(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0059222
(43) 공개일자 2018년06월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/66 (2006.01) *G01R 31/28* (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 22/14 (2013.01)
G01R 31/2858 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0158527
(22) 출원일자 2016년11월25일
심사청구일자 2016년11월25일

(71) 출원인
한국기술교육대학교 산학협력단
충남 천안시 동남구 병천면 충절로 1600, 내 (한국기술교육대학교)
(72) 발명자
김영철
충남 천안시 서북구 한들2로 88, 105-1503 (백석푸르지오)
이준연
대전광역시 동구 대동로 41 (대동)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
이성원

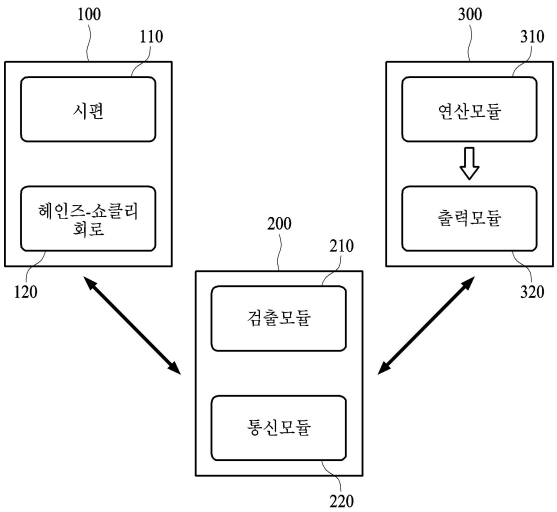
전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 발명의 명칭 **반도체 재료의 소수 캐리어 특성 측정장치 및 이를 이용한 반도체 재료의 소수 캐리어 특성 측정방법**

(57) 요 약

본 발명에 따른 반도체 재료의 소수 캐리어 특성 측정장치는, 시편과, 상기 시편의 소수 캐리어를 측정하는 측정 회로를 포함하는 회로부, 상기 시편에 형성되는 전계 및 상기 회로부에 인가되는 전원을 제어하고, 상기 측정회로로부터 발생하는 미세전압을 검출하여 데이터를 획득하는 검출모듈과, 상기 검출모듈을 통해 획득한 데이터를 송신하는 통신모듈을 포함하는 측정부 및 상기 통신모듈과의 통신을 통해 상기 측정부로부터 수신된 데이터를 가공 및 저장하는 연산모듈과, 상기 연산모듈을 통해 가공된 데이터를 출력하는 출력모듈을 포함하는 프로세서부를 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
H01L 22/34 (2013.01)
(72) 발명자
장미연
인천광역시 서구 원창로 157번길 20-2, 가동 202호(신현동, 도시파크빌라)
유해민
광주 북구 용봉택지로 25, 304동 1103호 (용봉3차 대주파크빌)
차재영
충청남도 계룡시 서금암 5길 9, 202동 1501호 (신성2차 미소지움아파트)
심준현
전라남도 순천시 지봉로 485, 106동 702호 (대주아파트)
송주형
충청남도 계룡시 엄사면 합판길 15-6

명 세 서

청구범위

청구항 1

시편과, 상기 시편의 소수 캐리어를 측정하는 측정회로를 포함하는 회로부;

상기 시편에 형성되는 전계 및 상기 회로부에 인가되는 전원을 제어하고, 상기 측정회로로부터 발생하는 미세전압을 검출하여 데이터를 획득하는 검출모듈과, 상기 검출모듈을 통해 획득한 데이터를 송신하는 통신모듈을 포함하는 측정부; 및

상기 통신모듈과의 통신을 통해 상기 측정부로부터 수신된 데이터를 가공 및 저장하는 연산모듈과, 상기 연산모듈을 통해 가공된 데이터를 출력하는 출력모듈을 포함하는 프로세서부;

를 포함하는 반도체 재료의 소수 캐리어 특성 측정장치.

