUV-NIR 소스와 분광계는 VUV 소스와 분광계의 것들과 실질적으로 유사한 광 수집/운반 특징들을 유지하도록 선택된다. 시스템의 이러한 양태는 패턴화된 샘플들이 연구중에 있는 상황에서 특히 중요하다.

[0182] 추가적으로, 단일 광학 모듈은 집적과 제조 동안에, 특히 자동 초점화 루틴들로부터 야기되는 복잡성과 관련하여 설비의 정렬을 단순화한다.

[0183] 본 발명에 의한 또 다른 이점은 작동의 직렬 방법에서 나온다. 산란 공정을 통해 발생하는 미광은 간단히 참조될 수 없고 기록된 반사율 데이터에서 비선형 시스템 응답 및 부정확성이 따를 수 있기 때문에 문제가 될 수 있다. 각각의 파장영역들로부터 연속적으로 데이터를 수집하고 참조하는 것에 의하여, 검출기에 기록된 산란된 광자들의 강도는 상당히 감소될 수 있다. 이러한 것은 하나의 소스로부터 단지 광이 주어진 시간에 시스템을 통해 전파되기 때문에 따른다. 그러므로, 다른 스펙트럼 영역으로부터의 광은 산란될 수 없고 검출기에 기록된 위조 신호들로 이끈다. 이러한 것은 VUV 파장영역에서 작동할 때, 산란 기구들이 보다 긴 파장에서보다 더 큰 역할을 하기 때문에 특히 바람직하다.

[0184] 상기된 광대역 시스템 및 기술들은 대안적인 소스들, 분광계들 및 검출기들의 추가를 통하여 간단히 다른 스펙트럼 영역들을 에워싸도록 간단하게 확장될 수 있다. 도 34는 제 1 스펙트럼 영역에서의 동작을 위해 최적화되고 제 2 및 제 3 스펙트럼 영역들에서의 잘 수행되도록 설계된 본 발명의 한 실시예에서 대안적인 광대역 시스템(3400)을 나타낸다. 예를 들어 도 32에 도시된 바와 같은 소스(3201,3203)에 추가하여, 제 3 소스(3302)가 이용될 수도 있다. 하나의 실시예에서, 소스(3201)는 VUV 소스이고, 소스(3203)은 심자외선(DUV) 소스이며, 소스(3302)는 NIR 소스일 수도 있다. VUV 분광계(3214)에 대응하여, 심자외선(DUV) 분광계(3216)와 NIR 분광계(3304)는 각각의 관련된 소스와 함께 이용될 수도 있다. 이전과 같이, 소스와 검출기 플립-인 미러의 세트들은 대안적인 소스들로부터 대안적인 분광계들과 검출기들로 광을 운반하도록 사용된다. 이 실시예에서, 제 1 스펙트럼 영역 데이터는 "out" 위치에서 모든 플립-인 미러들(FM-1, FM-2, FM-3, FM-4)을 사용하여 수집되고, 제 2 스펙트럼 영역 데이터는 소스(3203)를 "in" 위치로 스위칭된 플립-인 미러 FM-1과 FM-2들과 함께 소스(3203)를 이용하여 수집되며, 제 3 스펙트럼 영역 데이터는 소스(3302)를 "in" 위치로 스위칭된 FM-3과 FM-4와 함께 단지 소스(3302)를 이용하여 수집된다.

[0185] 이 실시예를 위한 직렬 측정 공정의 흐름도(3500)가 도 35에 도시되어 있다. 보다 상세하게, 단계(3502)에 도시

된 바와 같이, 제 1 스펙트럼 영역의 수집은 모든 플립-인 소스와 검출기 미러들을 "out" 위치로 스위칭하는 것에 의하여 가능하게 된다. 그런 다음, 단계(3504)에서, 제 1 샘플 채널 데이터 취득은 셔터 S-1을 개방하는 것으로 시작된다. 다음에, 단계 (3506)에서, 제 1 샘플 채널 데이터 취득은 셔터 S-1을 폐쇄하는 것에 의해 중지된다. 나아가, 단계(3508)에서, 제 1 참조 채널 데이터 취득은 셔터 S-2를 개방하는 것으로 시작된다. 그런 다음, 단계(3510)에서, 제 1 참조 채널 데이터 취득은 셔터 S-2를 폐쇄하는 것으로 정지된다. 그런 다음, 단계 (3512)에서, 제 1 스펙트럼 영역 반사 스펙트럼이 계산된다. 그런 다음, 단계(3514)에서, 제 2 스펙트럼 영역의 수집은 플립-인 소스(FM-1)와 검출기(FM-2) 미러들을 "in" 위치로 스위칭하는 것에 의해 가능하게 된다. 다음에, 단계(3516)에서, 제 2 스펙트럼 영역 샘플 채널 데이터 취득은 셔터 S-1을 개방하는 것으로 시작된다. 다음에, 단계(3518)에서, 제 2 스펙트럼 영역 샘플 채널 데이터 취득은 셔터 S-1을 폐쇄하는 것으로 중지된다. 그런 다음, 단계(3520)에서, 제 2 스펙트럼 영역 참조 채널 데이터 취득은 셔터 S-2를 개방하는 것에 의해 시작된다. 다음에, 단계(3522)에서, 제 2 스펙트럼 영역 참조 채널 데이터 취득은 셔터 S-2를 폐쇄하는 것에 의해 정지된다. 나아가, 단계(3524)에서, 제 2 스펙트럼 영역 참조 스펙트럼이 계산된다. 그런 다음, 단계(3526)에서, 제 3 스펙트럼 영역의 수집은 플립-인 소스(FM-1)와 검출기(FM-2) 미러들을 "out" 위치로 그리고 플립-인 소스(FM-3)와 검출기(FM-4) 미러들을 "in" 위치로 스위칭하는 것에 의해 가능하게 된다. 그런 다음, 단계(3528)에서, 제 3 스펙트럼 영역 샘플 채널 데이터 취득은 셔터 S-1을 개방하는 것으로 시작된다. 다음에, 단계(3530)에서, 제 3 스펙트럼 영역 샘플 채널 데이터 취득은 셔터 S-1을 폐쇄하는 것에 의해 중지된다. 다음에, 단계(3532)에서, 제 3 스펙트럼 영역 참조 채널 데이터 취득은 셔터 S-2를 개방하는 것에 의해 시작된다. 나아가, 단계(3534)에서, 제 3 스펙트럼 영역 참조 채널 데이터 취득은 셔터 S-2를 폐쇄하는 것에 의해 중지된다. 그런 다음, 단계(3536)에서, 제 3 스펙트럼 영역 반사 스펙트럼이 계산된다. 다음에, 단계(3538)에서, 제 1, 제 2 및 제 3 스펙트럼 영역들로부터의 데이터는 단일 광대역 반사 스펙트럼을 얻도록 함께 접합된다.

[0186] 본 발명의 한 실시예에서, 소스(3201,3203)들 및 분광계(3214,3216)들의 선택이 플립-인 미러들을 통하기 보다는 오히려 회전 초점 광학기기 RM-1과 RM-2를 통해 달성되는 대안적인 광대역 시스템(3600)이 도 36에 도시되어 있다. 이 실시예에서, RM-1과 RM-2들은 90도의 회전각을 구비한 편심 포물경들이다. 그러므로, RM-1은 VUV 소스(3201) 또는 DUV-NIR 소스(3203)로부터의 광을 수집하기 위하여 RM-1과 빔 분할기 BS를 연결하는 선에 의해 한정된 광축을 중심으로 회전될 수 있다. 유사하게, 초점 미러 RM-2는 VUV 분광계(3214) 또는 DUV-NIR 분광계(3216)의 입구 슬릿 위로 광을 초점화하기 위해 RM-2와 BS사이의 선에 의해 한정된 축선을 중심으로 회전될 수 있다.

[0187] 이러한 배열은 도 32의 실시예의 그 것 보다 적은 광학 부품들을 사용하고, 그러므로 보다 작은 설비 면적을 차지한다. 이러한 접근의 잠재적인 결점은 초점 광학기기 RM-1과 RM-2의 회전으로 인하여 VUV 측정 공정으로의 일정 정도의 기계적 불특정성을 초래한다는 것이다.

[0188] 참조 채널(3212)에 채택된 평형화된 간섭계가 도 32, 도 34 및 도 36에 도시된 마이컬슨 구성보다는 오히려 마하-젠더 형태의 것인 본 발명의 대안적인 실시예가 시스템(3700)에 관련하여 도 37에 도시되어 있다. 이 실시예는 추가적인 광학 요소들을 요구하지만, 샘플(3206)의 표면으로 그리고 그 표면으로부터 광의 각의 운반 및 수집에 관련하여 보다 큰 유연성을 제공한다.

[0189] 동작시에, 제 1 소스(3201)로부터의 광은 초점미러 M-1에 의해 수집되어, 빔 분할기 BS-1를 향하여 조준 및 다시 향하게 되고, 빔 분할기 BS-1에서, 샘플 빔(3210)과 참조 빔(3212)의 성분으로 분리된다. 샘플 빔(3210)은 셔터 S-1이 개방되고 셔터 S-2가 폐쇄될 때 이용된다. 이 상태에서, 빔 분할기 BS-1로부터 반사된 광은 초점 미러 M-2에 의해 윈도우 W-1을 통해 샘플 상으로 수집되고 초점이 맞춰진다. 샘플(3206)로부터 반사되는 광은 윈도우 W-1을 경유하여 샘플 챔버(3204)를 빠져나가고, 초점 미러 M-3에 의해 수집되어 평면 미러 M-4로 다시 향하게 된다. 미러 M-4를 떠나는 광은 제 2 빔 분할기 BS-2를 통과하여, 초점 미러 M-5에 의해 제 1 스펙트럼 영역 분광계(3214)의 입구 슬릿 상에 수집되고 초점이 맞춰진다. 이 지점에서, 샘플 빔(3210)으로부터의 광은 분광계에 의해 분산되고, 검출기에 의해 취득된다.

[0190] 제 1 스펙트럼 영역 샘플 빔을 수집한 후에, 제 1 스펙트럼 영역 참조 빔이 측정된다. 이러한 것은 셔터 S-1을 폐쇄하고 셔터 S-2를 개방하는 것에 의해 이루어진다. 이러한 것은 참조 빔(3212)이 빔 분할기 BS-1을 통과하는 것을 허용하며, BS-1에서, 광은 초점 미러 M-6를 경유하여 윈도우 W-2를 통해 샘플 챔버(3204)로 다시 향하여 초점이 맞춰진다. 샘플 챔버(3204) 내에서, 광이 평면 참조 미러 M-7의 표면으로부터 반사되고, 초점미러 M-8에 의해 수집되어 평면 미러 M-9를 향해 조준되어 다시 향하게 된다. 이 광은 빔 분할기 BS-2에 의해 반사되고, 초점 미러 M-5에 의해 제 1 스펙트럼 영역 분광계(3214)의 입구 슬릿위로 다시 향하게 되고 초점이 맞춰진다. 샘플 및 참조 빔들이 얻어지면, 제 1 스펙트럼 영역을 위한 참조된 반사율 데이터가 프로세서(나타나지 않는)를

사용하여 계산된다.

