



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년10월11일
(11) 등록번호 10-2715548
(24) 등록일자 2024년10월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01J 1/16 (2006.01) G01J 1/22 (2006.01)
G01R 31/26 (2014.01) G01R 31/302 (2006.01)
H01L 31/107 (2024.01)
(52) CPC특허분류
G01J 1/1626 (2013.01)
G01J 1/22 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-7032085
(22) 출원일자(국제) 2019년03월19일
심사청구일자 2021년10월06일
(85) 번역문제출일자 2020년11월05일
(65) 공개번호 10-2021-0014623
(43) 공개일자 2021년02월09일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2019/011522
(87) 국제공개번호 WO 2019/230147
국제공개일자 2019년12월05일
(30) 우선권주장
JP-P-2018-102476 2018년05월29일 일본(JP)
(56) 선행기술조사문헌
JP2000200922 A*
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
하마마츠 포토닉스 가부시기가이샤
일본국 시주오카켄 하마마츠시 츄오쿠 이치노초
1126-1
(72) 발명자
야마다 도시키
일본국 시주오카켄 하마마츠시 히가시쿠 이치노초
1126-1 하마마츠 포토닉스 가부시기가이샤 내
(74) 대리인
특허법인태평양

전체 청구항 수 : 총 5 항

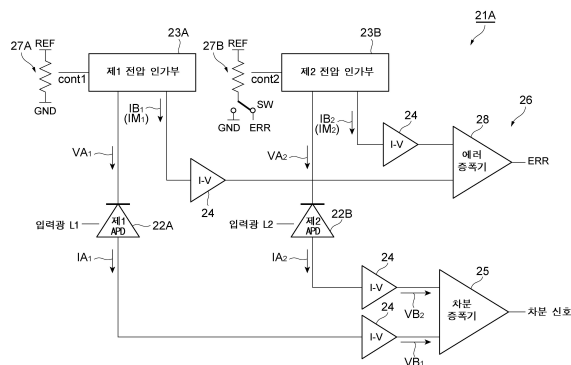
심사관 : 신동혁

(54) 발명의 명칭 광 차분 검출기 및 검사 장치

(57) 요약

광 차분 검출기(21A)는 제1 APD(22A) 및 제2 APD(22B)와, 제1 APD(22A)에 제1 바이어스 전압을 인가하는 제1 전압 인가부(23A), 및 제2 APD(22B)에 제2 바이어스 전압을 인가하는 제2 전압 인가부(23B)와, 제1 APD(22A)와 제2 APD(22B)가 병렬로 접속되고, 제1 APD(22A)로부터의 제1 신호 전류와, 제2 APD(22B)로부터의 제2 신호 전류를 차분 증폭하는 차분 증폭기(25)와, 제1 APD(22A)에 있어서의 제1 모니터용 전류의 저주파 성분과, 제2 APD(22B)에 있어서의 제2 모니터용 전류의 저주파 성분이 동일해지도록 제2 바이어스 전압을 제어하는 피드백 제어부(26)를 구비한다.

대표도



(52) CPC특허분류

G01R 31/2635 (2013.01)

G01R 31/302 (2013.01)

H01L 31/107 (2024.01)

(56) 선행기술조사문헌

W02017094495 A1

KR1020180088790 A

JP2008219765 A

US06426494 A

US20170199154 A1

KR1020170015311 A*

W02015186711 A1

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

입력광에 따른 신호 전류를 증폭하여 출력하는 제1 애벌란시 포토 다이오드 및 제2 애벌란시 포토 다이오드와,
 상기 제1 애벌란시 포토 다이오드에 제1 바이어스 전압을 인가하는 제1 전압 인가부, 및 상기 제2 애벌란시 포토 다이오드에 제2 바이어스 전압을 인가하는 제2 전압 인가부와,
 상기 제1 애벌란시 포토 다이오드와 상기 제2 애벌란시 포토 다이오드가 병렬로 접속되고, 상기 제1 애벌란시 포토 다이오드로부터 출력되는 제1 신호 전류와, 상기 제2 애벌란시 포토 다이오드로부터 출력되는 제2 신호 전류를 차분 증폭하는 차분 증폭기와,
 상기 제1 애벌란시 포토 다이오드에 있어서의 제1 모니터용 전류의 저주파 성분과, 상기 제2 애벌란시 포토 다이오드에 있어서의 제2 모니터용 전류의 저주파 성분이 동일해지도록, 상기 제1 바이어스 전압 및 상기 제2 바이어스 전압 중 적어도 한쪽을 제어하는 피드백 제어부를 구비하고,
 상기 제1 모니터용 전류는 상기 제1 애벌란시 포토 다이오드로부터 출력되는 상기 제1 신호 전류이고,
 상기 제2 모니터용 전류는 상기 제2 애벌란시 포토 다이오드로부터 출력되는 제2 신호 전류이고,
 상기 제1 전압 인가부는 상기 제1 전압 인가부에서 제어 전압을 생성하기 위한 디지털 아날로그 변환기(DAC) 또는 마이크로 컴퓨터를 포함하고,
 상기 제2 전압 인가부는 상기 제2 전압 인가부에서 제어 전압을 생성하기 위한 DAC 또는 마이크로 컴퓨터를 포함하고,
 상기 제1 전압 인가부는 접지 단자에 접속되고, 상기 제2 전압 인가부는 상기 접지 단자와 예러 단자 사이를 전환하기 위한 스위치에 접속되는, 광 차분 검출기.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

입력광에 따른 신호 전류를 증폭하여 출력하는 제1 애벌란시 포토 다이오드 및 제2 애벌란시 포토 다이오드와,
 상기 제1 애벌란시 포토 다이오드에 제1 바이어스 전압을 인가하는 제1 전압 인가부, 및 상기 제2 애벌란시 포토 다이오드에 제2 바이어스 전압을 인가하는 제2 전압 인가부와,
 상기 제1 애벌란시 포토 다이오드와 상기 제2 애벌란시 포토 다이오드가 병렬로 접속되고, 상기 제1 애벌란시 포토 다이오드로부터 출력되는 제1 신호 전류와, 상기 제2 애벌란시 포토 다이오드로부터 출력되는 제2 신호 전류를 차분 증폭하는 차분 증폭기와,
 상기 제1 애벌란시 포토 다이오드의 입력광 또는 상기 제2 애벌란시 포토 다이오드의 입력광을 감쇠시키는 광 감쇠기와,
 상기 제1 애벌란시 포토 다이오드에 있어서의 제1 모니터용 전류의 저주파 성분과, 상기 제2 애벌란시 포토 다이오드에 있어서의 제2 모니터용 전류의 저주파 성분이 동일해지도록, 상기 광 감쇠기에 의한 상기 입력광의 감쇠량을 제어하는 피드백 제어부를, 구비한 광 차분 검출기.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 제1 모니터용 전류는 상기 제1 바이어스 전압의 인가에 의해서 상기 제1 애벌란시 포토 다이오드에 흐르는 제1 바이어스 전류이고,

상기 제2 모니터용 전류는 상기 제2 바이어스 전압의 인가에 의해서 상기 제2 애벌란시 포토 다이오드에 흐르는 제2 바이어스 전류인 광 차분 검출기.

청구항 6

청구항 4에 있어서,

상기 제1 모니터용 전류는 상기 제1 애벌란시 포토 다이오드로부터 출력되는 상기 제1 신호 전류이고,

상기 제2 모니터용 전류는 상기 제2 애벌란시 포토 다이오드로부터 출력되는 제2 신호 전류인 광 차분 검출기.

청구항 7

계측 대상물을 향해서 검사광을 출력하는 광원과,

상기 계측 대상물에 대향해서 배치되는 자기 광학 결정과,

청구항 1 및 청구항 4 내지 청구항 6 중 어느 한 항에 기재된 광 차분 검출기를 구비하고,

상기 제1 애벌란시 포토 다이오드는 상기 광원으로부터 출력되어 상기 자기 광학 결정에서 반사된 제1 편광 성분을 가지는 제1 검사광을 검출하고,

상기 제2 애벌란시 포토 다이오드는 상기 광원으로부터 출력되어 상기 자기 광학 결정에서 반사된 제2 편광 성분을 가지는 제2 검사광을 검출하는 검사 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시는 광 차분 검출기 및 검사 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 종래, 애벌란시 포토 다이오드(avalanche photodiode: 이하 「APD」)를 이용한 광 차분 검출기가 알려져 있다. 예를 들면 특허 문헌 1에 기재된 검출기는, 양의 바이어스 생성 회로에 접속된 제1 APD와, 음의 바이어스 생성 회로에 접속된 제2 APD와, 이들 APD의 후단에 배치된 증폭기를 구비하여, 차분 증폭 가능한 구성을 가지고 있다. 제1 APD 및 제2 APD는, 증폭기에 대해서 전기적으로 직렬로 접속되고, 증폭기에는 2개의 APD로부터 각각 출력되는 검출 신호의 차분이 입력된다. 이러한 검출기에서는, 2개의 APD로부터의 동상(同相) 신호가 제거되어, 동상 잡음이 제거되기 때문에, 높은 SN비를 가지고 광 검출을 행하는 것이 가능해진다.