청구항 2

제1항의 반도체 재료의 소수 캐리어 특성 측정장치를 이용한 반도체 재료의 소수 캐리어 특성 측정방법에 있어서,

상기 검출모듈이 상기 시편에 형성되는 전계 및 상기 회로부에 인가되는 전원을 제어하는 (a)단계;

상기 검출모듈이 상기 측정회로로부터 발생되는 미세 전압을 검출하여 데이터를 획득하는 (b)단계;

상기 통신모듈이 상기 검출모듈을 통해 획득한 데이터를 상기 연산모듈로 송신하는 (c)단계; 및

상기 연산모듈이 상기 측정부로부터 수신된 데이터를 가공 및 저장하는 (d)단계;

를 포함하는 반도체 재료의 소수 캐리어 특성 측정방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 (d)단계 이후에는,

상기 출력모듈이 상기 연산모듈을 통해 가공된 데이터를 출력하는 (e)단계가 더 포함되는 반도체 재료의 소수 캐리어 특성 측정방법.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 (a)단계 이전에는,

상기 프로세서부가, 상기 검출모듈에 상기 시편에 형성될 전계값 및 상기 회로부에 인가될 전원값을 전송하는 (f)단계가 더 포함되는 반도체 재료의 소수 캐리어 특성 측정방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 반도체 재료의 소수 캐리어 특성 측정장치 및 이를 이용한 반도체 재료의 소수 캐리어 특성 측정방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 반도체의 소수 캐리어 측정 과정을 아두이노 기반 장비로 대체하여 고가의 장비 없이 자동으로 수행할 수 있도록 하는 반도체 재료의 소수 캐리어 특성 측정장치 및 이를 이용한 반도체 재료의 소수 캐리어 특성 측정방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 일반적으로 반도체 재료의 특성을 평가하기 위해서는 재료 내에 있는 다수 캐리어와 소수 캐리어에 대한 정보를 평가하는 것이 필요하다.

[0003] 이때 상기 다수 캐리어는 전기전도도와 홀계수 측정으로 평가가 가능하며, 소수 캐리어는 헤인즈-쇼클리(Haynes-Shockley)법으로 평가가 가능하다.

[0004] 그리고 종래의 소수 캐리어 평가를 위한 헤인즈-쇼클리 실험은, 측정을 위한 고성능의 오실로스코프가 필요한 것은 물론, 수치 계산을 위한 수작업을 통한 연산 과정이 따로 필요하다.

[0005] 이는 측정과 분석을 동시에 진행할 수 없는 것은 물론, 고가의 오실로스코프를 구비하는 것이 전제되므로 비용적인 부담이 심하다는 문제가 있다.

[0006] 뿐만 아니라 연산 과정이 복잡하므로 수작업에 의존하던 종래의 평가방법으로는 시간이 오래 소요될 뿐 아니라, 결과에 오차가 발생할 확률이 높다는 문제가 있다.

[0007] 따라서 이와 같은 문제점들을 해결하기 위한 방법이 요구된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 상술한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위하여 안출된 발명으로서, 고가의 장비 없이, 또한 수작업의 연산 과정 없이 반도체 재료의 소수 캐리어 측정을 위한 헤인즈-쇼클리 실험을 쉽고 간편하게 실행할 수 있도록 하기 위한 목적을 가진다.

[0009] 본 발명의 과제들은 이상에서 언급한 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 반도체 재료의 소수 캐리어 특성 측정장치는, 시편과, 상기 시편의 소수 캐리어를 측정하는 측정회로를 포함하는 회로부, 상기 시편에 형성되는 전계 및 상기 회로부에 인가되는 전원을 제어하고, 상기 측정회로로부터 발생하는 미세전압을 검출하여 데이터를 획득하는 검출모듈과, 상기 검출모듈을 통해 획득한 데이터를 송신하는 통신모듈을 포함하는 측정부 및 상기 통신모듈과의 통신을 통해 상기 측정부로부터 수신된 데이터를 가공 및 저장하는 연산모듈과, 상기 연산모듈을 통해 가공된 데이터를 출력하는 출력모듈을 포함하는 프로세서부를 포함한다.

[0011] 그리고 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 반도체 재료의 소수 캐리어 특성 측정방법은, 상기 검출모듈이 상기 시편에 형성되는 전계 및 상 기 회로부에 인가되는 전원을 제어하는 (a)단계, 상기 검출모듈이 상기 측정회로로부터 발생되는 미세 전압을 검출하여 데이터를 획득하는 (b)단계, 상기 통신모듈이 상기 검출모듈을 통해 획득한 데이터를 상기 연산모듈로 송신하는 (c)단계 및 상기 연산모듈이 상기 측정부로부터 수신된 데이터를 가공 및 저장하는 (d)단계를 포함한다.