- [0191] 제 2 및 제 3 스펙트럼 영역으로부터의 데이터는 대안적인 소스들로부터 광을 운반하고 분광계와 관련된 검출기들을 대체하도록 소스 및 검출기 플립-인 미러들의 세트들을 사용하여 다시 수집된다. 특히, 제 2 스펙트럼 영역 데이터는 오직 플립-인 미러들 FM-1과 FM-2가 "in" 위치에 있을 때만 수집되고, 제 3 스펙트럼 영역 데이터는 오직 FM-3과 FM-4가 "in" 위치에 있을 때만 수집된다.
- [0192] 본 발명의 또 다른 실시예는 도 38에서 시스템(3800)으로 나타난다. 이중 스펙트럼 영역 구성은 또한 마하-젠더 간섭계 참조 시스템을 통합하지만, 스펙트럼 영역들 사이에서 선택하도록 플립-인 미러들의 사용을 요구하지 않는다. 대신, 2개의 추가적인 소스 서터(S-1과 S-4)들이 이러한 임무를 달성하도록 시스템에 추가되었다. 제 1 스펙트럼 영역의 측정이 수행될 때, 서터 S-1이 개방되고 서터 S-4가 폐쇄된다. 역으로, 제 2 스펙트럼 영역이 측정될 때, 서터 S-1이 폐쇄되고 서터 S-4가 개방된다.
- [0193] 이러한 실시예가 플립-인 미러들을 이용하지 않음에 따라서, 플립-인 미러들과 관련된 기계적 위치선정 에러들이 제거되었기 때문에, 시스템 반복성이 이전에 기술된 실시예들에 관계하여 어느 정도 향상될 수 있다.
- [0194] 도 38의 실시예를 위한 연속 측정 공정 흐름도(3900)가 도 39에 나타나 있다. 보다 상세하게, 단계(3902)에서 도시된 바와 같이, 제 1 스펙트럼 영역 데이터의 수집은 제 1 소스 서터 S-1을 개방하는 것에 의해 가능하게 된다. 그런 다음, 단계(3904)에서, 제 1 스펙트럼 영역 샘플 채널 데이터 취득은 서터 S-2를 개방하는 것에 의해 시작된다. 다음에, 단계(3906)에서, 제 1 스펙트럼 영역 샘플 채널 데이터 취득은 서터 S-2를 폐쇄하는 것으로 중지된다. 그런 다음, 단계(3908)에서, 제 1 스펙트럼 영역 참조 채널 데이터 취득은 서터 S-3을 개방하는 것에 의해서 시작된다. 나아가, 단계(3910)에서, 제 1 스펙트럼 영역 레퍼런스 채널 데이터 취득은 서터 S-3을 폐쇄하는 것에 의해 중지된다. 그런 다음, 단계(3912)에서, 제 1 스펙트럼 영역 반사 스펙트럼이 계산된다. 다음에, 단계(3914)에서, 제 2 스펙트럼 영역의 수집은 제 1 소스 서터 S-1을 폐쇄하고 제 2 소스 서터 S-4를 개방하는 것에 의해 가능하게 된다. 그런 다음, 단계(3916)에서, 제 2 스펙트럼 샘플 채널 데이터 취득은 서터 S-2를 개방하는 것에 의해 시작된다. 다음에, 단계(3918)에서, 제 2 스펙트럼 샘플 채널 데이터 취득은 서터 S-2를 폐쇄하는 것에 의해 중지된다. 나아가, 단계(3920)에서 제 2 스펙트럼 참조 채널 데이터 취득은 서터 S-3을 개방하는 것에 의해 시작된다. 그런 다음, 단계(3922)에서, 제 2 스펙트럼 참조 채널 데이터 취득은 서터 S-3을 폐쇄하는 것에 의해서 중지된다. 다음에, 단계(3924)에서, 제 2 스펙트럼 반사 스펙트럼이 계산된다. 그런 다음, 단계(3926)에서, 제 1 및 제 2 스펙트럼 영역으로부터의 데이터는 단일 광대역 반사 스펙트럼을 얻도록 함께 접합된다.
- [0195] 그러므로, 상기된 바와 같이, 제 1 스펙트럼 영역에서의 동작을 위해 최적화되고 적어도 하나의 다른 스펙트럼 영역에서 원활하게 수행할 수 있는 광대역 시스템이 제공된다. 광학 모듈에서 공통의 운반 및 수집 광학 기기들은 별도의 스펙트럼 영역들에서의 측정이 유사한 스폿 성질들을 사용하여 수집될 수 있도록 한다. 예를 들어, 샘플로부터의 수집을 위한 유사한 스폿 크기는 얻어질 수도 있다. 더욱이 수집 스폿 정위는 본질적으로 상이한 스펙트럼 영역들 사이에 실질적으로 유사할 수도 있다. 아울러, 기술된 시스템과 기술들은 직렬 데이터 수집 접근을 허용하는 것에 의하여, 별도의 스펙트럼 영역으로부터의 데이터는 미광 복잡성을 피하도록 연속적으로 수집된다. 시스템은 움직이는 광학 요소(서터를 제외한)들이 제 1 스펙트럼 영역으로부터의 데이터 수집에서 포함되지 않도록 설계될 수도 있다. 추가적으로, 시스템은 별도의 스펙트럼 영역을 위해 최적화된 선택할 수 있는 소스들과 검출기들을 나타내는 광학 모듈을 통합할 수도 있다. 광학 모듈은 또한 크게 반복 가능한 결과들이 얻어지는 것을 보장하도록 신속하게 참조하는 측정 데이터를 위한 기구를 제공할 수도 있다.
- [0196] 따라서, 상기된 바와 같은 광대역 시스템과 기술들은 다중 스펙트럼 범위에 걸쳐서 샘플로부터 광학 계측 데이터의 정확한 수집을 허용하는 계측 시스템을 제공한다. 광범위한 파장을 위한 광학 데이터를 가지는 것에 의해, 설비의 사용자에 의해 채택되는 맞춤 알고리즘들은 2개 이상의 스펙트럼 영역들로 구성되는 데이터 세트에 의한 보다 높은 레벨의 구축의 전체적인 이점을 취하는 것에 의하여 보다 빠른 수렴 및 보다 정확한 결과들을 달성한다.
- [0197] 광학 데이터가 상기된 바와 같은 다중 스펙트럼 영역들을 위하여 수집될 때, 데이터는 분석될 수도 있는 연속적인 데이터 세트를 형성하도록 컴퓨터, 프로세서 또는 그와 같은 것들에 결합될 수도 있다. 데이터는 광범위한 방식으로 결합될 수도 있고, 이상적으로, 각각의 분광계로부터의 데이터는 스펙트럼 영역들이 결합하는 지점에서 일치한다. 예를 들어, 미리 결정된 파장들은 어떤 분광계가 특정 파장을 위한 데이터를 수집하기 위해 이용될 것인지를 결정하도록 선택될 수도 있다. 예를 들어, 190nm 이하의 파장들에 대하여, 데이터는 VUV 단지 분광계부터만 얻어질 수도 있고, 190nm 이상의 큰 파장들에 대하여, 데이터는 DUV-NIR 분광계로부터 얻어질 수도

있다. 그러나, 이러한 접근은 결과들이 교차점에서 각 분광계로부터 변한다면 파장의 교차점에서 수집된 데이터의 불연속성을 야기할 수도 있다. 그러한 변화들은 맞춤 알고리즘과 데이터 처리를 복잡하게 할 수도 있다. 또 다른 접근에 있어서, 데이터가 각 분광계로부터 수집되는 파장들은 일부 결정된 범위, 예를 들어 20nm에서 중첩될 수도 있다. 이러한 중첩된 영역에서, 각 파장에 대한 데이터는 각 분광계로부터의 평균으로 계산될 수도 있다. 또 다른 대안으로, 차선 평균값 또는 최적 알고리즘은 데이터를 결합하도록 적용될 수 있다. 각각의 스펙트럼 영역으로부터의 데이터를 결합하는 어떤 다른 적합한 방법이 또한 이용될 수도 있다.

[0198] 본 발명의 다른 변형이나 대체되는 실시예는 상세한 설명을 본 당해 기술분야의 통상의 지식을 가진 자에게 자명할 것이다. 따라서 본 상세한 설명은 설명서로서만 해석되는 것이고 당해 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명의 실시방법을 설명하는데 목적이 있다. 본 명세서에서 설명되고 보여진 본 발명의 형태는 현재의 선순위의 실시예로서 이해되는 것이다. 동일한 요소들은 본 명세서에서 설명되고 도시된 것들을 대체할 수도 있으며 본 발명의 특정된 특징들은 다른 특징들의 사용과는 독립적으로 이용될 수도 있으며 모두 본 상세한 설명을 본 이후 당해 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자에게 자명한 것이다.