선행기술문헌

특허문헌

[0003] (특허문헌 0001) 특허 문헌 1: 미국 특허등록공보 제7659981호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] APD에서는, 캐소드와 애노드의 사이에 인가되는 바이어스 전압에 의해서, 광에 대한 신호 전류의 증폭율이 정해진다. 광 차분 검출기로서 APD를 이용하는 경우에는, 2개의 APD의 증폭율이 동일해지도록 각 APD에 바이어스 전압을 인가할 필요가 있다. 그렇지만, APD에는, 100V 정도의 비교적 높은 바이어스 전압을 인가할 필요가 있어, 양음의 바이어스 전압을 정밀도 좋게 일치시키는 것이 어렵다고 하는 문제가 있다. 또, 실제로는 APD의 개체마

다 바이어스 전압에 대한 증폭율의 편차가 있고, 또, APD의 온도 특성에 의한 영향도 있다. 그 때문에, 절대치가 동일한 바이어스 전압을 2개의 APD에 인가했다고 하더라도, 2개의 APD의 증폭율이 일치하지 않아, 동상 잡음의 제거 효과를 충분히 얻을 수 없게 되는 것을 생각할 수 있다.

[0005] 본 개시는 상기 과제의 해결을 위해서 이루어진 것으로, 바이어스 전압의 조정이 용이화되고, 동상 잡음의 제거 효과를 충분히 높일 수 있는 광 차분 검출기 및 이것을 이용한 검사 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0006] 상기 과제를 해결하기 위해서, 본 개시의 일 측면에 따른 광 차분 검출기는, 입력광에 따른 신호 전류를 증폭하여 출력하는 제1 애벌란시 포토 다이오드 및 제2 애벌란시 포토 다이오드와, 제1 애벌란시 포토 다이오드에 제1 바이어스 전압을 인가하는 제1 전압 인가부, 및 제2 애벌란시 포토 다이오드에 제2 바이어스 전압을 인가하는 제2 전압 인가부와, 제1 애벌란시 포토 다이오드와 제2 애벌란시 포토 다이오드가 병렬로 접속되고, 제1 애벌란시 포토 다이오드로부터 출력되는 제1 신호 전류와, 제2 애벌란시 포토 다이오드로부터 출력되는 제2 신호 전류를 차분 증폭하는 차분 증폭기와, 제1 애벌란시 포토 다이오드에 있어서의 제1 모니터용 전류의 저주파 성분과, 제2 애벌란시 포토 다이오드에 있어서의 제2 모니터용 전류의 저주파 성분이 동일해지도록, 제1 바이어스 전압 및 제2 바이어스 전압 중 적어도 한쪽을 제어하는 피드백 제어부를 구비한다.

[0007] 이 광 차분 검출기에서는, 제1 애벌란시 포토 다이오드 및 제2 애벌란시 포토 다이오드가 차분 증폭기에 대해서 병렬로 접속되어 있다. 이 구성에 의하면, 양음 중 한쪽 극성의 바이어스 전압을 제1 애벌란시 포토 다이오드 및 제2 애벌란시 포토 다이오드에 인가하면 되기 때문에, 바이어스 전압의 조정이 용이해진다. 그에 더하여, 제1 모니터용 전류의 저주파 성분 및 제2 모니터용 전류의 저주파 성분을 이용하여 제1 바이어스 전압 및 제2 바이어스 전압 중 적어도 한쪽을 제어함으로써, 각 애벌란시 포토 다이오드의 증폭율을 일치시키는 것이 가능해진다. 이 결과, 각 애벌란시 포토 다이오드로부터의 동상 신호가 충분히 제거되어, 동상 잡음의 제거 효과를 높일 수 있으므로, 높은 SN비를 가지고 광 검출을 행하는 것이 가능해진다.

[0008] 제1 모니터용 전류는 제1 바이어스 전압의 인가에 의해서 제1 애벌란시 포토 다이오드에 흐르는 제1 바이어스 전류이며, 제2 모니터용 전류는 제2 바이어스 전압의 인가에 의해서 제2 애벌란시 포토 다이오드에 흐르는 제2 바이어스 전류여도 된다. 이 경우, 제어 전압을 제어하는 피드백 제어부의 구성을 간편하게 실현할 수 있다. 또, 입력광의 강약에 의존하지 않고 저주파 성분의 모니터가 가능해지기 때문에, 피드백 제어의 안정성을 확보할 수 있다.

[0009] 제1 모니터용 전류는 제1 애벌란시 포토 다이오드로부터 출력되는 제1 신호 전류이고, 제2 모니터용 전류는 제2 애벌란시 포토 다이오드로부터 출력되는 제2 신호 전류여도 된다. 이 경우도, 제어 전압을 제어하는 피드백 제어부의 구성을 간편하게 실현할 수 있다.

[0010] 또, 본 개시의 일 측면에 따른 광 차분 검출기는, 입력광에 따른 신호 전류를 증폭하여 출력하는 제1 애벌란시 포토 다이오드 및 제2 애벌란시 포토 다이오드와, 제1 애벌란시 포토 다이오드에 제1 바이어스 전압을 인가하는 제1 전압 인가부, 및 제2 애벌란시 포토 다이오드에 제2 바이어스 전압을 인가하는 제2 전압 인가부와, 제1 애벌란시 포토 다이오드와 제2 애벌란시 포토 다이오드가 병렬로 접속되고, 제1 애벌란시 포토 다이오드로부터 출력되는 제1 신호 전류와, 제2 애벌란시 포토 다이오드로부터 출력되는 제2 신호 전류를 차분 증폭하는 차분 증폭기와, 제1 애벌란시 포토 다이오드의 입력광 또는 제2 애벌란시 포토 다이오드의 입력광을 감쇠시키는 광 감쇠기와, 제1 애벌란시 포토 다이오드에 있어서의 제1 모니터용 전류의 저주파 성분과, 제2 애벌란시 포토 다이오드에 있어서의 제2 모니터용 전류의 저주파 성분이 동일해지도록, 광 감쇠기에 의한 입력광의 감쇠량을 제어하는 피드백 제어부를 구비한다.

[0011] 이 광 차분 검출기에서는, 제1 애벌란시 포토 다이오드 및 제2 애벌란시 포토 다이오드가 차분 증폭기에 대해서 병렬로 접속되어 있다. 이 구성에 의하면, 양음 중 한쪽 극성의 바이어스 전압을 제1 애벌란시 포토 다이오드 및 제2 애벌란시 포토 다이오드에 인가하면 되기 때문에, 바이어스 전압의 조정이 용이해진다. 그에 더하여, 제1 모니터용 전류의 저주파 성분 및 제2 모니터용 전류의 저주파 성분을 이용하여 광 감쇠기에 의한 입력광의 감쇠량을 제어함으로써, 각 애벌란시 포토 다이오드의 입력광의 광량을 일치시키는 것이 가능해진다. 이 결과, 각 애벌란시 포토 다이오드로부터의 동상 신호가 충분히 제거되어, 동상 잡음의 제거 효과를 높일 수 있으므로, 높은 SN비를 가지고 광 검출을 행하는 것이 가능해진다.

[0012] 제1 모니터용 전류는 제1 바이어스 전압의 인가에 의해서 제1 애벌란시 포토 다이오드에 흐르는 제1 바이어스 전류이고, 제2 모니터용 전류는 제2 바이어스 전압의 인가에 의해서 제2 애벌란시 포토 다이오드에 흐르는 제2

바이어스 전류여도 된다. 이 경우, 입력광의 감쇠량을 제어하는 피드백 제어부의 구성을 간편하게 실현할 수 있다.