[0012] 또한 상기 (d)단계 이후에는, 상기 출력모듈이 상기 연산모듈을 통해 가공된 데이터를 출력하는 (e)단계가 더 포함될 수 있다.

[0013] 그리고 상기 (a)단계 이전에는, 상기 프로세서부가, 상기 검출모듈에 상기 시편에 형성될 전계값 및 상기 회로부에 인가될 전원값을 전송하는 (f)단계가 더 포함될 수 있다.

발명의 효과

[0014] 상기한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 반도체 재료의 소수 캐리어 특성 측정장치 및 이를 이용한 반도체 재료의 소수 캐리어 특성 측정방법은 다음과 같은 효과가 있다.

[0015] 첫째, 헤인즈-쇼클리 실험을 통해 반도체 재료의 소수 캐리어 특성을 측정할 수 있는 장점이 있다.

[0016] 둘째, 가격이 저렴한 아두이노 기반의 IoT장비를 이용하여 오실로스코프를 대체할 수 있으므로, 헤인즈-쇼클리 실험에 필요한 고성능의 장비를 별도로 구비하지 않아도 실험이 가능하다는 장점이 있다.

[0017] 셋째, 데이터 가공을 위한 작업을 프로세서를 통해 자동으로 수행하므로, 수작업의 연산 과정이 요구되지 않는

장점이 있다.

[0018] 넷째, 반도체 소자에 대해 배우는 수업의 실습 기자재로도 활용이 가능하다는 장점이 있다.

[0019] 본 발명의 효과들은 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 청구범위의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 반도체 재료의 소수 캐리어 특성 측정장치의 구조를 나타낸 도면;

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 반도체 재료의 소수 캐리어 특성 측정방법의 각 과정을 나타낸 흐름도; 및

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 반도체 재료의 소수 캐리어 특성 측정방법에 있어서, 프로세서에 의해 구현된 소프트웨어의 GUI를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 이하 본 발명의 목적이 구체적으로 실현될 수 있는 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 설명한다. 본 실시예를 설명함에 있어서, 동일 구성에 대해서는 동일 명칭 및 동일 부호가 사용되며 이에 따른 부가적인 설명은 생략하기로 한다.

[0022] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 반도체 재료의 소수 캐리어 특성 측정장치의 구조를 나타낸 도면이다.

[0023] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 반도체 재료의 소수 캐리어 특성 측정장치는 회로부(100)와, 측정부(200)와, 프로세서부(300)를 포함한다.

[0024] 상기 회로부(100)는 시편(110) 및 상기 시편(110)의 소수 캐리어를 측정하기 위한 측정회로를 포함하며, 이때 상기 측정회로로는 헤인즈-쇼클리회로(120)가 적용될 수 있다.

[0025] 그리고 상기 측정부(200)는 상기 시편(110)에 형성되는 전계 및 상기 회로부에 인가되는 전원을 제어하고, 상기 헤인즈-쇼클리회로(120)로부터 발생하는 미세전압을 검출하여 데이터를 획득하는 검출모듈(210)과, 상기 검출모듈(210)을 통해 획득한 데이터를 상기 프로세서부(300)에 송신하는 통신모듈(220)을 포함한다.

[0026] 또한 상기 프로세서부(300)는 상기 통신모듈(220)과의 통신을 통해 상기 측정부(200)로부터 수신된 데이터를 가공 및 저장하는 연산모듈(310)과, 상기 연산모듈(310)을 통해 가공된 데이터를 출력하는 출력모듈(320)을 포함한다.

[0027] 즉 상기 측정부(200)는 상기 회로부(100)의 드리프트 전계를 제어하는 동시에 상기 회로부(100)로부터의 흘러나오는 미세 전압을 검출하여 데이터를 획득하게 되고, 상기 프로세서부(300)는 획득한 데이터를 전송받아 가공하여 반도체 재료, 즉 시편(110)의 의 소수 캐리어 특성을 측정할 수 있다.