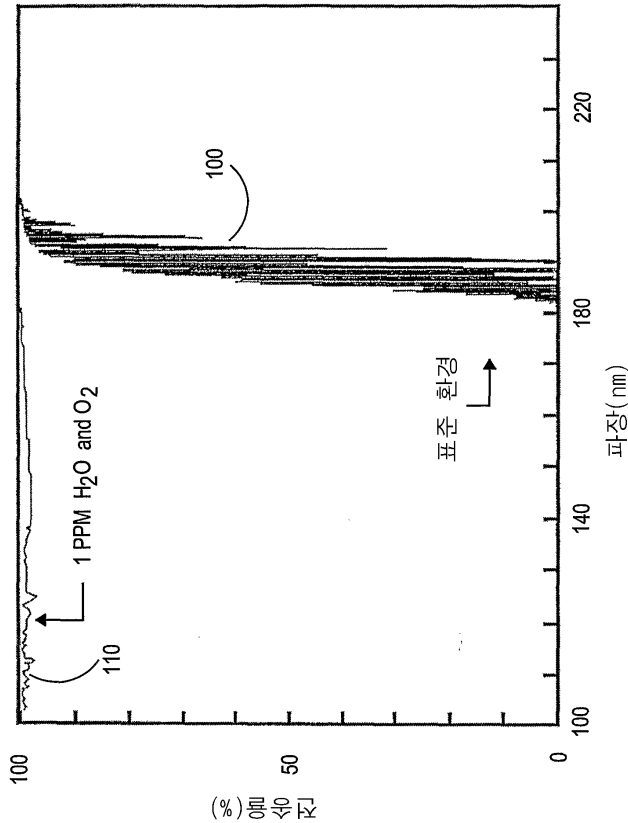
도면의 간단한 설명

- [0032] 본 발명의 보다 완전한 이해 및 그 이점들은 첨부된 도면들을 참조하여 기술된 상세한 설명을 참조하여 숙지될 것이며, 도면에서, 동일한 부분에 대해서는 동일 부호를 사용한다. 그러나, 첨부된 도면들은 단지 본 발명의 예시적인 실시예들을 도시하며, 그러므로, 본 발명의 사상을 한정하는 것으로 고려되지 않으며, 본 발명은 다른 동일하게 유효한 실시예들에 대해 허용할 수 있다.
- [0033] 도 1은 100cm의 표준 대기 대 1PPM의 H₂O 및 O₂를 함유한 100cm의 제어된 환경을 통한 광전송의 비교를 나타낸 도면.
- [0034] 도 2는 VUV 반사율계를 개략적으로 도시한 도면.
- [0035] 도 3은 MgF₂ 윈도우가 장비된 하마마츠 중수소 램프로부터의 스펙트럼 출력을 도시한 도면.
- [0036] 도 4는 액톤 리서치 코포레이션의 "Solar-blind" 광대역 VUV 필터를 도시한 도면.
- [0037] 도 5는 참조 채널의 통합을 예시한 VUV 반사율계의 개략 평면도.
- [0038] 도 6은 전형적인 편심 포물경(off-axis parabolic mirror)을 도시한 도면.
- [0039] 도 7은 액톤 리서치 코포레이션의 광대역 VUV-UV 반사 코팅을 나타낸 도면.
- [0040] 도 8은 얇은 각(실선) 및 넓은 각(점선) 투사 구성을 이용한 관통-펠리클(through-pellicle) 측정의 예를 도시한 도면.
- [0041] 도 9는 패턴화된 샘플 상의 상이한 물리적 위치들로부터 다중 스펙트럼을 동시에 기록하도록 화상 반사율계의 사용을 도시한 도면.
- [0042] 도 10은 참조 채널을 구비한 대안적인 VUV 반사율계의 개략도.
- [0043] 도 11은 설비 챔버 내에 수용된 실제의 모든 광학 기기들을 구비한 대안적인 VUV 반사율계의 개략도.
- [0044] 도 11a는 도 11의 시스템의 대안적인 개략도.
- [0045] 도 11b는 공정 공구가 예시된 도 11의 시스템의 개략도.
- [0046] 도 12는 전형적인 측정 흐름도.
- [0047] 도 12a는 예시적인 상세한 측정 흐름도.
- [0048] 도 13은 액톤 리서치 코포레이션에 의해 제조된 VUV 빔 분할기와 관련된 전형적인 특성을 도시한 도면.
- [0049] 도 14는 농도 차이 및 경로 길이 차이들의 함수로서 에러 도표(Error plots)들을 도시한 도면.
- [0050] 도 15는 전형적인 반사율 측정을 나타낸 개략도.
- [0051] 도 16은 실리콘 기판에 증착된 박막 Al₂O₃로부터 측정 및 계산된 반사율을 나타낸 도면.
- [0052] 도 17은 반복 맞춤 공정을 통한 Al₂O₃층을 위해 얻어진 광학 특성(n 및 k 값)을 나타낸 도면.

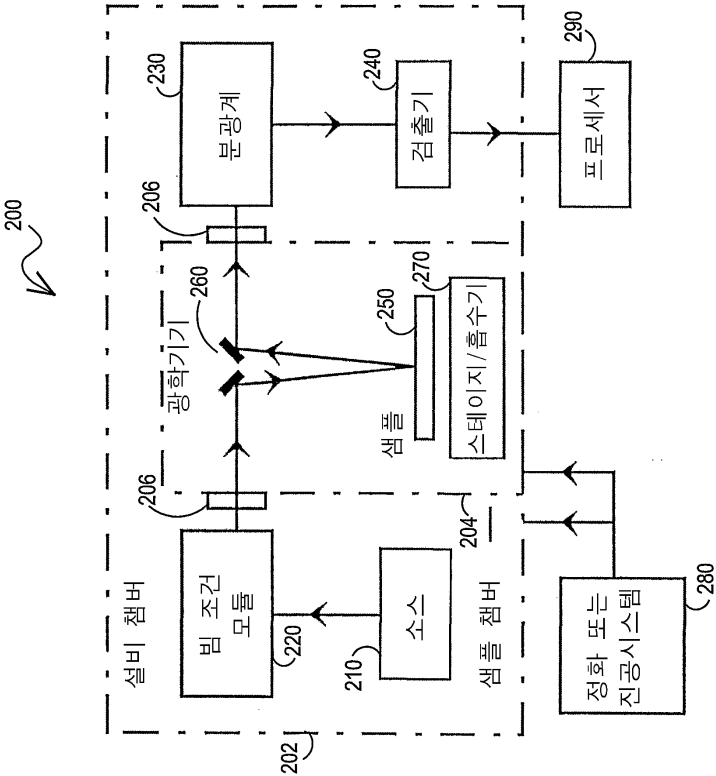
- [0053] 도 18은 마스크 블랭크에 증착된 잔류 포토레지스트의 초박층(5Å)과 관련된 반사 신호를 나타낸 도면이고, 차이 신호(difference signal)는 층 두께에 있어서 1nm 증가에 대응한다.
- [0054] 도 19는 실리콘 기판 상의 10Å, 14Å 및 18Å의 SiON 층들로부터 반사 신호를 나타낸 도면.
- [0055] 도 20은 10Å의 SiON 층에 대한 막 두께에 있어서 증가와 관련된 130nm, 157nm 및 193nm에서의 반사율 차이 신호를 나타낸 도면.
- [0056] 도 21은 10-15%의 범위에 있는 질소 농도를 처리하는 16Å의 SiON 층들의 매트릭스와 관련된 차이 신호를 나타낸 도면.
- [0057] 도 22는 10%의 질소를 가진 16Å의 SiON 층에 대한 질소 농도에 있어서 증가와 관련된 130nm, 157nm 및 193nm에서의 반사율 차이 신호를 나타낸 도면.
- [0058] 도 22a는 20Å의 SiON에 대한 상이한 질소 도핑 프로파일을 나타낸 도면이고, 모든 경우에, 샘플들이 $1e^{15}$ 원자/cm²의 동일한 선량(dose)에 노출된다.
- [0059] 도 22b는 다양한 불균일한 질소 분포로부터 따르는 반사율 차이 신호(균일하게 도핑된 샘플에 관계하여)들을 나타낸 도면.
- [0060] 도 23은 반사율 측정 동안 전형적인 반도체 스택 샘플과 투사 DUV 및 VUV의 상호 작용을 나타낸 도면.
- [0061] 도 24는 상이한 SiN 두께를 보여주는 SiO₂/SiN/Si 샘플들로부터의 반사율 스펙트럼을 나타낸 도면.
- [0062] 도 25는 상이한 SiO₂ 층 두께를 보여주는 SiO₂/SiN/Si 샘플들로부터의 반사율 스펙트럼을 나타낸 도면.
- [0063] 도 26은 양쪽 모두 반사되고 회절된 빔들을 예시하는 전형적인 광파산란계측(scatterometry) 측정을 나타낸 개략도.
- [0064] 도 27은 광파산란계측 측정을 통하여 얻어진 전형적인 출력을 나타낸 개략도.
- [0065] 도 28은 65nm의 라인 배열과 관련된 반사 신호와 공칭의 65nm 라인 폭에서의 1nm 증가에 대응하는 차이 신호를 나타낸 도면.
- [0066] 도 29는 63nm, 65nm 및 67nm 라인들 및 공간들과 비교된 라인 배열들과 관련된 반사 신호를 나타낸 도면.
- [0067] 도 30은 (1000Å의 공칭의 라인 높이에 대하여) 65nm의 넓은 라인들 및 공간들과 비교된 라인 배열과 관련된 반사 신호를 나타내고, 차이 신호는 상기 구조의 라인 높이에 있어서 10Å 증가에 대응한다.
- [0068] 도 31은 광학 모듈을 구비한 광대역 반사율계의 개략도.
- [0069] 도 32는 VUV 및 DUV-NIR 스펙트럼 영역들을 커버하는 광대역 참조 반사율계를 나타낸 도면.
- [0070] 도 33는 VUV 및 DUV-NIR 스펙트럼 영역들을 커버하는 광대역 참조 반사율계를 위한 일련의 측정 흐름을 나타낸 도면.
- [0071] 도 34는 3개의 스펙트럼 영역들을 커버하는 광대역 참조 반사율계를 나타낸 도면.
- [0072] 도 35는 3개의 스펙트럼 영역들을 커버하는 광대역 참조 반사율계를 위한 일련의 측정 흐름을 나타낸 도면.
- [0073] 도 36은 회전 미러들을 사용하고 VUV 및 DUV-NIR 스펙트럼 영역들을 커버하는 광대역 참조 반사율계의 대안적인 실시예를 나타낸 도면.
- [0074] 도 37은 3개의 스펙트럼 영역들을 커버하는 광대역 참조 반사율계의 대안적인 실시예를 나타낸 도면.
- [0075] 도 38은 플립인(flip-in) 미러들 없이 2개의 스펙트럼 영역들을 커버하는 광대역 참조 반사율계의 대안적인 실시예를 도시한 도면.
- [0076] 도 39는 플립인 미러들 없이 2개의 스펙트럼 영역들을 커버하는 광대역 참조 반사율계에 대한 일련의 측정 흐름을 나타낸 도면.