[0013] 제1 모니터용 전류는 제1 애벌란시 포토 다이오드로부터 출력되는 제1 신호 전류이고, 제2 모니터용 전류는 제2 애벌란시 포토 다이오드로부터 출력되는 제2 신호 전류여도 된다. 이 경우에도, 입력광의 감쇠량을 제어하는 피드백 제어부의 구성을 간편하게 실현할 수 있다.

[0014] 또, 본 개시의 일 측면에 따른 검사 장치는, 계측 대상물을 향해서 검사광을 출력하는 광원과, 계측 대상물에 대향해서 배치되는 자기 광학 결정과, 상기 광 차분 검출기를 구비하고, 제1 애벌란시 포토 다이오드는 광원으로부터 출력되어 자기 광학 결정에서 반사된 제1 편광 성분을 가지는 제1 검사광을 검출하고, 제2 애벌란시 포토 다이오드는 광원으로부터 출력되어 자기 광학 결정에서 반사된 제2 편광 성분을 가지는 제2 검사광을 검출한다.

[0015] 이 검사 장치에서는, 광 차분 검출기에 있어서, 각 애벌란시 포토 다이오드의 증폭율 혹은 각 애벌란시 포토 다이오드로의 입력광의 광량을 일치시키는 것이 가능해진다. 이 결과, 각 애벌란시 포토 다이오드로부터의 동상 신호가 충분히 제거되어, 동상 잡음의 제거 효과를 높일 수 있다. 따라서, 높은 SN비를 가지고 광 검출을 행하는 것이 가능해져, 높은 정밀도로 계측 대상물의 검사를 실시할 수 있다.

발명의 효과

[0016] 이 광 차분 검출기 및 검사 장치에서는, 바이어스 전압의 조정이 용이화되어, 동상 잡음의 제거 효과를 충분히 높일 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0017] 도 1은 검사 장치의 일 실시 형태를 나타내는 도면이다.
 도 2는 광 차분 검출기의 제1 실시 형태를 나타내는 도면이다.
 도 3은 광 차분 검출기의 제2 실시 형태를 나타내는 도면이다.
 도 4는 광 차분 검출기의 제3 실시 형태를 나타내는 도면이다.
 도 5는 광 차분 검출기의 제4 실시 형태를 나타내는 도면이다.
 도 6은 전압 인가부의 변형예를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 이하, 도면을 참조하면서, 본 개시의 일 측면에 따른 광 차분 검출기 및 검사 장치의 바람직한 실시 형태에 대해 상세하게 설명한다.

[0019] [검사 장치]

[0020] 도 1은 검사 장치의 일 실시 형태를 나타내는 도면이다. 동 도면에 나타내는 검사 장치(1)는 검사광 L을 이용함으로써, 계측 대상물인 반도체 디바이스(D)에 있어서의 이상 발생 위치를 특정하는 장치로서 구성되어 있다. 검사 장치(1)는 검사광 L을 도광 및 검출하기 위한 요소로서, 광원(2)과, 광 분할 광학계(3)와, 광 스캐너(4)와, 대물렌즈(5)와, 자기 광학 결정(6)과, 광 센서(7)와, 앰프(8)를 구비하고 있다. 또, 검사 장치(1)는 검사광 L을 해석하기 위한 요소로서, 테스터 유닛(9)과, 주파수 해석부(10)와, 컴퓨터(11)와, 표시 장치(12)와, 입력 장치(13)를 구비하고 있다.

[0021] 계측 대상물인 반도체 디바이스(D)로서는, 예를 들면 다이오드나 파워트랜지스터 등을 포함하는 개별 반도체소자(디스크리트), 유틸 일렉트로닉스 소자, 센서/액추에이터, 혹은 MOS(Metal-Oxide-Semiconductor) 구조나 바이폴러 구조의 트랜지스터로 구성되는 로직 LSI(Large Scale Integration), 메모리 소자, 리니어 IC(Integrated Circuit) 등, 및 이들의 혼성 디바이스 등이 있다. 또, 반도체 디바이스(D)는 반도체 디바이스를 포함하는 패키지, 복합 기판 등이어도 된다.

[0022] 광원(2)은 자기 광학 결정(6) 및 반도체 디바이스(D)를 향해서 검사광 L을 출력하는 장치이다. 검사광 L은 CW(continuous wave)광 및 펄스광 중 어느 것이어도 된다. 또, 검사광 L은 인코히런트한 광 및 코히런트한 광 중 어느 것이어도 된다. 인코히런트한 광을 출력하는 광원으로서, 예를 들면 SLD(Super Luminescent Diode),

ASE(Amplified Spontaneous Emission), LED(Light Emitting Diode) 등을 들 수 있다. 또, 코히런트한 광을 출력하는 광원(2)으로서는, 고체 레이저 광원이나 반도체 레이저 광원 등을 이용할 수 있다.

[0023] 또, 검사광 L의 파장은, 예를 들면 530nm 이상으로 되어 있다. 검사광 L의 파장은, 1064nm 이상이어도 된다. 광원(2)으로부터 출력된 검사광 L은, 예를 들면 편광 보존 싱글 모드 광 커플러 및 프로브광용 편광 보존 싱글 모드 광 파이버를 통해, 광 분할 광학계(3)를 통과하여 광 스캐너(4)로 안내된다.

[0024] 광 스캐너(4)는, 예를 들면 갈바노 미러나 MEMS(micro electromechanical system) 미러 등의 광 주사 소자에 의해서 구성되어 있다. 광 스캐너(4)는 자기 광학 결정(6)의 입사면(6i) 상의 선택 영역에 대해서 검사광 L을 주사한다. 선택 영역은, 예를 들면 입력 장치(13)에 의해서 컴퓨터(11)에 입력된 유저의 조작에 의해서 설정된다. 선택 영역은 자기 광학 결정(6)의 입사면(6i)에 대해, 2차원의 에어리어, 1차원의 라인, 혹은 스팟적으로 설정된다.

[0025] 대물렌즈(5)는 광 분할 광학계(3) 및 광 스캐너(4)에 의해서 안내된 검사광 L을 자기 광학 결정(6)에 집광시킨다. 대물렌즈(5)는 터릿 등에 의해, 저배율 대물렌즈(예를 들면 5배)와 고배율 대물렌즈(예를 들면 50배)로 전환 가능하게 구성되어 있다. 대물렌즈(5)에는, 대물렌즈 구동부(14)가 장착되어 있다. 이 대물렌즈 구동부(14)에 의해서 대물렌즈(5)가 검사광 L의 광축 방향(OD)을 따라서 변위함으로써, 대물렌즈(5)의 초점 위치가 광축 방향(OD)으로 조정된다.

[0026] 자기 광학 결정(6)은, 자기 광학 효과에 의해, 반도체 디바이스(D)에서 발생한 자계에 따라서, 입사면(6i)으로부터 입력된 검사광 L의 편광 상태를 변화시킨다. 예를 들면 반도체 디바이스(D)에 있어서 리크 전류가 발생하고 있는 등의 고장이 발생해 있는 경우, 고장 지점에서는 정상시와는 다른 자계의 변화가 생길 수 있다. 따라서, 자기 광학 결정(6)에서는, 고장 지점에 있어서의 자계의 변화가 검사광 L의 편광 상태의 변화로서 출력되게 된다.

[0027] 자기 광학 결정(6)에서 반사된 검사광 L은, 대물렌즈(5) 및 광 스캐너(4)를 통과하여 광 분할 광학계(3)로 돌아가, 귀환광용 광 파이버를 통해서 광 센서(7)로 도광이 된다. 여기에서는, 광 센서(7)는 후술하는 광 차분 검출기(21A~21D) 중 어느 것에 의해 구성되어 있다. 광 센서(7)는 자기 광학 결정(6)에서 반사된 검사광 L의 상이한 편광 성분을 검출하는 2개의 검출 소자(제1 APD(22A) 및 제2 APD(22B) : 도 2 등 참조)를 가지고 있다. 광 센서(7)는 이들 검출 소자에 의해서 검출된 광의 강도에 기초하는 차분 신호를 앰프(8)에 출력한다.