[0028] 이때 상기 검출모듈(210)로는 아두이노 기반의 IoT(Internet of Things)장비가 적용될 수 있으며, 이를 통해 상기 검출모듈(210)은 종래의 오실로스코프를 대체할 수 있어 헤인즈-쇼클리 실험에 필요한 고성능의 장비를 별도로 구비하지 않아도 실험이 가능하다.

[0029] 한편 시편(110)에 전계를 형성할 때, 오믹접합이 아니면 전계가 시편(110)에 모두 온전히 걸리지 않아 측정의 부정확도를 상승시킬 수 있으므로, 오믹접합을 통해 접합을 수행하는 것이 바람직하다.

[0030] 또한 헤인즈-쇼클리회로(120) 내의 저항은 검출모듈(210)이 측정 가능한 값이 나올 수 있도록 적절한 크기를 선택하여야 한다. 또한 시편(110)에 많은 전류가 흐르게 되면 시편(110)에서 생성되는 열이 많아지게 되는데, 이 또한 측정의 부정확도를 상승시킬 수 있으므로 적절한 전류를 흘려 주는 것이 바람직하다.

[0031] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 반도체 재료의 소수 캐리어 특성 측정방법의 각 과정을 나타낸 흐름도이다.

[0032] 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 반도체 재료의 소수 캐리어 특성 측정방법은, 상기 검출모듈(210)이 상기 시편(110)에 형성되는 전계 및 상기 회로부(100)에 인가되는 전원을 제어하는 (a)단계와, 상기 검출모듈(210)이 상기 측정회로, 즉 헤인즈-쇼클리회로(120)로부터 발생되는 미세 전압을 검출하여 데이터를 획득하는 (b)단계와, 상기 통신모듈(220)이 상기 검출모듈(210)을 통해 획득한 데이터를 상기 연산모듈(310)로 송신하는 (c)단계와, 상기 연산모듈(310)이 상기 측정부(200)로부터 수신된 데이터를 가공 및 저장하는 (d)단계를 포함한다.

[0033] 이때 상기 (d)단계 이후에는, 상기 출력모듈(320)이 상기 연산모듈(310)을 통해 가공된 데이터를 출력하는 (e)단계가 더 포함될 수 있으며, 또한 상기 (a)단계 이전에는 상기 프로세서부(300)가, 상기 검출모듈(210)에 상기 시편(110)에 형성될 전계값 및 상기 회로부(100)에 인가될 전원값을 전송하는 (f)단계가 더 포함될 수 있다.

[0034] 즉 상기 프로세서부(300)에는 시편(110)의 소수 캐리어를 측정하기 위해 각 구성요소를 제어하는 소정의 제어 프로그램이 설치될 수 있으며, 이를 통해 먼저 상기 시편(110)에 형성될 전계값 및 상기 회로부(100)에 인가될 전원값을 상기 검출모듈(210)에 전송하게 된다.

[0035] 이후 상기 (a) 내지 상기 (e)단계를 통해 반도체 재료의 소수 캐리어 특성을 측정 및 가공하고, 이를 출력하여 사용자가 용이하게 인지하도록 할 수 있다.

[0036] 도 3은 프로세서(300)에 의해 구현된 소프트웨어의 GUI를 예시하여 나타낸 도면이다. 도 3에 도시된 바와 같이, 상기 각 구성요소들을 통해 측정 및 가공된 소수 캐리어 특성은 사용자가 인지하기 용이하도록 디스플레이모듈 등을 통해 출력될 수 있다.

[0037] 이하에서는, 상기와 같은 과정을 위한 헤인즈-쇼클리 측정법에 대해 설명하도록 한다.

[0038] 일반적으로 반도체의 전기적 특성은 $J = \sum Q N v = \sum Q Flux$ 에 의해 결정되며, 반도체 재료와 온도, 제조공정, 소자의 구조, 인가한 전압에 의해 결정된다. 여기서 $Q[C]$는 전류 형성에 기여하는 전하가 어떤 전하(전자: -q, 정공: +q)를 띠고 있는지에 관한 파라메터이며, $N[cm^{-3}]$는 전류 형성에 기여하는 전하의 단위체적당 농도(전자: n, 정공: p)가 얼마인지에 관한 파라메터이다. 또한 $v[cm/s]$는 전하가 어떤 이동 과정에 의해 얼마나 빨리 이동하는가를 나타내는 파라메터이다.