도면

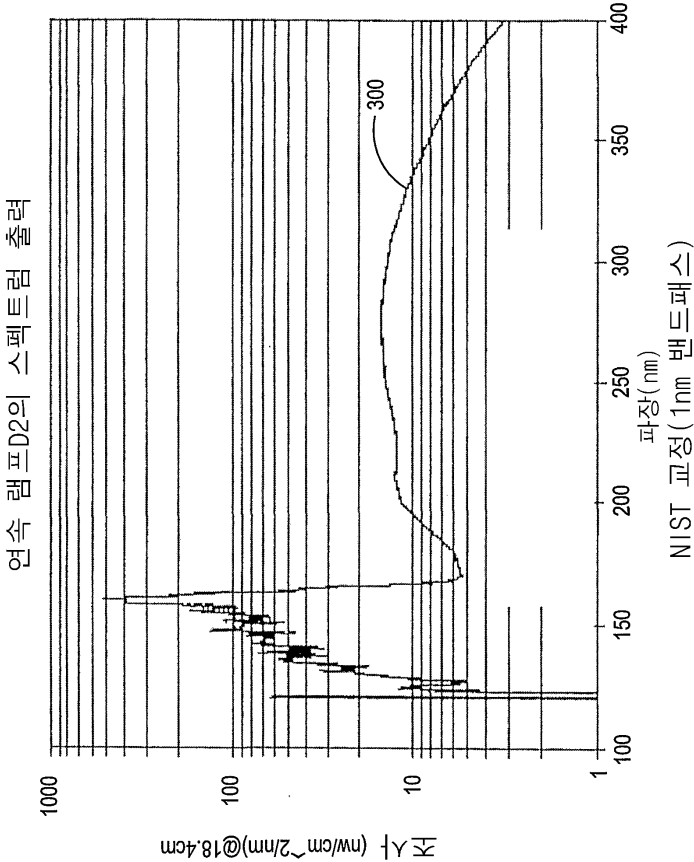
도면1



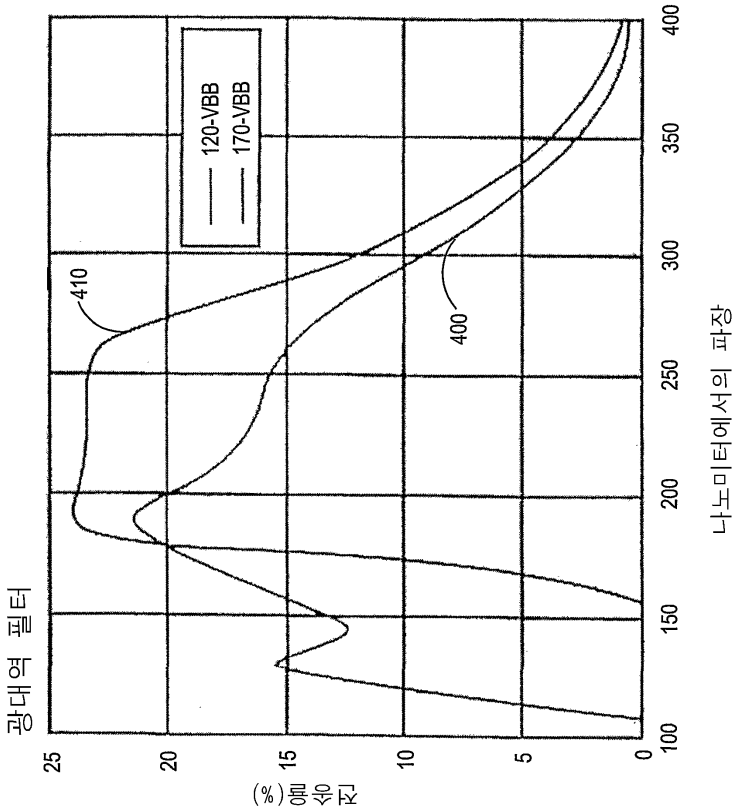
도면2



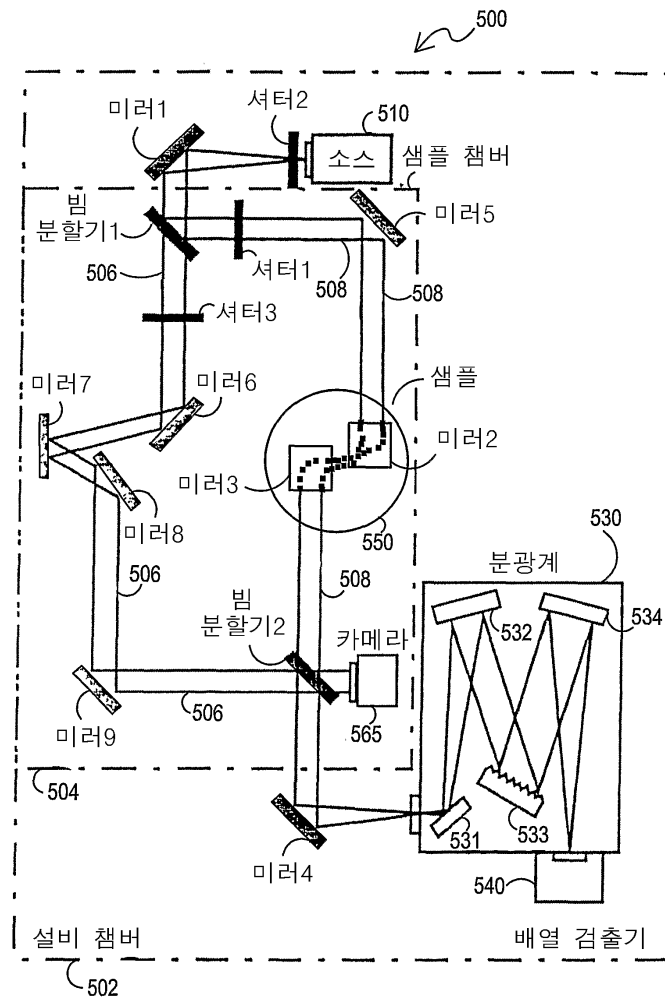
도면3



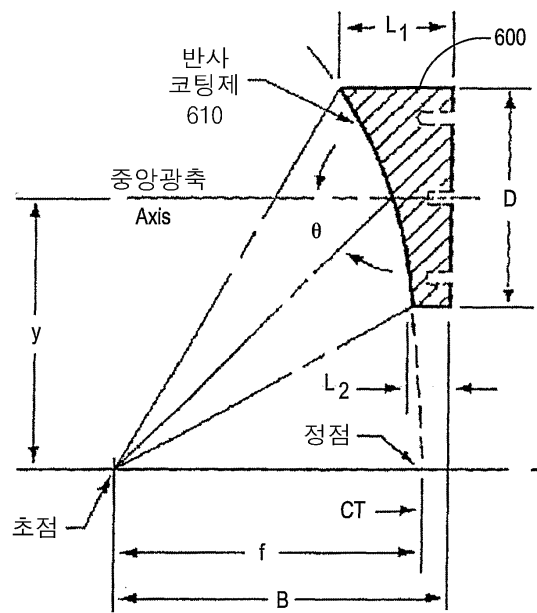
도면4



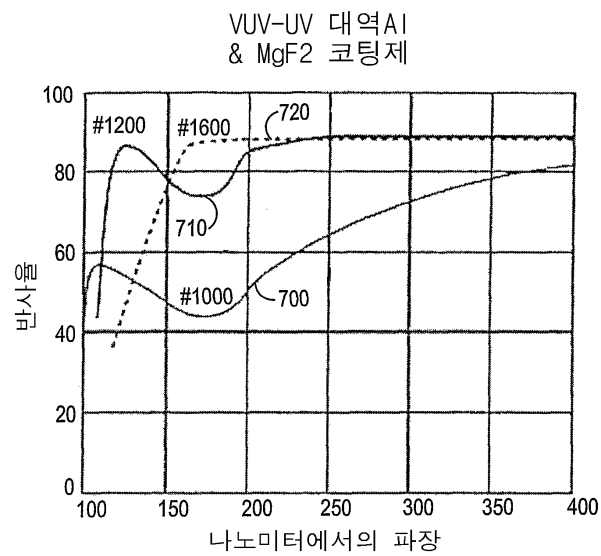
도면5



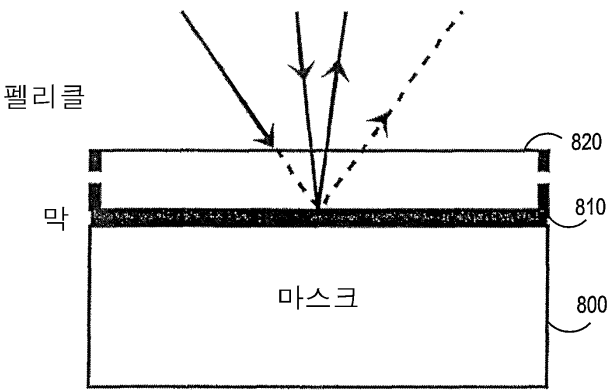
도면6



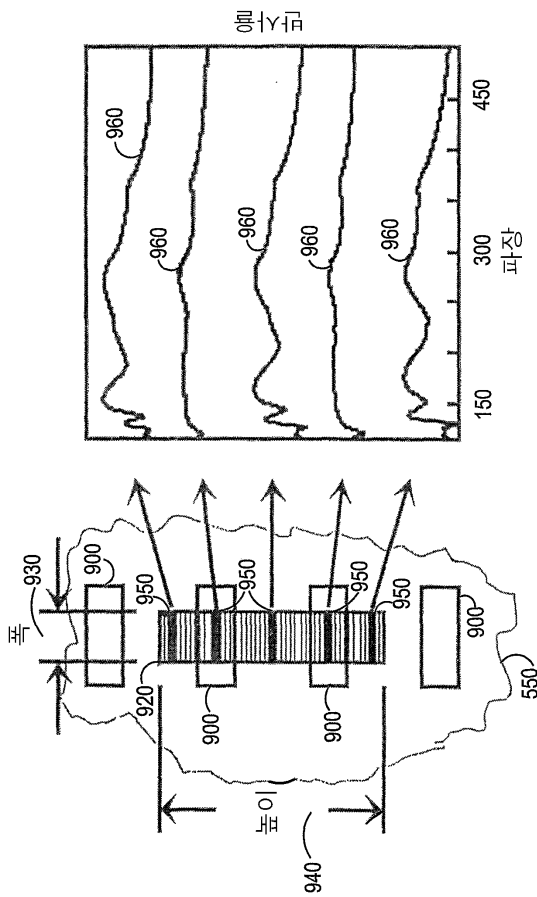
도면7



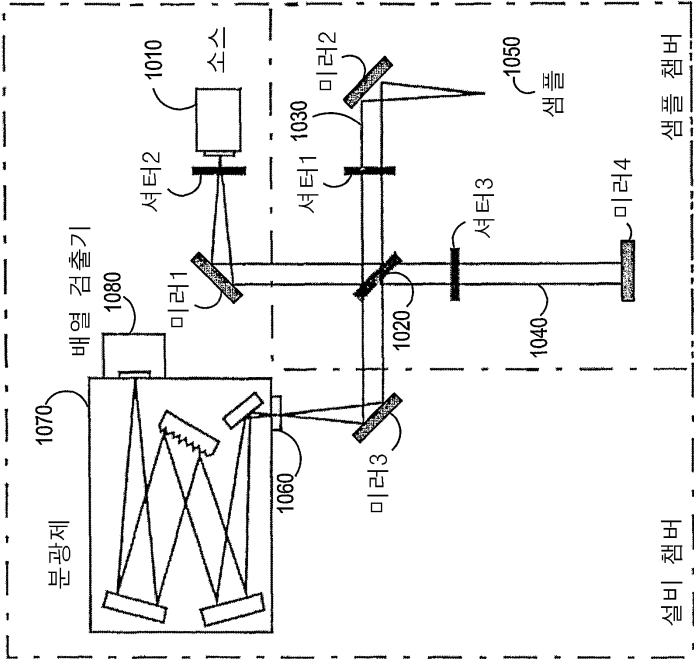
도면8



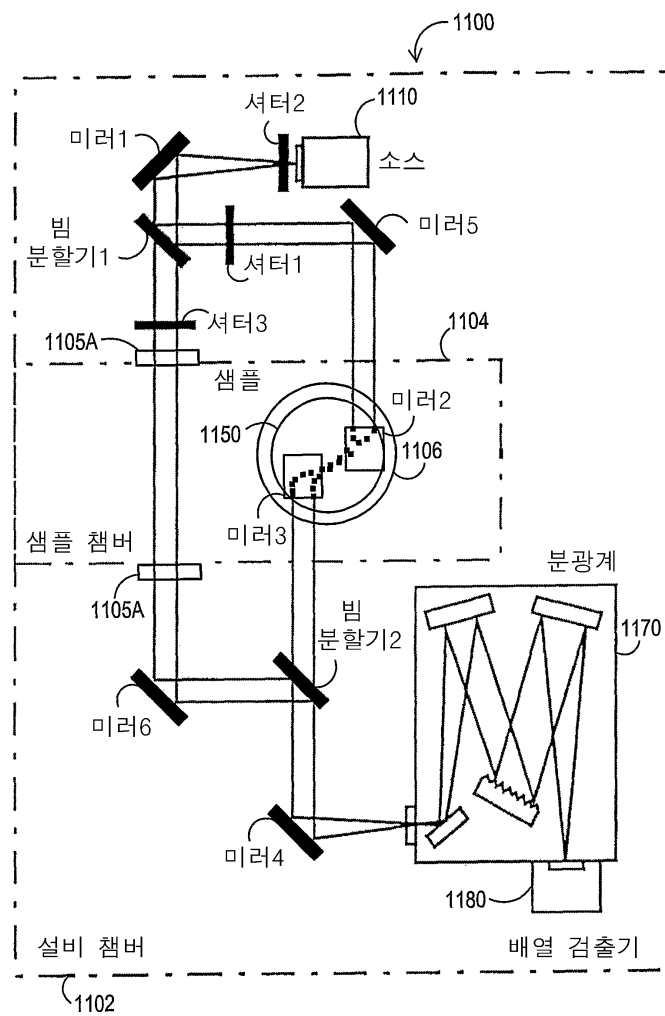