[0028] 광 분할 광학계(3)는 패러데이 회전자 및 편광 빔 스플리터를 포함하여 구성되어 있다. 자기 광학 결정(6)에서 반사된 검사광 L의 S 편광 성분(제1 검사광)은, 제1 편광 빔 스플리터에 의해서 반사되어, 광 센서(7) 중 한쪽 검출 소자에 입사된다. 또, 자기 광학 결정(6)에서 반사된 검사광 L의 P 편광 성분은, 패러데이 회전자에 의해서 편광면이 회전하여, S 편광 성분의 광이 된다. 이 S 편광 성분의 광(제2 검사광)은, 제2 편광 빔 스플리터에 의해서 반사되어 광 센서(7) 중 다른 쪽 검출 소자에 입사된다.

[0029] 광 센서(7)로부터 출력된 차분 신호는, 앰프(8)에 의해서 증폭되어, 증폭 신호로서 주파수 해석부(10)에 입력된다. 주파수 해석부(10)는 증폭 신호에 있어서의 계측 주파수 성분을 추출하고, 추출한 신호를 해석 신호로서 컴퓨터(11)에 출력한다. 계측 주파수는, 예를 들면 반도체 디바이스(D)에 인가되는 변조 전류 신호의 변조 주파수에 기초하여 설정된다. 주파수 해석부(10)로서는, 예를 들면 록 인 앰프, 스펙트럼 애널라이저, 네트워크 애널라이저, 디지털라이저, 크로스·도메인·애널라이저(등록상표) 등을 이용할 수 있다.

[0030] 본 실시 형태에서는, 테스터 유닛(9)에 의해서 반도체 디바이스(D)에 소정의 변조 전류 신호가 반복하여 인가된다. 테스터 유닛(9)은, 예를 들면 타이밍 신호 케이블에 의해 주파수 해석부(10)에 전기적으로 접속되어 있다. 반도체 디바이스(D)에서는, 해당 변조 전류 신호에 따라 변조 자장이 발생한다. 변조 자장에 따른 광 신호가 후술하는 광 센서(7)에 검출됨으로써, 특정의 주파수에 기초하는 록 인 검출이 가능해진다. 록 인 검출을 행함으로써 S/N을 향상시킬 수 있다. 덧붙여, 테스터 유닛(9)은 반드시 변조 전류 신호를 인가하는 것이 아니어도 되고, 검출 주파수에 따른 펄스광을 발생시키는 CW(continuous wave) 전류 신호를 인가하는 것이어도 된다.

[0031] 컴퓨터(11)는 물리적으로는, 예를 들면 RAM, ROM 등의 메모리, 및 CPU 등의 프로세서, 통신 인터페이스, 하드 디스크 등의 격납부를 구비하여 구성되어 있다. 이러한 컴퓨터(11)로서는, 예를 들면 퍼스널 컴퓨터, 마이크로 컴퓨터, 클라우드 서버, 스마트 디바이스(스마트 폰, 태블릿 단말 등) 등을 들 수 있다. 컴퓨터(11)에는, 예를 들면 유저로부터의 조작이 입력되는 입력 장치(13)와, 유저에게 계측 결과 등을 나타내기 위한 표시 장치(23)가 접속되어 있다. 컴퓨터(11)는 프로세서에 의해, 광원(2), 광 스캐너(4), 대물렌즈 구동부(14), 테스터 유닛(9), 광 센서(7), 주파수 해석부(10)를 제어하는 기능을 실행한다. 또, 컴퓨터(11)는 프로세서에 의해, 주파수 해석

부(10)로부터의 해석 신호에 기초하는 자기 분포 화상 혹은 자기 주파수 플롯 등을 생성하는 기능을 실행한다.

[0032] [광 차분 검출기의 제1 실시 형태]

[0033] 다음에, 상술한 광 센서(7)를 구성하는 광 차분 검출기에 대해 더 자세하게 설명한다. 도 2는 광 차분 검출기의 제1 실시 형태를 나타내는 도면이다. 이 광 차분 검출기(21A)는 검출 소자로서 2개의 에벌란시 포토 다이오드(이하, 「APD」라고 칭함)를 구비하고 있다. 광 차분 검출기(21A)는, 이들 APD로부터 각각 출력되는 검출 신호의 차분을 증폭하여 출력한다. 광 차분 검출기(21A)로부터 출력되는 차분 신호로는, 2개의 APD로부터의 동상 신호가 제거되어, 동상 잡음이 제거된다. 이 때문에, 광 차분 검출기(21A)에서는, 높은 SN비를 가지고 광 검출을 행하는 것이 가능해지고 있다.

[0034] 광 차분 검출기(21A)는, 도 2에 나타내는 것처럼, 제1 APD(22A) 및 제2 APD(22B)와, 제1 전압 인가부(23A) 및 제2 전압 인가부(23B)와, 복수의 전류 전압 변환기(24)와, 차분 증폭기(25)와, 피드백 제어부(26)를 구비하여 구성되어 있다.

[0035] 제1 APD(22A) 및 제2 APD(22B)는, 입력광에 따른 신호 전류를 증폭하여 출력하는 검출 소자이다. 제1 APD(22A) 및 제2 APD(22B)는, 서로 독립된 바이어스 회로를 가지고 있다. 즉, 제1 APD(22A)에 의한 신호 전류의 증폭율은, 제1 전압 인가부(23A)로부터 인가되는 제1 바이어스 전압 VA_1 에 의해서 제어되고, 제2 APD(22B)에 의한 신호 전류의 증폭율은, 제2 전압 인가부(23B)로부터 인가되는 제2 바이어스 전압 VA_2 에 의해서 제어된다. 제1 APD(22A) 및 제2 APD(22B)는, 차분 증폭기(25)에 대해서 전기적으로 병렬로 접속되어 있다.

[0036] 제1 APD(22A)에 입력되는 입력광 L1은, 자기 광학 결정(6)에서 반사된 검사광 L의 S 편광 성분의 광(제1 검사광)이다. 제1 APD(22A)는 입력광 L1의 강도에 따른 제1 신호 전류 IA_1 를 출력한다. 제1 신호 전류 IA_1 는 전류 전압 변환기(24)에 의해서 제1 신호 전압 VB_1 으로 변환되고, 제1 신호 전압 VB_1 은 차분 증폭기(25)에 입력된다. 제2 APD(22B)에 입력되는 입력광 L2은, 자기 광학 결정(6)에서 반사된 검사광 L의 P 편광 성분이며, 패러데이 회전자에 의해서 편광면이 회전하여 S 편광 성분이 된 광(제2 검사광)이다. 제2 APD(22B)는 입력광 L2의 강도에 따른 제2 신호 전류 IA_2 를 출력한다. 제2 신호 전류 IA_2 는 전류 전압 변환기(24)에 의해서 제2 신호 전압 VB_2 으로 변환되고, 제2 신호 전압 VB_2 은 차분 증폭기(25)에 입력된다.

[0037] 제1 전압 인가부(23A)는 제1 APD(22A)에 제1 바이어스 전압 VA_1 를 공급하는 부분이다. 제1 전압 인가부(23A)에는 제1 저항 분압 회로(27A)가 접속되어 있다. 해당 제1 저항 분압 회로(27A)에 의해서 제1 전압 인가부(23A)에 있어서의 제어 전압 $cont1$ 이 생성된다. 제2 전압 인가부(23B)는 제2 APD(22B)에 제2 바이어스 전압 VA_2 을 공급하는 부분이다. 제2 전압 인가부(23B)에는 제2 저항 분압 회로(27B)가 접속되어 있다. 해당 제2 저항 분압 회로(27B)에 의해서 제2 전압 인가부(23B)에 있어서의 제어 전압 $cont2$ 이 생성된다.

[0038] 제1 APD(22A) 및 제2 APD(22B)는, 차분 증폭기(25)에 대해서 전기적으로 병렬로 접속되어 있다. 이 때문에, 제1 바이어스 전압 VA_1 및 제2 바이어스 전압 VA_2 은, 양음 중 어느 한쪽의 극성을 가지고 있으면 된다. 본 실시 형태에서는, 제1 바이어스 전압 VA_1 및 제2 바이어스 전압 VA_2 은, 모두 양의 바이어스 전압으로 되어 있다. 차분 증폭기(25)는 제1 APD(22A)로부터의 제1 신호 전압과, 제2 APD(22B)로부터의 제2 신호 전압의 차분을 증폭한 차분 신호를 생성한다. 차분 증폭기(25)는 생성한 차분 신호를 앰프(8)(도 1 참조)에 출력한다.