[0039] 그리고 반도체에서 과잉 캐리어의 공간적 분포와 시간적 변화를 지배하는 공지된 연속방정식과 켤레전하 전송방정식에 의하면, 과잉 캐리어의 특성 분포와 변화는 소수 캐리어 특성에 의해 지배된다.

[0040] 따라서 과잉 캐리어 특성을 지배하는 소수 캐리어의 특성변수(Characteristic Parameters)로서의 측정과 분석은 과잉 캐리어의 공간적 분포와 시간에 따른 변화에 의해 결정되는 반도체 소자의 전기적 특성을 이해하는 데 필수적이다.

[0041] 이와 같이 소수 캐리어의 특성은 크게 평균수명, 확산길이, 이동도, 확산계수를 포함할 수 있으며, 이들은 쇼클리-헤인즈 실험을 통해 도출할 수 있다.

[0042] 소수 캐리어 특성 측정 장치를 통해 농도 분포의 최댓값을 갖는 위치는 드리프트에 의해 $v_d = \mu_p^n \varepsilon_0 [cm/s]$ 의 속도로 이동한다. 즉 과잉 캐리어를 생성하는 지점으로부터 거리 d[cm]인 점에서 최대전압이 관측되는 시간 $t_d[s]$는 $t_d = \frac{d}{v_d} = \frac{d}{\mu_p^n \varepsilon_0}$ 가 된다. 따라서 소수 캐리어인 정공의 이동도는 다음의 식으로부터 구할 수 있다.

[0043] $$\mu_p^n = \frac{d}{t_d \varepsilon_0} [cm^3/V \cdot S] \quad \varepsilon_0 = \frac{V_1 - I_1 R_1}{L_0} [V/cm]$$

[0044] 그리고 재결합에 의한 캐리어 농도의 변화가 크지 않은 시점($t \ll \tau_{p0}$, $e^{-t/\tau_{p0}} \approx 1$)의 캐리어 농도는

[0045] $$\delta p_n(t,x) = \frac{\triangle p}{\sqrt{4\pi D_p t}} \exp\left(-\frac{(x-(x_0+\mu_p \varepsilon_0 t)^2)}{4D_p t}\right) = \delta p_{n0}(t) \exp\left(-\frac{(x-(x_0+v_d t)^2)}{4D_p t}\right)[cm^3]$$

로 나타낼 수 있으며, 이를 소수 캐리어의 확산계수 측정에 이용할 수 있다.

[0046] 즉 서로 다른 두 시점에서 캐리어 농도의 최댓값을 비교하면

[0047] $$\delta p_{n2} \equiv \delta p_n(x = x_0 \pm \triangle x/2) = e^{-1}\delta p_{n0}(t_d)[cm^3],$$

$$\exp(-\frac{(\triangle x/2)^2}{4D_p t_d}) = \exp(-1), \quad 4D_p^n t_d = \frac{\triangle x^2}{4}$$ 이므로,

[0048] 소수 캐리어인 정공의 확산계수는 다음을 이용하여 구할 수 있다.

[0049] $$D_p^n = \frac{\triangle x^2}{16t_d} = \frac{(\triangle t v_d)^2}{16t_d} = \frac{(\triangle x)^2}{16t_d} \cdot (\frac{d}{t_d})^2 = \frac{(d\triangle t)^2}{16t_d^3}[cm^2/s]$$

[0050] 또한 과잉 캐리어의 평균수명은 서로 다른 두 시점에 대한 농도 분포의 최댓값의 변화를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

[0051] $$\text{최댓값}1 : \text{최댓값}2 = \frac{\triangle p e^{-t_1/\tau_p}}{\sqrt{4\pi D_p t_1}} : \frac{\triangle p e^{-t/\tau_p}}{\sqrt{4\pi D_p t_2}}$$ 또는

$$\frac{\text{최댓값}1}{\text{최댓값}2} = \sqrt{t_1/t_2}e^{(t_2 - t_1)/\tau_p}$$

[0052] $$\tau_{p0} = (t_2 - t_1)/\ln(\sqrt{(\frac{t_1}{t_2})} \cdot (\frac{\text{최댓값}1}{\text{최댓값}2}))[s]$$

[0053] 이상과 같이, 본 발명은 헤인즈-쇼클리 실험을 통해 반도체 재료의 소수 캐리어 특성을 측정할 수 있으며, 특히 가격이 저렴한 아두이노 기반의 IoT장비를 이용하여 오실로스코프를 대체할 수 있으므로, 헤인즈-쇼클리 실험에 필요한 고성능의 장비를 별도로 구비하지 않아도 실험이 가능하다는 장점을 가진다.