도면9



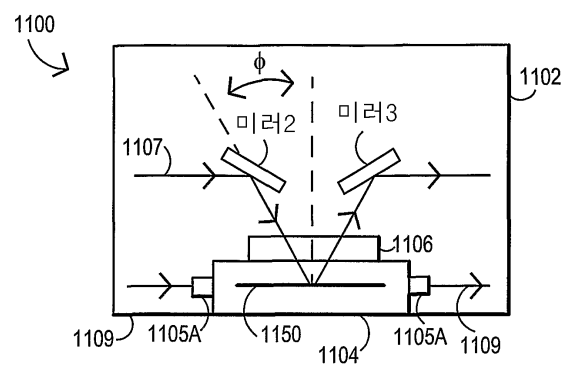
도면10



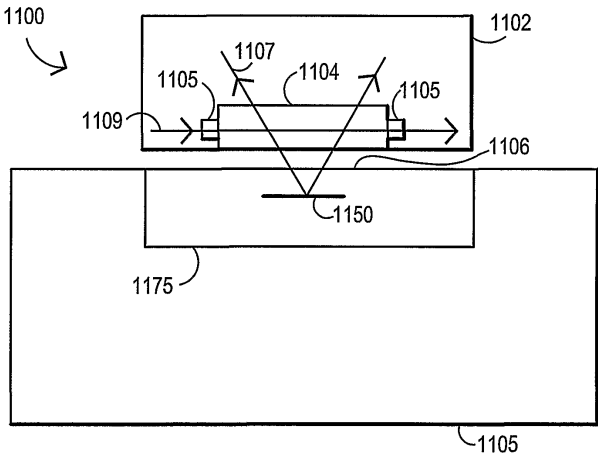
도면11



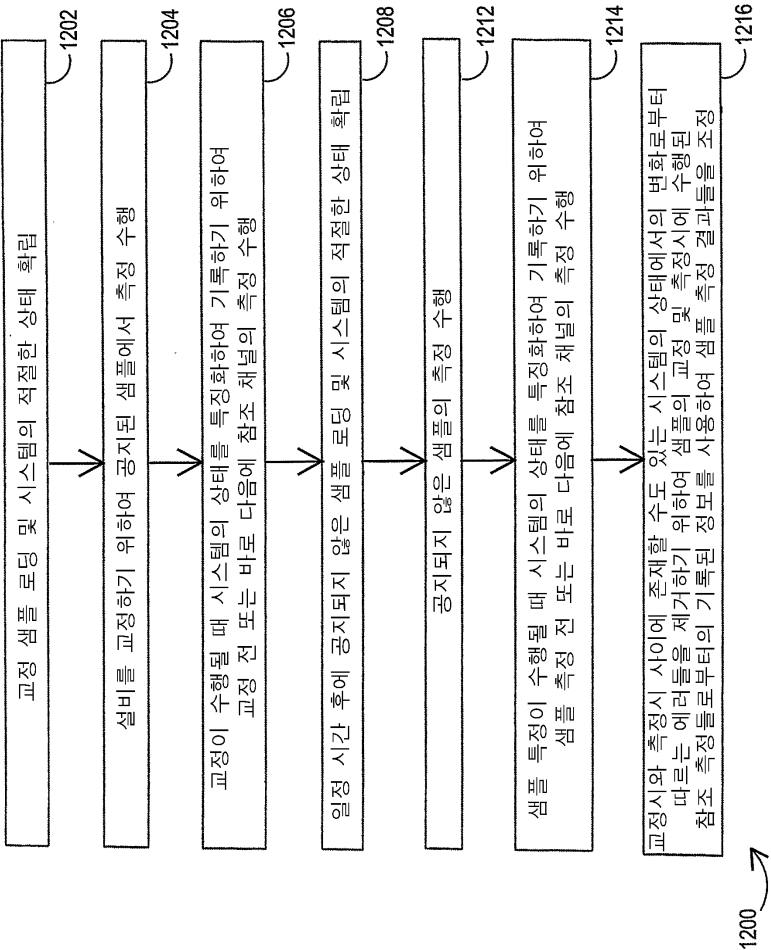
도면11a



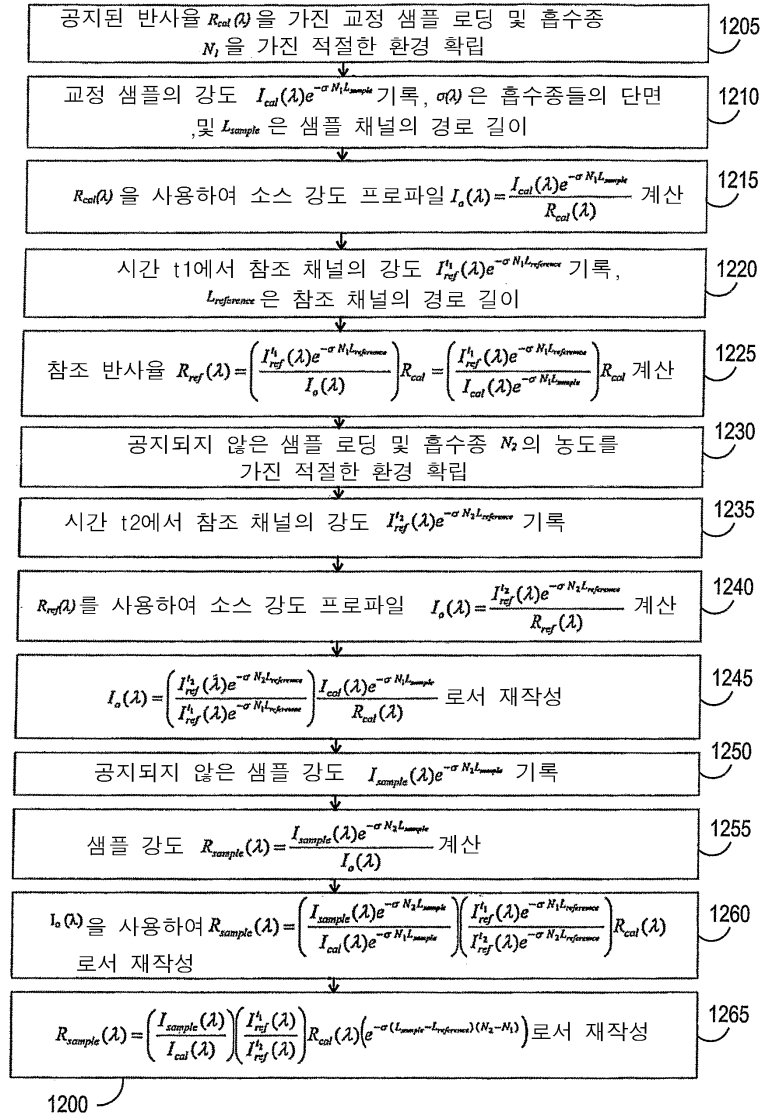
도면11b



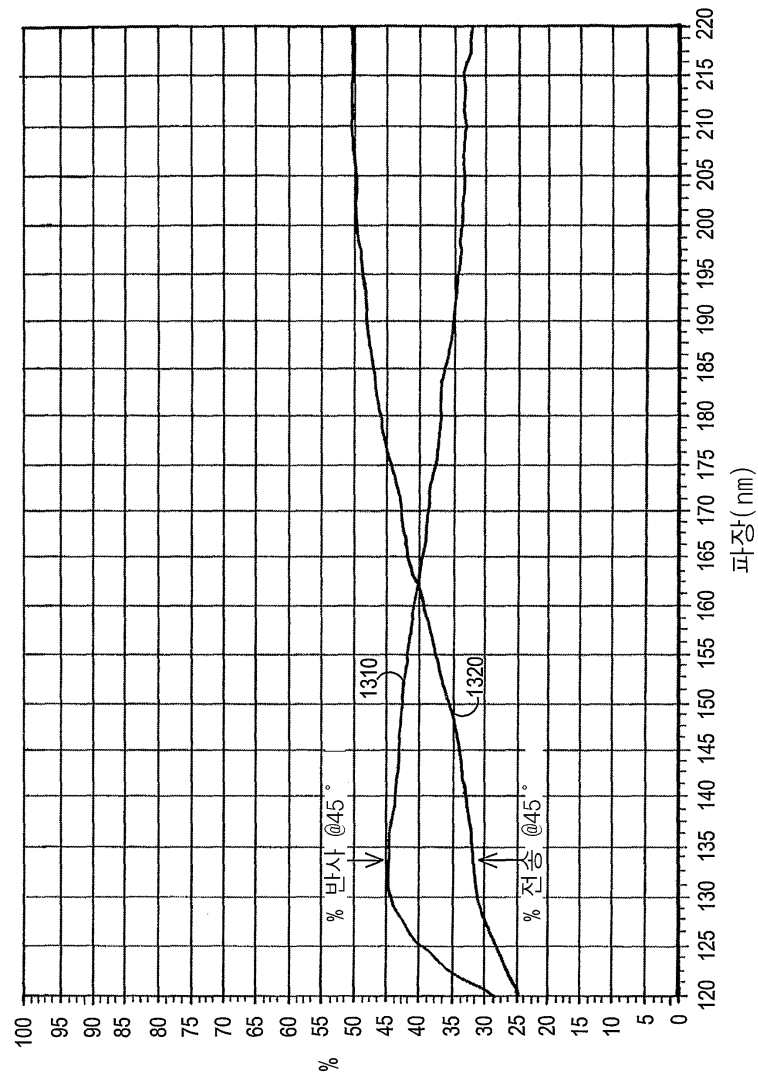
도면12



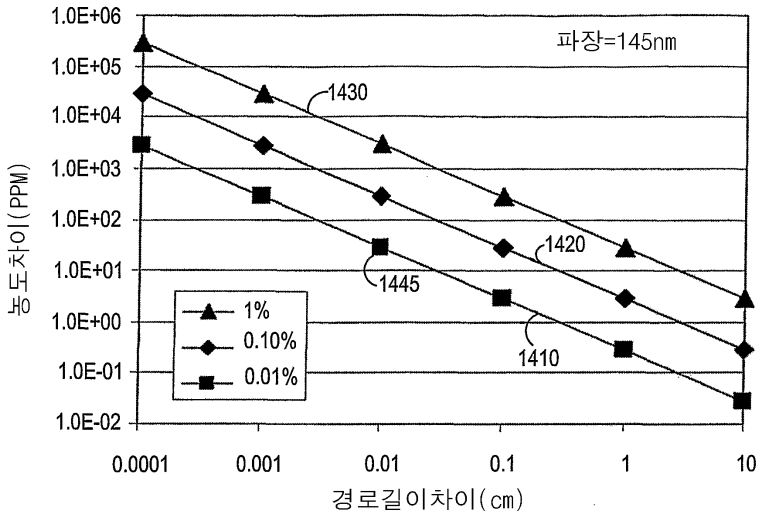
도면12a



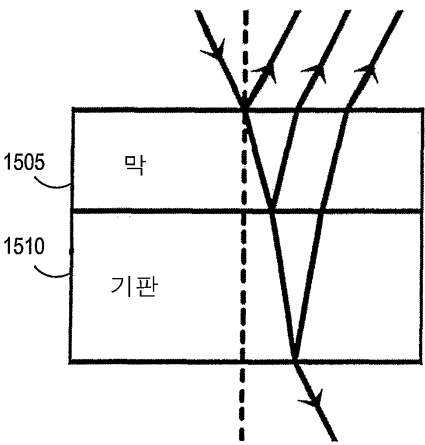
도면13



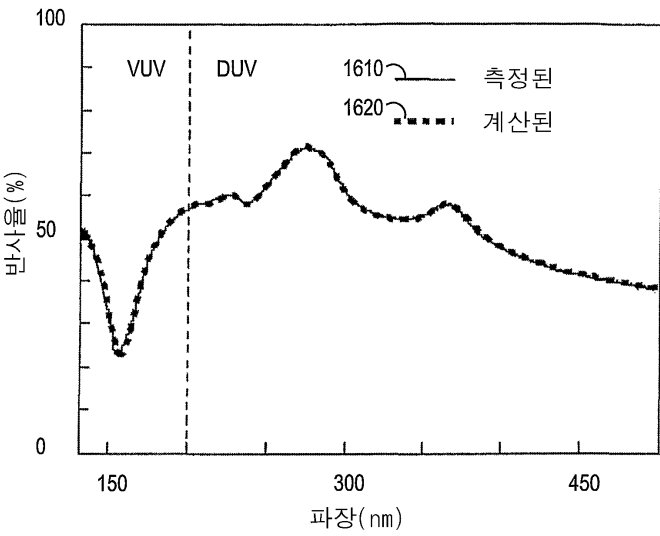