[0039] 피드백 제어부(26)는 제1 바이어스 전압 VA_1 및 제2 바이어스 전압 VA_2 중 적어도 한쪽을 제어하는 부분이다. 본 실시 형태에서는, 피드백 제어부(26)는 제2 바이어스 전압 VA_2 을 제어한다. 제2 바이어스 전압 VA_2 의 제어에 있어서, 피드백 제어부(26)는 에러 증폭기(28)를 구비하고 있다. 또, 제2 전압 인가부(23B)의 제2 저항 분압 회로(27B)에는, 접지 단자(GND)와 에러 단자(ERR)를 전환하는 스위치(SW)가 마련되어 있다.

[0040] 제1 전압 인가부(23A)로부터는, 제1 APD(22A)에 공급되는 제1 바이어스 전류 IB_1 (제1 모니터용 전류 IM_1)가 출력된다. 제1 바이어스 전류 IB_1 는 전류 전압 변환기(24)에 의해서 전압으로 변환된 후, 에러 증폭기(28)에 입력된다. 제2 전압 인가부(23B)로부터는, 제2 APD(22B)에 공급되는 제2 바이어스 전류 IB_2 (제2 모니터용 전류 IM_2)가 출력된다. 제2 바이어스 전류 IB_2 는 전류 전압 변환기(24)에 의해서 전압으로 변환된 후, 에러 증폭기(28)에 입력된다.

- [0041] 에러 증폭기(28)는 출력 단자로서 에러 단자(ERR)를 가지고 있다. 에러 증폭기(28)는 입력된 2개의 전압의 저주파 성분을 추출하고, 이들 저주파 성분을 차분하여 얻어진 차분 전압을 제2 저항 분압 회로(27B)에 출력한다. 이 때문에, 에러 단자(ERR)의 전위는, 차분 전압에 따라 변화한다. 제2 전압 인가부(23B)에서는, 스위치(SW)가 접지 단자(GND)에 접속되어 있는 경우에는, 피드백 제어가 실행되지 않는다. 한편, 제2 전압 인가부(23B)에서는, 스위치(SW)가 에러 단자(ERR)에 접속되어 있는 경우에는, 에러 증폭기(28)에 입력되는 2개의 저주파 성분이 서로 동일해지도록 피드백 제어가 실행된다. 스위치(SW)가 에러 단자(ERR)에 접속되어 있는 경우, 에러 증폭기(28)로부터의 출력 전압 중, 제2 저항 분압 회로(27B)에 의해서 저항 분압된 전압이 제2 전압 인가부(23B)의 제어 전압 $cont2$ 이 된다. 즉, 에러 증폭기(28)의 출력 전압에 기초하여 제2 전압 인가부(23B)로부터 제2 APD(22B)에 인가되는 제2 바이어스 전압 VA_2 이 조정되게 된다.
- [0042] 이상 설명한 것처럼, 이 광 차분 검출기(21A)에서는, 제1 APD(22A) 및 제2 APD(22B)가 차분 증폭기(25)에 대해서 병렬로 접속되어 있다. 이 구성에 의하면, 2개의 APD를 증폭기에 대해서 전기적으로 직렬로 접속하는 경우와는 달리, 양음 중 한쪽 극성의 바이어스 전압을 제1 APD(22A) 및 제2 APD(22B)에 인가하면 되기 때문에, 바이어스 전압의 조정이 용이해진다. 그에 더하여, 제1 모니터용 전류 IM_1 의 저주파 성분 및 제2 모니터용 전류 IM_2 의 저주파 성분을 이용하여 제1 바이어스 전압 VA_1 및 제2 바이어스 전압 VA_2 중 적어도 한쪽(여기에서는 제2 바이어스 전압 VA_2)을 제어함으로써, 제1 APD(22A) 및 제2 APD(22B)의 증폭율을 일치시키는 것이 가능해진다. 이 결과, 제1 APD(22A) 및 제2 APD(22B)로부터의 동상 신호가 충분히 제거되어, 동상 잡음의 제거 효과를 높일 수 있으므로, 검사 장치(1)에 있어서 높은 SN비를 가지고 광 검출을 행하는 것이 가능해진다.
- [0043] 또, 광 차분 검출기(21A)에서는, 제1 모니터용 전류 IM_1 가 제1 바이어스 전압 VA_1 의 인가에 의해서 제1 APD(22A)에 흐르는 제1 바이어스 전류 IB_1 이고, 제2 모니터용 전류 IM_2 가 제2 바이어스 전압 VA_2 의 인가에 의해서 제2 APD(22B)에 흐르는 제2 바이어스 전류 IB_2 이다. 이러한 구성에 의해, 제어 전압을 제어하는 피드백 제어부(26)의 구성을 간편하게 실현할 수 있다. 또, 입력광 L1, L2의 강약에 의존하지 않고 저주파 성분의 모니터링 가능해지기 때문에, 피드백 제어의 안정성을 확보할 수 있다.
- [0044] [광 차분 검출기의 제2 실시 형태]
- [0045] 도 3은 광 차분 검출기의 제2 실시 형태를 나타내는 도면이다. 제2 실시 형태에 따른 광 차분 검출기(21B)는, 제1 APD(22A) 및 제2 APD(22B)가 차분 증폭기(25)에 대해서 병렬로 접속되어 있는 점이 제1 실시 형태와 공통되고 있는 한편, 피드백 제어에 이용하는 모니터용 전류가 제1 실시 형태와 상위하다.
- [0046] 광 차분 검출기(21B)에서는, 제1 모니터용 전류 IM_1 는, 제1 APD(22A)로부터 출력되는 제1 신호 전류 IA_1 이고, 제2 모니터용 전류 IM_2 는 제2 APD(22B)로부터 출력되는 제2 신호 전류 IA_2 이다. 보다 상세하게는, 도 3에 나타내는 것처럼, 광 차분 검출기(21B)에서는, 제1 APD(22A)로부터 출력되는 제1 신호 전류 IA_1 는, 전류 전압 변환기(24)에 의해서 제1 신호 전압 VB_1 으로 변환되고, 제1 신호 전압 VB_1 은 차분 증폭기(25)와 에러 증폭기(28)의 쌍방에 입력된다. 또, 제2 APD(22B)로부터 출력되는 제2 신호 전류 IA_2 는 전류 전압 변환기(24)에 의해서 제2 신호 전압 VB_2 으로 변환되고, 제2 신호 전압 VB_2 은 차분 증폭기(25)와 에러 증폭기(28)의 쌍방에 입력된다.
- [0047] 이러한 광 차분 검출기(21B)에 있어서도, 양음 중 한쪽 극성의 바이어스 전압을 제1 APD(22A) 및 제2 APD(22B)에 인가하면 되기 때문에, 바이어스 전압의 조정이 용이해진다. 또, 제1 모니터용 전류 IM_1 의 저주파 성분 및 제2 모니터용 전류 IM_2 의 저주파 성분을 이용하여 제1 바이어스 전압 VA_1 및 제2 바이어스 전압 VA_2 중 적어도 한쪽(여기에서는 제2 바이어스 전압 VA_2)을 제어함으로써, 제1 APD(22A) 및 제2 APD(22B)의 증폭율을 일치시키는 것이 가능해진다. 따라서, 제1 APD(22A) 및 제2 APD(22B)로부터의 동상 신호가 충분히 제거되어, 동상 잡음의 제거 효과를 높일 수 있으므로, 검사 장치(1)에 있어서 높은 SN비를 가지고 광 검출을 행하는 것이 가능해진다.
- [0048] 또, 광 차분 검출기(21B)에서는, 제1 모니터용 전류 IM_1 는 제1 APD(22A)로부터 출력되는 제1 신호 전류 IA_1 이고, 제2 모니터용 전류 IM_2 는 제2 APD(22B)로부터 출력되는 제2 신호 전류 IA_2 이다. 이러한 구성에 의해, 제어 전압을 제어하는 피드백 제어부(26)의 구성을 간편하게 실현할 수 있다.