[0054] 또한 데이터 가공을 위한 작업을 프로세서를 통해 자동으로 수행하므로, 수작업의 연산 과정이 요구되지 않아 신속한 특성 평가가 가능하다는 장점이 있다.

[0055] 이상과 같이 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 살펴보았으며, 앞서 설명된 실시예 이외에도 본 발명이 그 취지나 범주에서 벗어남이 없이 다른 특정 형태로 구체화될 수 있다는 사실은 해당 기술에 통상의 지식을 가진 이들에게는 자명한 것이다. 그러므로, 상술된 실시예는 제한적인 것이 아니라 예시적인 것으로 여겨져야 하고, 이에 따라 본 발명은 상술한 설명에 한정되지 않고 첨부된 청구항의 범주 및 그 동등 범위 내에서 변경될 수도 있다.

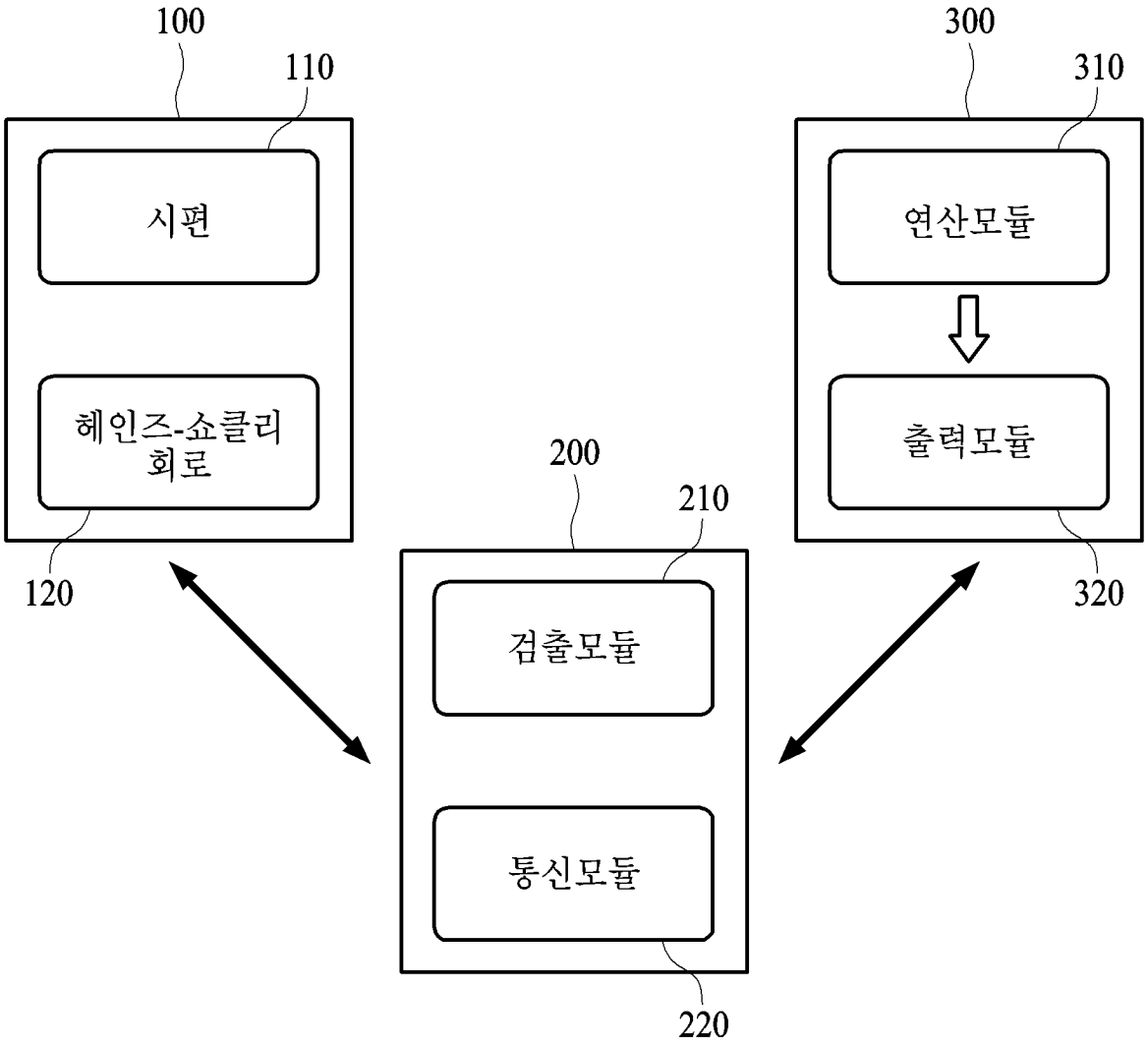
부호의 설명

[0056]

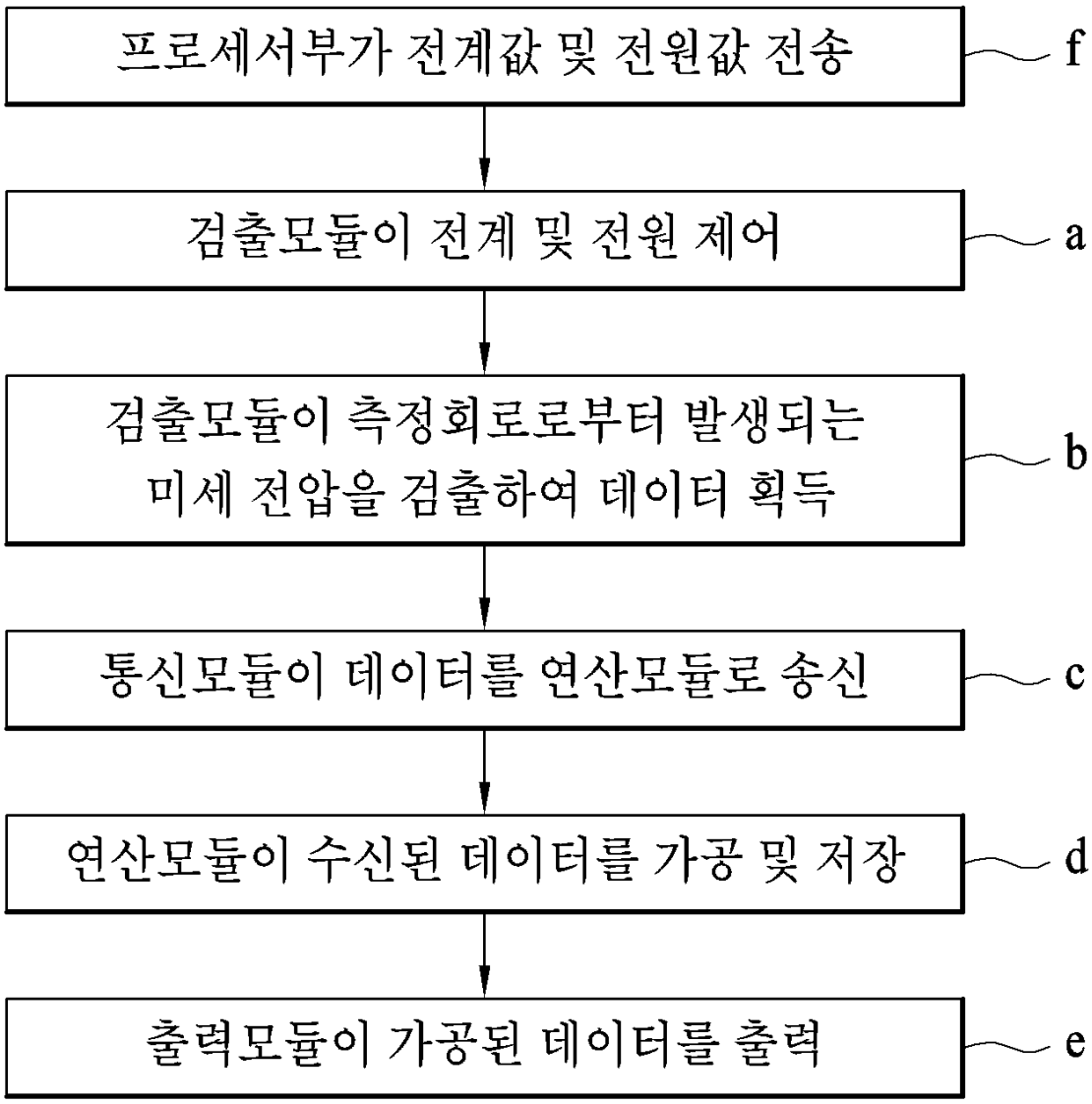
100: 회로부	110: 시편
120: 헤인즈-쇼클리회로	200: 측정부
210: 검출모듈	220: 통신모듈
300: 프로세서부	310: 연산모듈
320: 출력모듈	