도면14



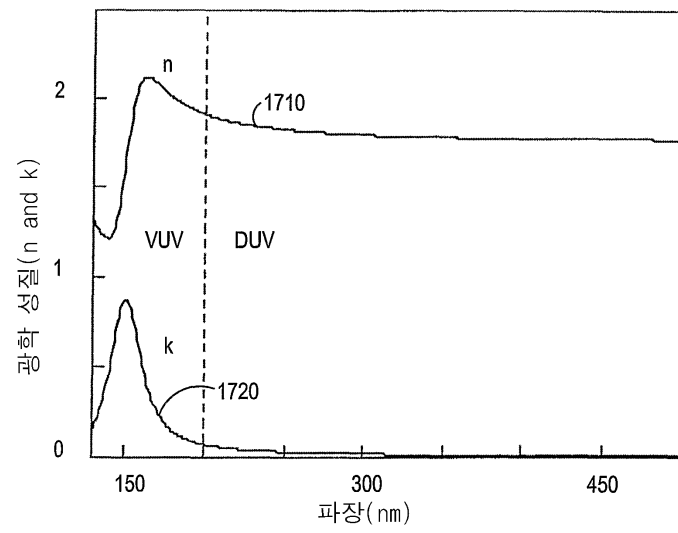
도면15



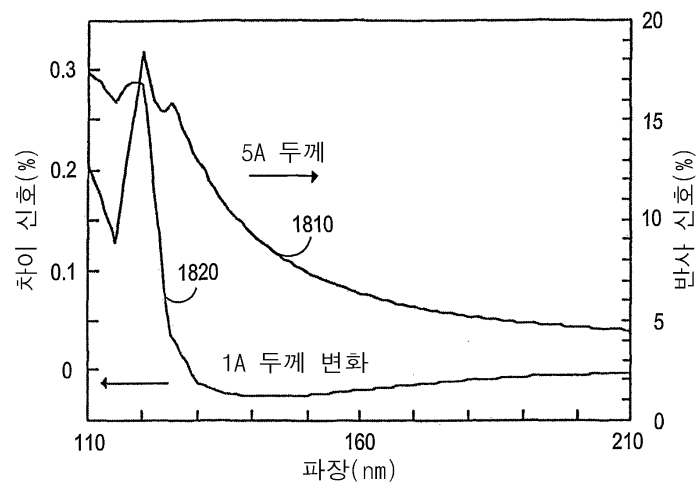
도면16



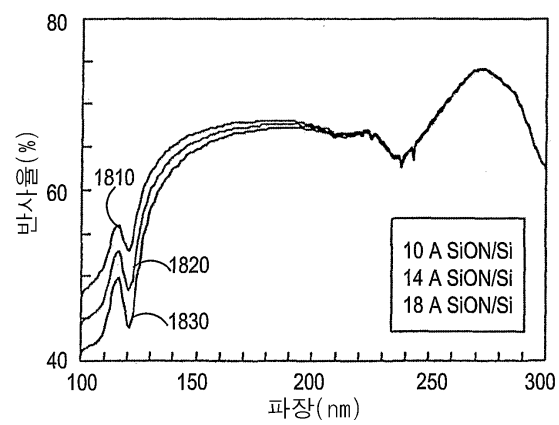
도면17



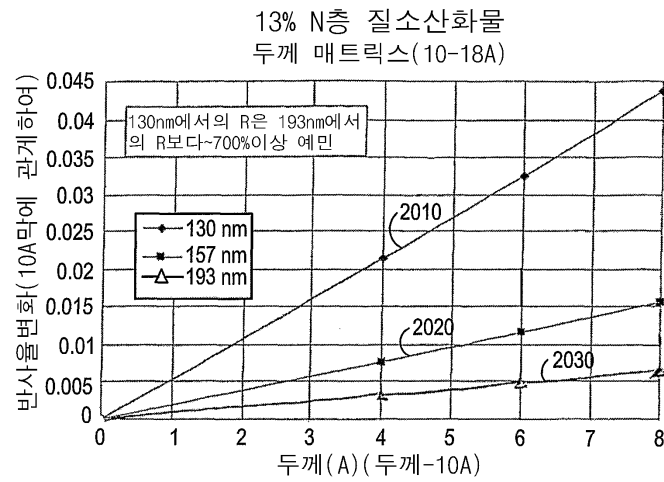
도면18



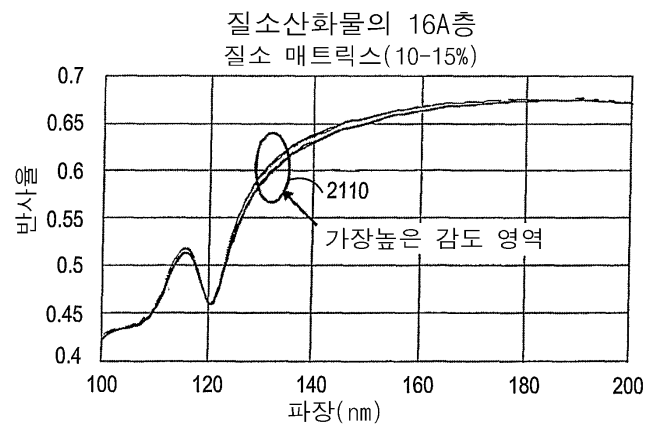
도면19



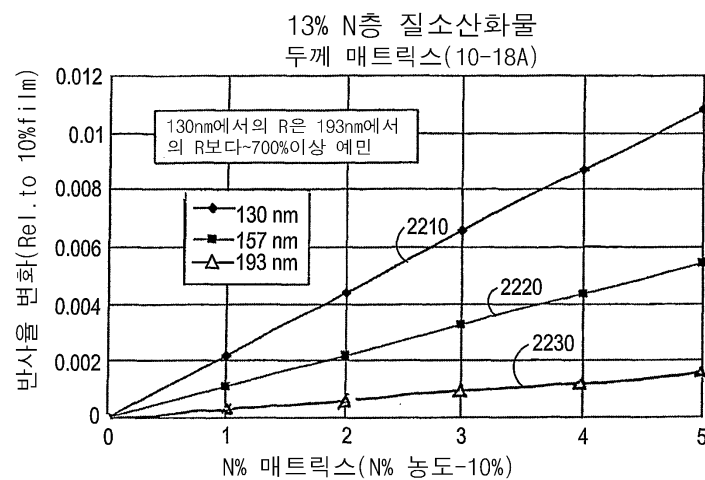
도면20



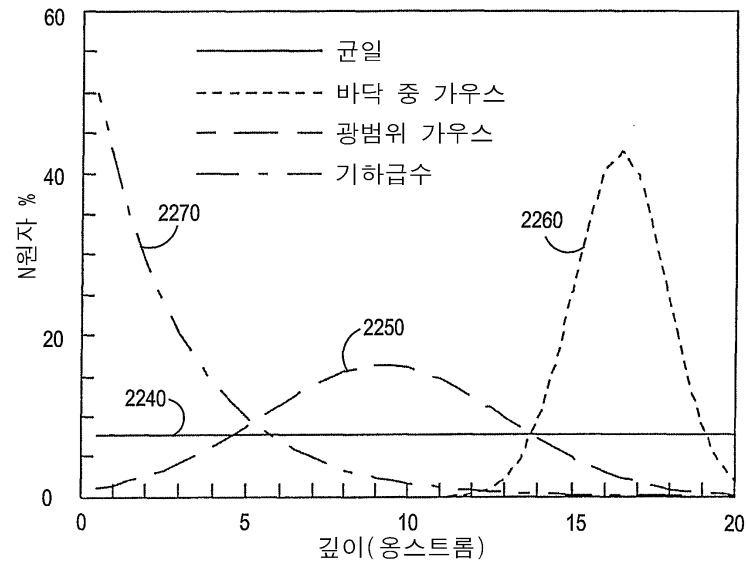
도면21



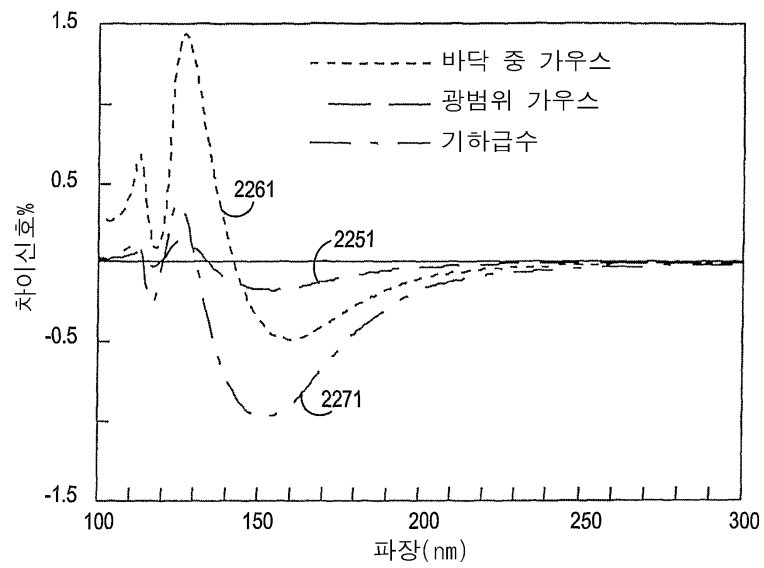
도면22