- [0049] [광 차분 검출기의 제3 실시 형태]
- [0050] 도 4는 광 차분 검출기의 제3 실시 형태를 나타내는 도면이다. 제3 실시 형태에 따른 광 차분 검출기(21C)는, 제1 APD(22A) 및 제2 APD(22B)가 차분 증폭기(25)에 대해서 병렬로 접속되어 있는 점이 제1 실시 형태 및 제2 실시 형태와 공통되고 있는 한편, 피드백 제어의 대상이 제1 APD(22A) 및 제2 APD(22B)에 입력되는 입력광 L1, L2의 광량인 점에서 제1 실시 형태 및 제2 실시 형태와 상위하다.
- [0051] 광 차분 검출기(21C)에서는, 도 4에 나타내는 것처럼, 제1 모니터용 전류 IM_1 는, 제1 바이어스 전압 VA_1 의 인가에 의해서 제1 APD(22A)에 흐르는 제1 바이어스 전류 IB_1 이고, 제2 모니터용 전류 IM_2 는 제2 바이어스 전압 VA_2 의 인가에 의해서 제2 APD(22B)에 흐르는 제2 바이어스 전류 IB_2 이다. 제1 바이어스 전류 IB_1 및 제2 바이어스 전류 IB_2 는, 모두 전류 전압 변환기(24)에 의해서 전압으로 변환된 후, 에러 증폭기(28)에 입력된다.
- [0052] 또, 광 차분 검출기(21C)에는 제1 APD(22A)로의 입력광 L1 또는 제2 APD(22B)로의 입력광 L2를 감쇠시키는 광 감쇠기(30)가 배치되어 있다. 광 차분 검출기(21C)에서는, 에러 증폭기(28)와 광 감쇠기(30)에 의해서, 제2 APD(22B)에 입력되는 입력광 L1, L2의 감쇠량을 제어하는 피드백 제어부(26)가 구성되어 있다. 본 실시 형태에서는, 광 감쇠기(30)는 제2 APD(22B)의 입력측에 접속되어, 입력광 L2의 광량을 조정한다. 또, 광 감쇠기(30)에는, 에러 증폭기(28)의 에러 단자(ERR)가 접속되어 있다. 광 감쇠기(30)에서는, 에러 증폭기(28)에 입력되는 2개의 전압의 저주파 성분이 서로 동일해지도록, 입력광 L2의 광량의 피드백 제어가 실행된다.
- [0053] 이러한 광 차분 검출기(21C)에 있어서도, 양음 중 한쪽 극성의 바이어스 전압을 제1 APD(22A) 및 제2 APD(22B)에 인가하면 되기 때문에, 바이어스 전압의 조정이 용이해진다. 또, 제1 모니터용 전류 IM_1 의 저주파 성분 및 제2 모니터용 전류 IM_2 의 저주파 성분을 이용하여 광 감쇠기(30)에 의한 입력광 L2의 감쇠량을 제어함으로써, 제1 APD(22A) 및 제2 APD(22B)로의 입력광 L1, L2의 광량을 일치시키는 것이 가능해진다. 이 결과, 제1 APD(22A) 및 제2 APD(22B)로부터의 동상 신호가 충분히 제거되어, 동상 잡음의 제거 효과를 높일 수 있으므로, 검사 장치(1)에 있어서 높은 SN비를 가지고 광 검출을 행하는 것이 가능해진다.
- [0054] 또, 광 차분 검출기(21C)에서는, 제1 모니터용 전류 IM_1 가 제1 바이어스 전압 VA_1 의 인가에 의해서 제1 APD(22A)에 흐르는 제1 바이어스 전류 IB_1 이고, 제2 모니터용 전류 IM_2 가 제2 바이어스 전압 VA_2 의 인가에 의해서 제2 APD(22B)에 흐르는 제2 바이어스 전류 IB_2 이다. 이러한 구성에 의해, 입력광 L2의 감쇠량을 제어하는 피드백 제어부(26)의 구성을 간편하게 실현할 수 있다.
- [0055] [광 차분 검출기의 제4 실시 형태]
- [0056] 도 5는 광 차분 검출기의 제4 실시 형태를 나타내는 도면이다. 제4 실시 형태에 따른 광 차분 검출기(21D)는 피드백 제어에 이용하는 모니터용 전류가 제3 실시 형태와 상위하다.
- [0057] 광 차분 검출기(21D)에서는, 도 5에 나타내는 것처럼, 제1 모니터용 전류 IM_1 는 제1 APD(22A)로부터 출력되는 제1 신호 전류 IA_1 이고, 제2 모니터용 전류 IM_2 는 제2 APD(22B)로부터 출력되는 제2 신호 전류 IA_2 이다. 광 차분 검출기(21D)에서는, 제1 APD(22A)로부터 출력되는 제1 신호 전류 IA_1 는, 전류 전압 변환기(24)에 의해서 제1 신호 전압 VB_1 으로 변환되고, 제1 신호 전압 VB_1 은 차분 증폭기(25)와 에러 증폭기(28)의 쌍방에 입력된다. 또, 제2 APD(22B)로부터 출력되는 제2 신호 전류 IA_2 는, 전류 전압 변환기(24)에 의해서 제2 신호 전압 VB_2 으로 변환되고, 제2 신호 전압 VB_2 은 차분 증폭기(25)와 에러 증폭기(28)의 쌍방에 입력된다. 광 감쇠기(30)에서는, 에러 증폭기(28)에 입력되는 2개의 전압의 저주파 성분이 서로 동일해지도록, 입력광 L2의 광량의 피드백 제어가 실행된다.
- [0058] 이러한 광 차분 검출기(21D)에 있어서도, 양음 중 한쪽 극성의 바이어스 전압을 제1 APD(22A) 및 제2 APD(22B)에 인가하면 되기 때문에, 바이어스 전압의 조정이 용이해진다. 또, 제1 모니터용 전류 IM_1 의 저주파 성분 및 제2 모니터용 전류 IM_2 의 저주파 성분을 이용하여 광 감쇠기(30)에 의한 입력광 L2의 감쇠량을 제어함으로써, 제1 APD(22A) 및 제2 APD(22B)로의 입력광 L1, L2의 광량을 일치시키는 것이 가능해진다. 이 결과, 제1 APD(22A) 및 제2 APD(22B)로부터의 동상 신호가 충분히 제거되어, 동상 잡음의 제거 효과를 높일 수 있으므로, 검사 장치(1)에 있어서 높은 SN비를 가지고 광 검출을 행하는 것이 가능해진다.

[0059] 또, 광 차분 검출기(21D)에서는, 제1 모니터용 전류는 제1 APD(22A)로부터 출력되는 제1 신호 전류이고, 제2 모니터용 전류는 제2 APD(22B)로부터 출력되는 제2 신호 전류이다. 이러한 구성에 의해, 입력광 L2의 감쇠량을 제어하는 피드백 제어부(26)의 구성을 간편하게 실현할 수 있다.

[0060] [광 차분 검출기의 변형예]