도면

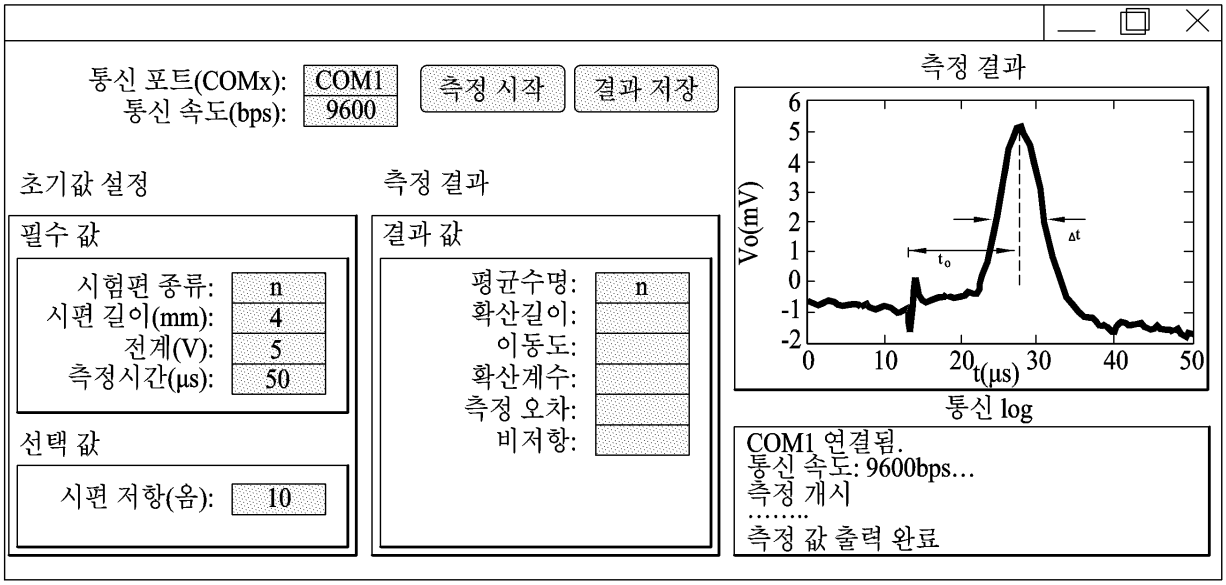
도면1


100
110
시편
헤인즈-쇼클리 회로
120
200
210
검출모듈
통신모듈
220
300
310
연산모듈
출력모듈
320

도면2


프로세서부가 전계값 및 전원값 전송
f
검출모듈이 전계 및 전원 제어
a
검출모듈이 측정회로로부터 발생되는
미세 전압을 검출하여 데이터 획득
b
통신모듈이 데이터를 연산모듈로 송신
c
연산모듈이 수신된 데이터를 가공 및 저장
d
출력모듈이 가공된 데이터를 출력
e

도면3


통신 포트(COMx):
COM1
통신 속도(bps):
9600
측정 시작
결과 저장
초기값 설정
필수 값
시험편 종류:
n
시편 길이(mm):
4
전계(V):
5
측정시간(μs):
50
선택 값
시편 저항(옴):
10
측정 결과
결과 값
평균수명:
n
확산길이:
이동도:
확산계수:
측정 오차:
비저항:
측정 결과
Vo(mV)
t(μs)
통신 log
COM1 연결됨.
통신 속도: 9600bps…
측정 개시
……..
측정 값 출력 완료