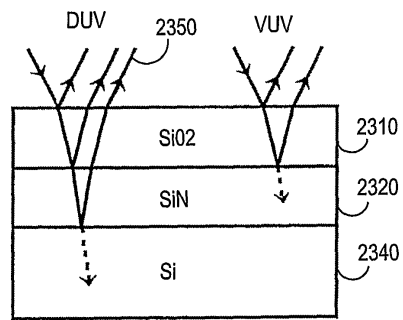
도면22a



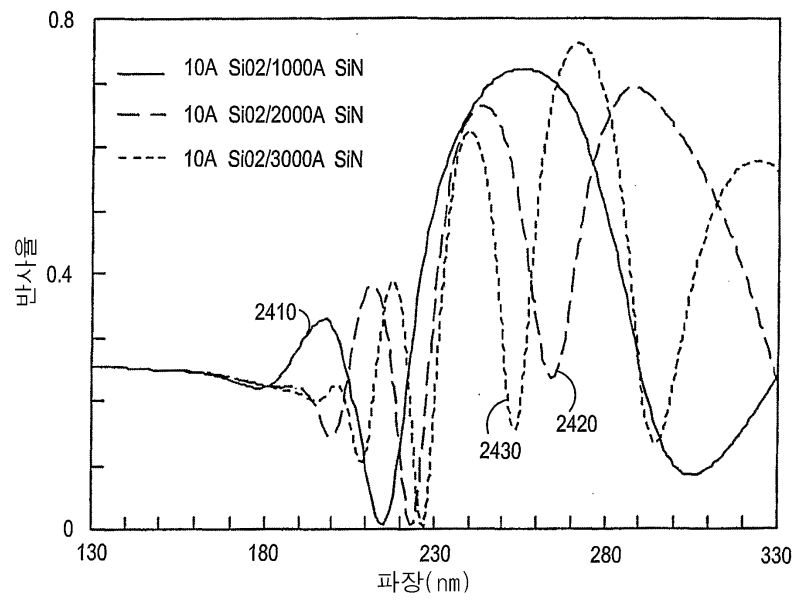
도면22b



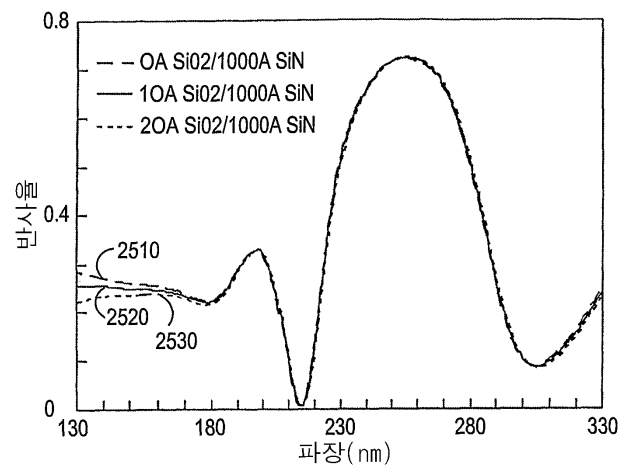
도면23



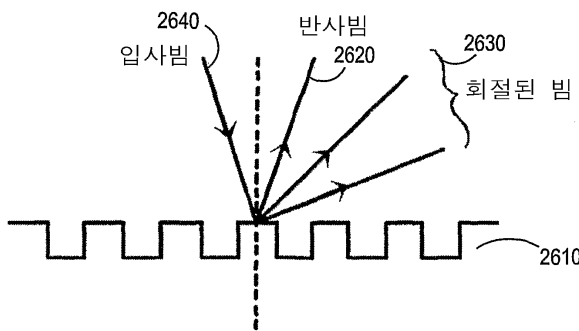
도면24



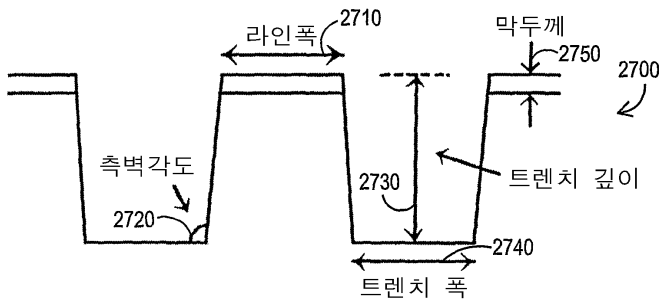
도면25



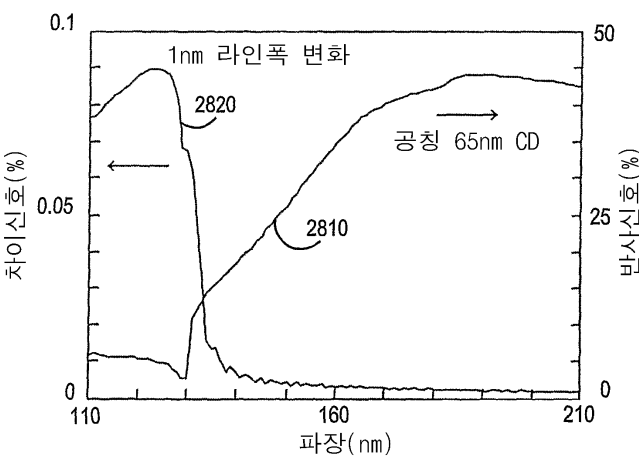
도면26



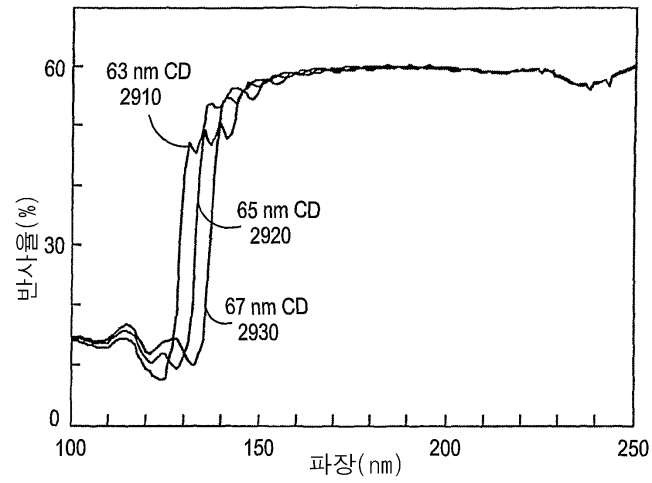
도면27



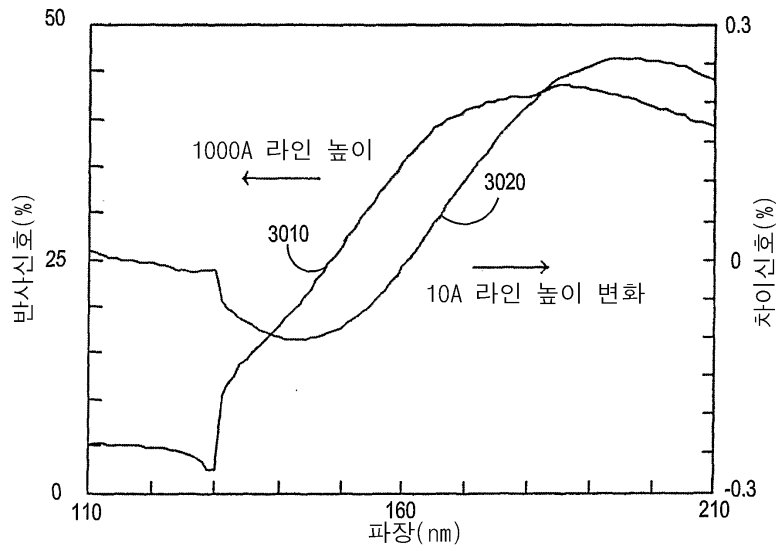
도면28



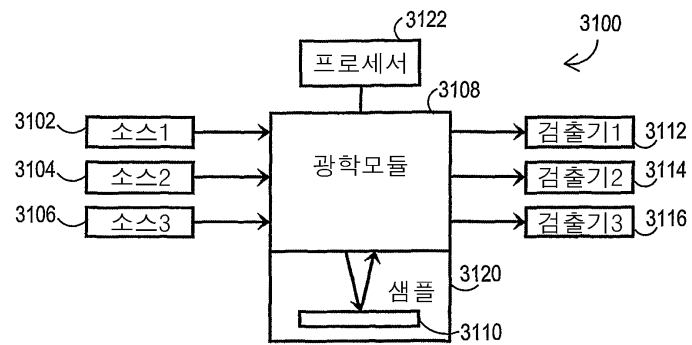