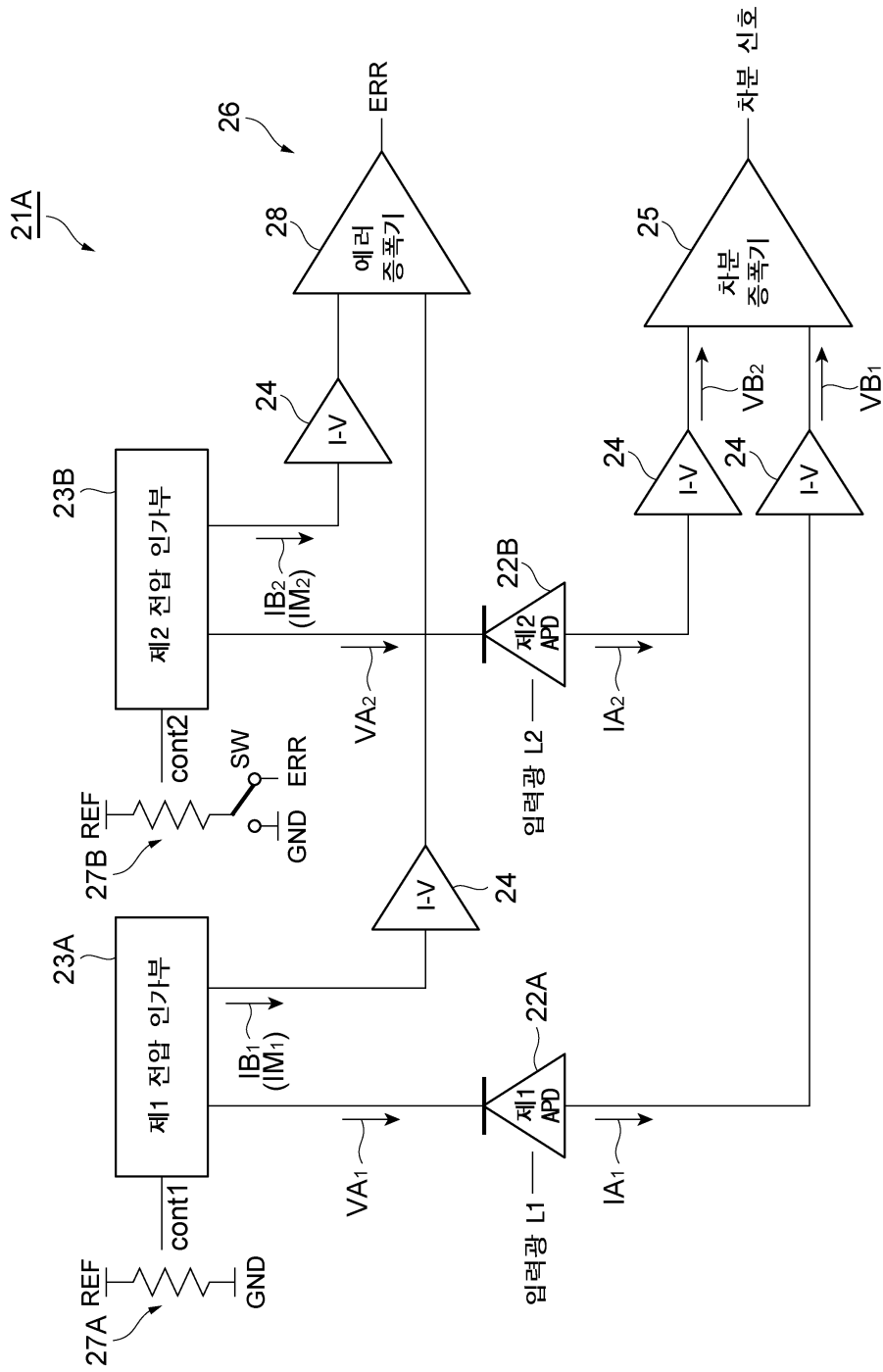
[0061] 본 개시는 상기 실시 형태로 한정되는 것은 아니다. 예를 들면 상기 실시 형태에서는, 제1 전압 인가부(23A)의 제어 전압 cont1을 제1 저항 분압 회로(27A)에 의해서 생성하고, 제2 전압 인가부(23B)의 제어 전압 cont2을 제2 저항 분압 회로(27B)에 의해서 생성하고 있다. 그렇지만, 제어 전압의 생성에는 반드시 저항 분압을 이용할 필요는 없고, 예를 들면 DAC(Digital to Analog Converter)나 마이크로 컴퓨터를 이용하여 제어 전압을 생성해도 된다.

[0062] 이 경우, DAC나 마이크로 컴퓨터는, 제1 전압 인가부(23A) 및 제2 전압 인가부(23B)에 포함될 수 있다. 따라서, 제1 실시 형태 및 제2 실시 형태의 경우에는, 도 6의 (a)에 나타내는 것처럼, 제1 전압 인가부(23A)를 접지 단자(GND)에 접속하면 되고, 제2 전압 인가부(23B)를 스위치(SW)에 접속하면 된다. 또, 제3 실시 형태 및 제4 실시 형태의 경우에는, 도 6의 (b)에 나타내는 것처럼, 제1 전압 인가부(23A) 및 제2 전압 인가부(23B)를 각각 접지 단자(GND)에 접속하면 된다.

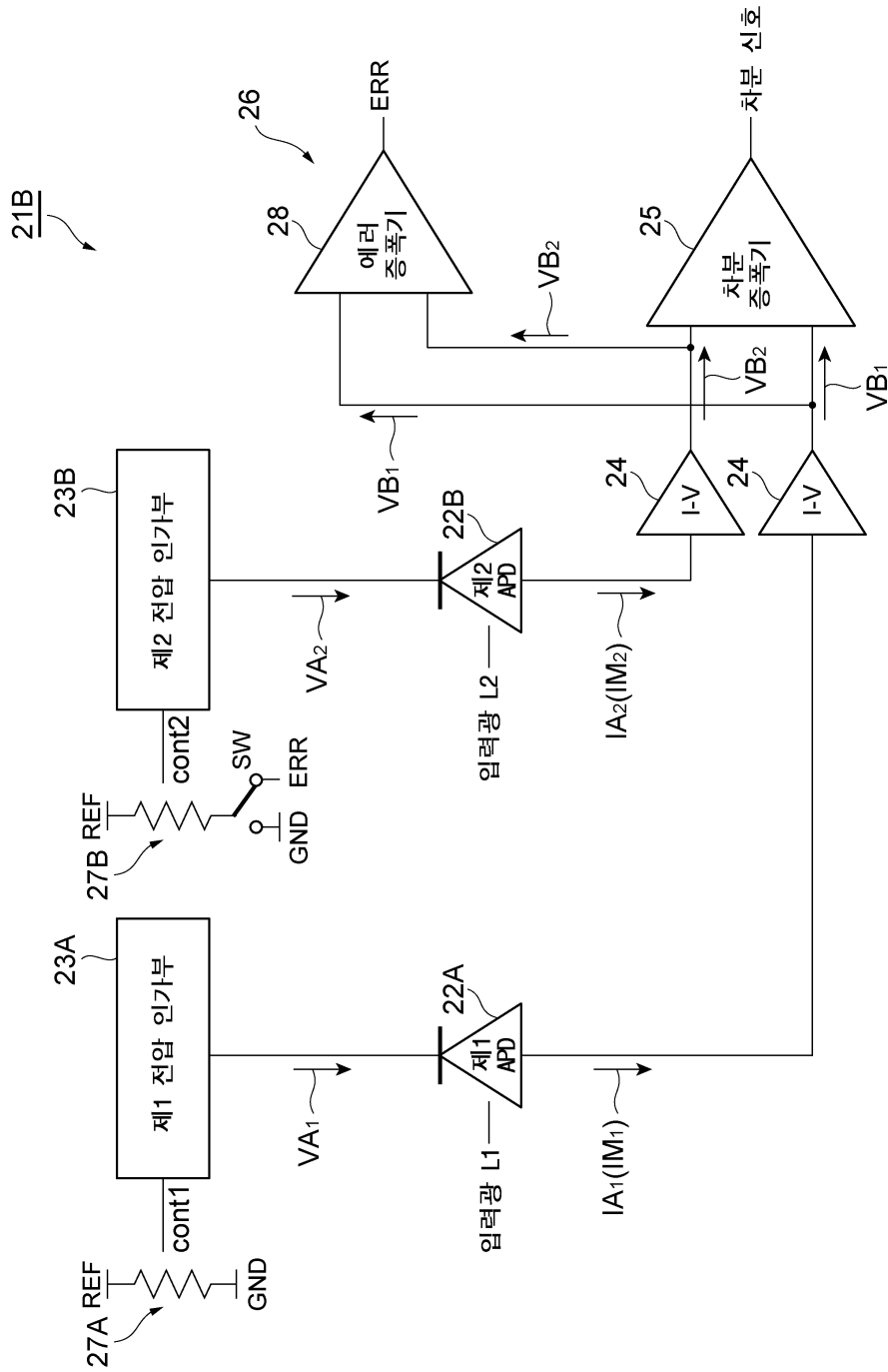
부호의 설명

[0063]	1...검사 장치	2...광원
	6...자기 광학 결정	21A~21D...광 차분 검출기
	22A...제1 APD	22B...제2 APD
	23A...제1 전압 인가부	23B...제2 전압 인가부
	25...차분 증폭기	26...피드백 제어부
	30...광 감쇠기	D...반도체 디바이스(계측 대상물)
	L1, L2...입력광	IM ₁ ...제1 모니터용 전류
	IM ₂ ...제2 모니터용 전류	VA ₁ ...제1 바이어스 전압
	VA ₂ ...제2 바이어스 전압	IA ₁ ...제1 신호 전류
	IA ₂ ...제2 신호 전류	IB ₁ ...제1 바이어스 전류
	IB ₂ ...제2 바이어스 전류	