도면29



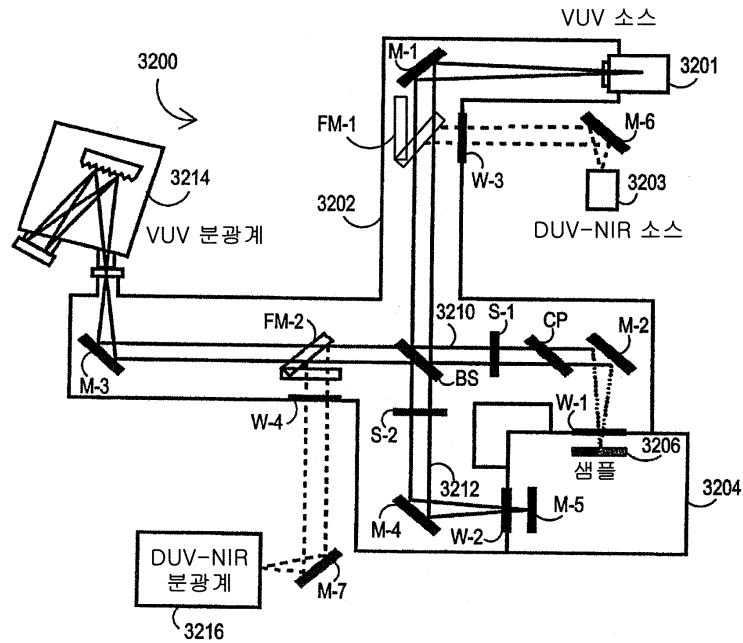
도면30



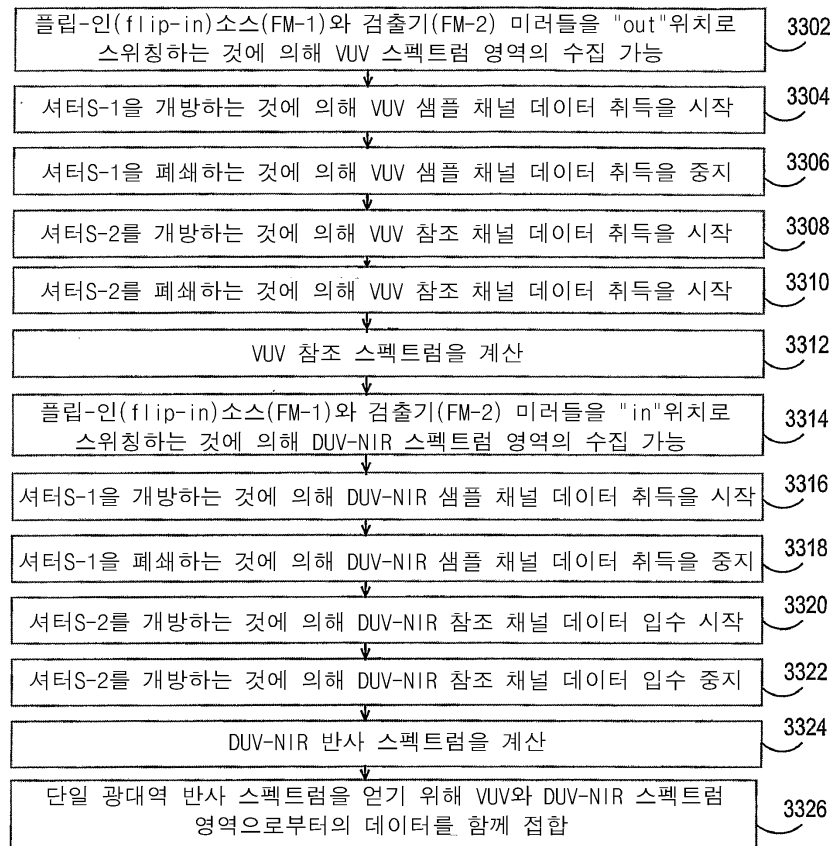
도면31



도면32

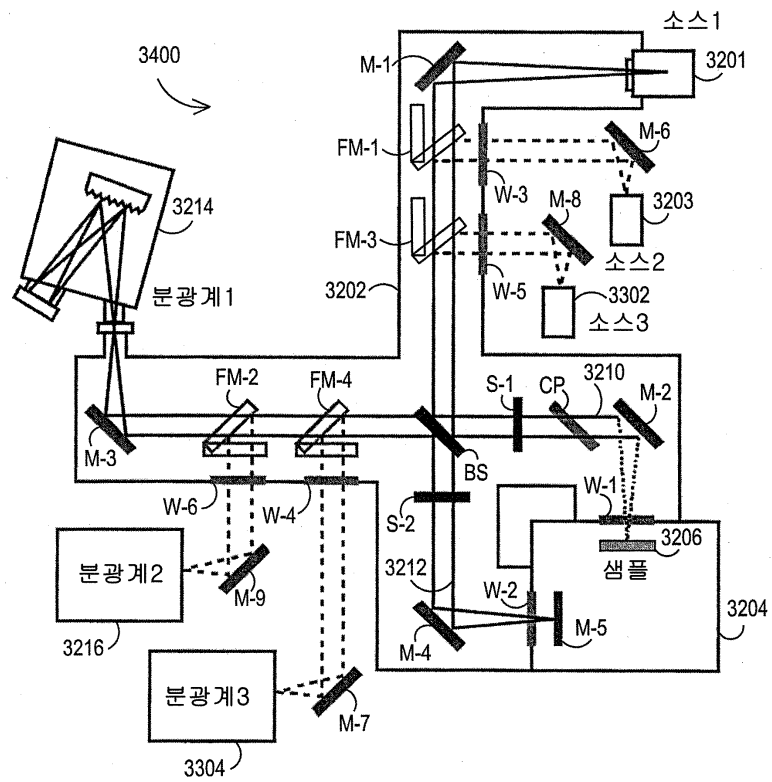


도면33

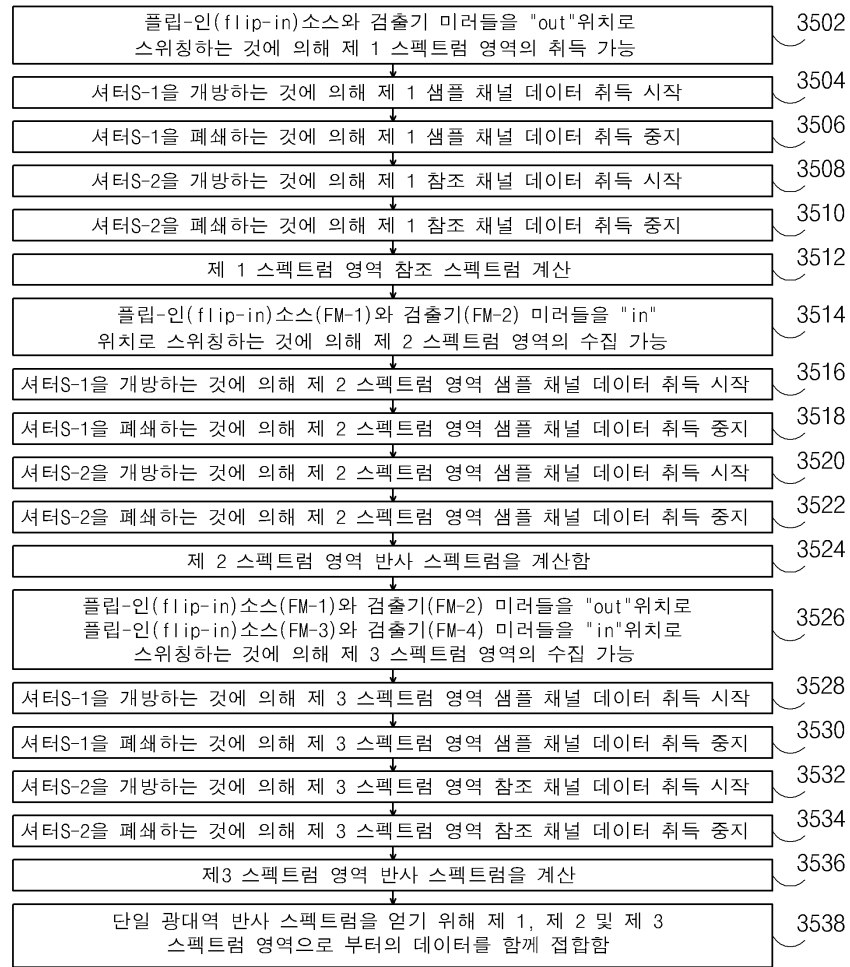


3300 ↗

도면34

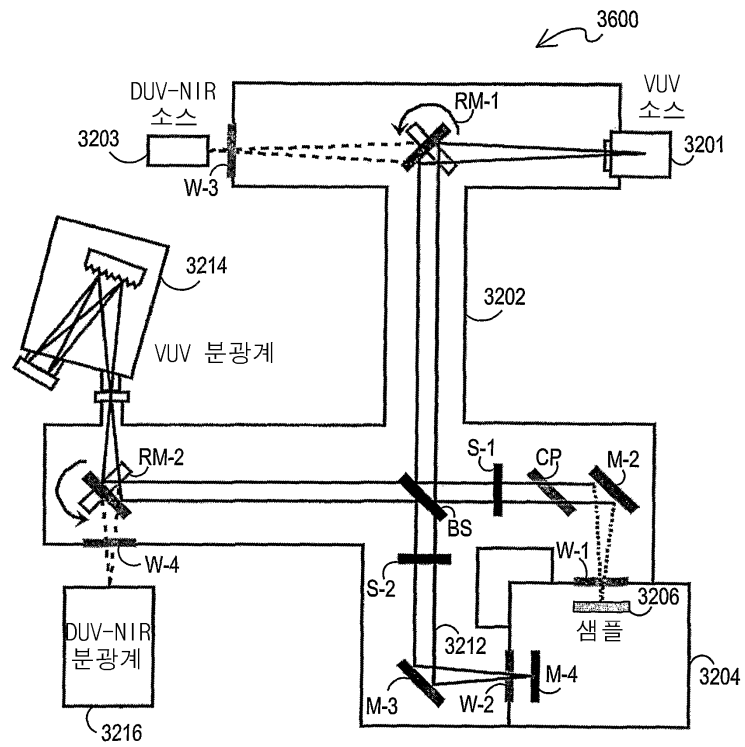


도면35

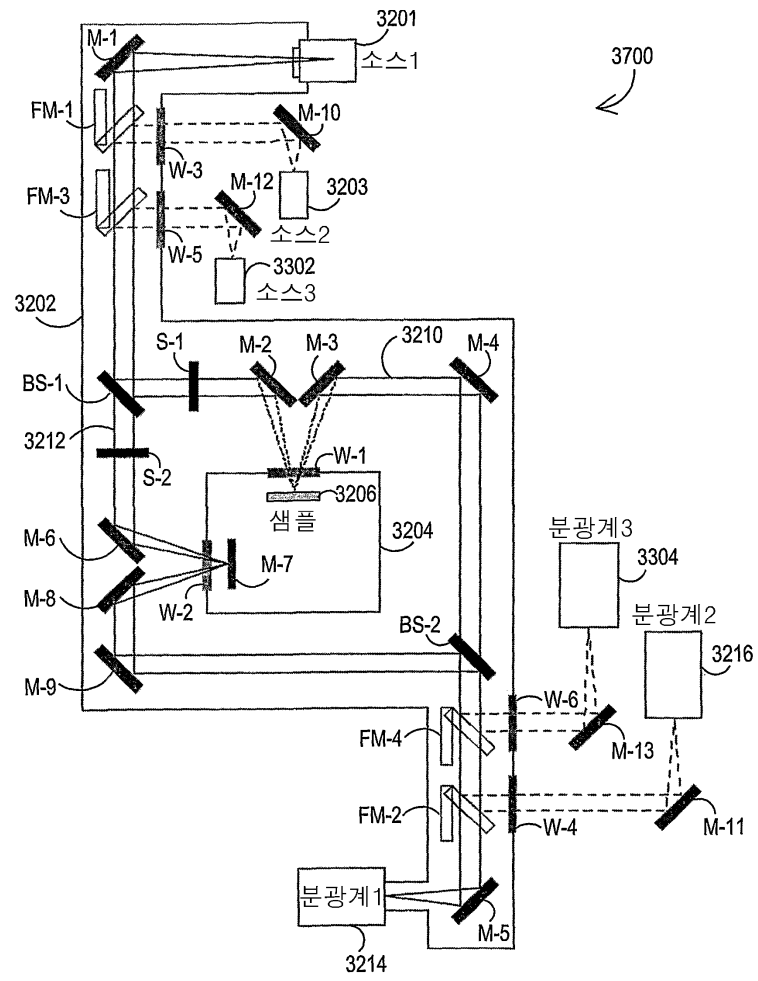


3500 ↗

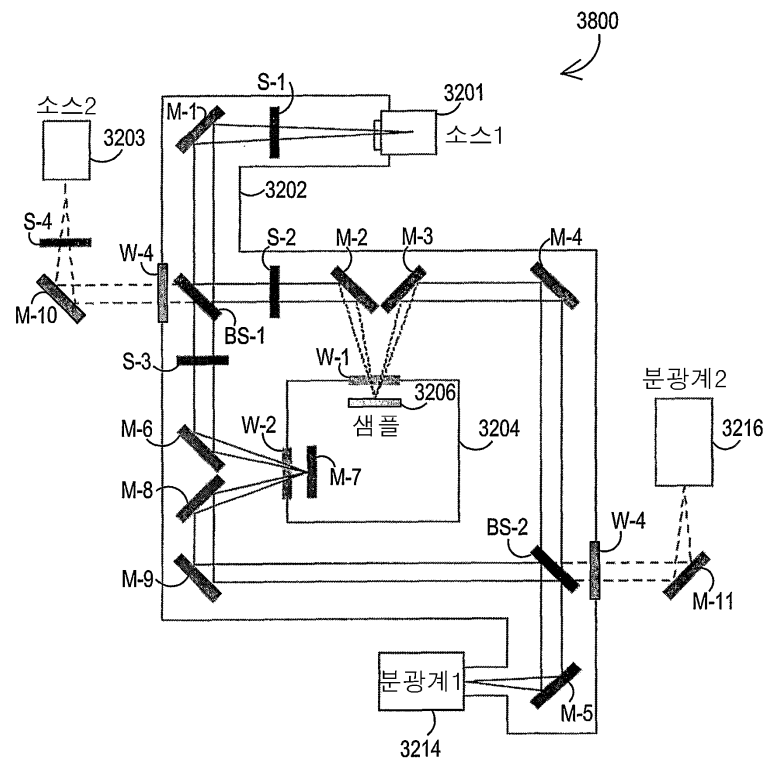
도면36



도면37



도면38



도면39