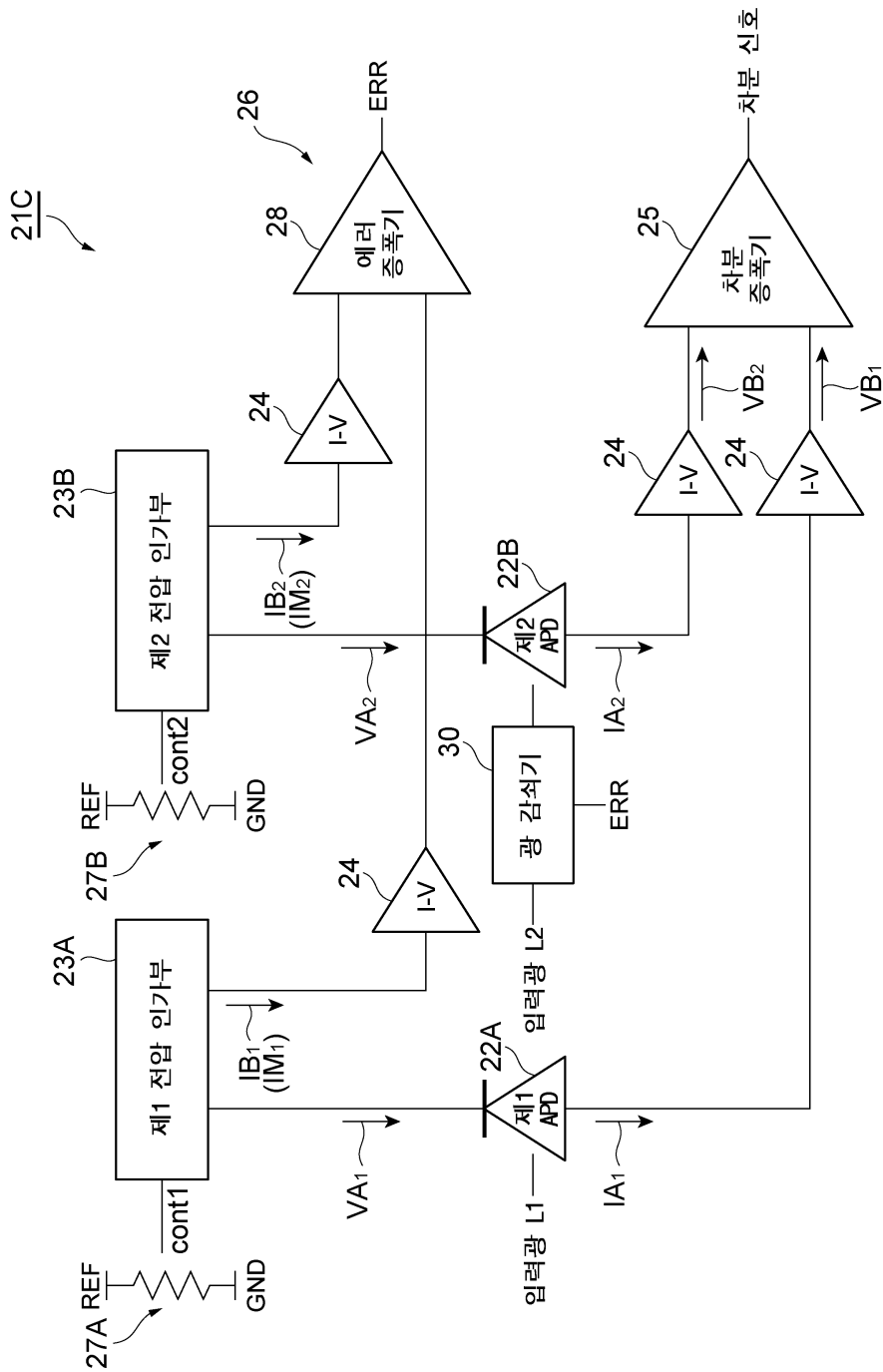
도면2



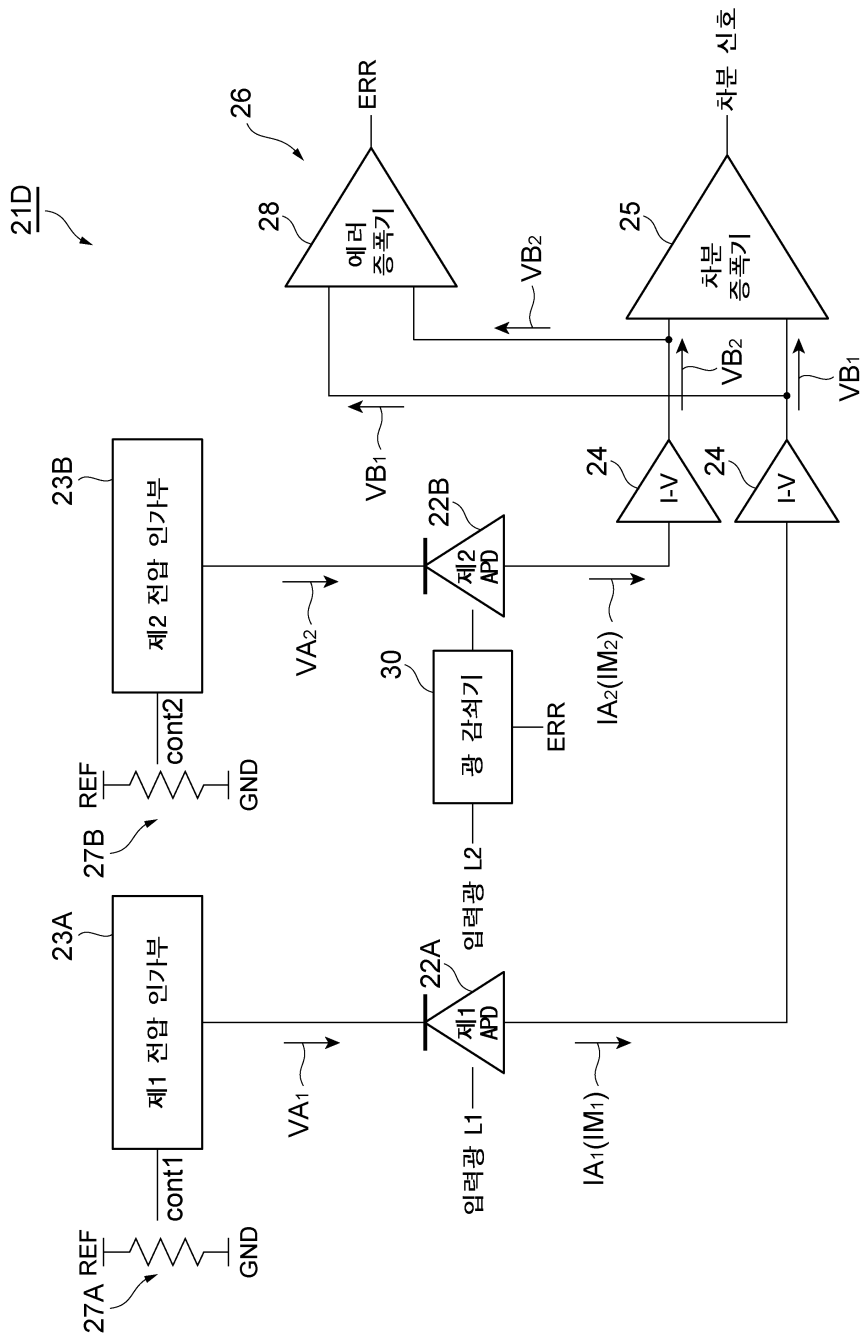
도면3



도면4

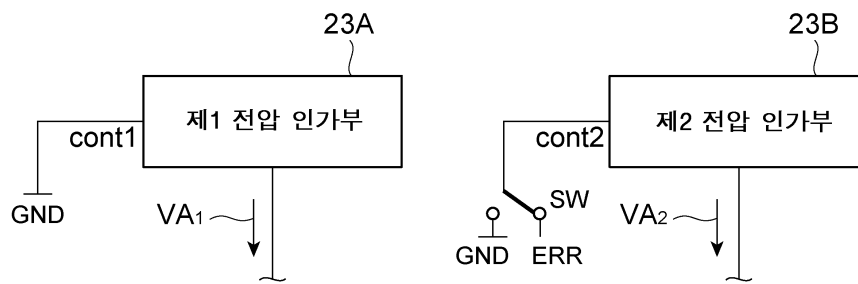


도면5



도면6

(a)



(b)

