(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년05월29일
(11) 등록번호 10-1983848
(24) 등록일자 2019년05월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*H03B 5/20* (2006.01) *H03B 5/04* (2006.01)
(52) CPC특허분류
*H03B 5/20* (2013.01)
*H03B 5/04* (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0156786
(22) 출원일자 2017년11월22일
심사청구일자 2017년11월22일
(56) 선행기술조사문헌
US20130099872 A1
JP2006526279 A

(73) 특허권자
**부경대학교 산학협력단**
부산광역시 남구 신선로 365 (용당동, 부경대학교)
(72) 발명자
**이용욱**
부산광역시 남구 분포로 113, 220동 2502호 (용호동, 엘지메트로시티)
(74) 대리인
**유성원, 전소정, 배경용**

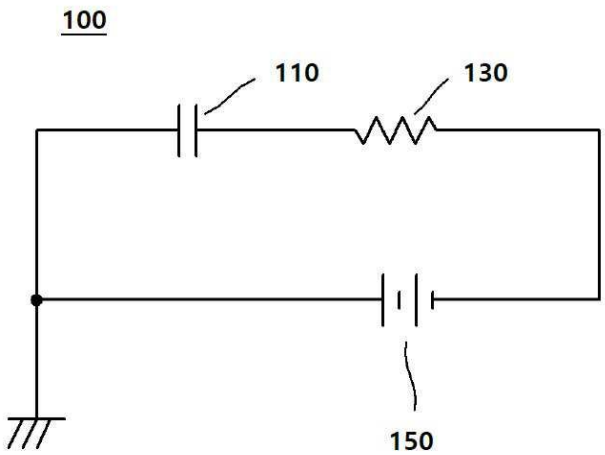
전체 청구항 수 : 총 6 항 심사관 : 신우열

(54) 발명의 명칭 **2단자 단위 소자 기반의 발진 회로 및 그 발진 회로를 이용한 온도 및 압력 측정 방법**

## (57) 요 약

본 발명은 2단자 단위 소자 기반의 발진 회로 및 그 발진 회로를 이용한 온도 및 압력 측정 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 전계 유도 상전이 시 부성 미분 저항(negative differential resistance : NDR) 특성을 갖는 물질 기반의 2단자 단위 소자; 상기 2단자 단위 소자에 직렬로 연결된 저항 소자; 및 상기 2단자 단위 소자에 전압 또는 전류를 인가하는 전원;을 포함하며, 상기 2단자 단위 소자에 인가된 온도 및 압력은 상기 2단자 단위 소자에 인가되는 온도 및 압력에 따른 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화 민감도를 기산출하여 이용함으로써 산출된다.

*대 표 도* - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 20170671
부처명 부산광역시
연구관리전문기관 부산과학기술기획평가원
연구사업명 부산광역시 대학 산학연 연구단지 조성사업
연구과제명 산화물 박막 소자의 전압 유도 발진 기반 압력 센싱 기술 개발
기 여 율 1/1
주관기관 부경대학교 산학협력단
연구기간 2017.05.01 ~ 2017.10.31
공지예외적용 : 있음

# 명 세 서

## 청구범위

### 청구항 1

2단자 단위 소자 기반의 발진 회로에 있어서,

전계 유도 상전이 시 부성 미분 저항(negative differential resistance : NDR) 특성을 갖는 물질 기반의 2단자 단위 소자;

상기 2단자 단위 소자에 직렬로 연결된 저항 소자; 및

상기 2단자 단위 소자에 전압 또는 전류를 인가하는 전원;을 포함하며,

상기 2단자 단위 소자에 인가된 온도 및 압력은 상기 2단자 단위 소자에 인가되는 온도 및 압력에 따른 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화 민감도를 기산출하여 이용함으로써 산출되는 것을 특징으로 하는 발진 회로.

### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 온도에 따른 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화 민감도는,

하기 <수학식 4>에 의해 산출되는 것을 특징으로 하는 발진 회로.

<수학식 4>

$$S_{ft} = \frac{\Delta f}{\Delta T}$$

$$S_{at} = \frac{\Delta V_m}{\Delta T}$$

여기서, T는 온도, f는 발진 주파수, $V_m$는 발진 진폭을 나타냄.

### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 압력에 따른 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화 민감도는,

하기 <수학식 5>에 의해 산출되는 것을 특징으로 하는 발진 회로.

<수학식 5>

$$S_{fp} = \frac{\Delta f}{\Delta P}$$

$$S_{ap} = \frac{\Delta V_m}{\Delta P}$$

여기서, P는 압력, f는 발진 주파수, $V_m$는 발진 진폭을 나타냄.

### 청구항 4

2단자 단위 소자 기반의 발진 회로를 이용한 온도 및 압력 측정 방법에 있어서,

전압 발진을 생성하는 단계;

상기 2단자 단위 소자에 인가되는 온도 및 압력에 대한 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화 민감도를 각각 산출하는 단계; 및

상기 2단자 단위 소자에 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화량을 측정하면, 상기 산출된 온도 및 압력에 대한 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화 민감도를 이용하여 상기 2단자 단위 소자에 인가된 온도 및 압력의 변화량을 산출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 온도 및 압력 측정 방법.

**청구항 5**

제4항에 있어서,

상기 온도에 따른 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화 민감도는,

하기 <수학식 6>에 의해 산출되는 것을 특징으로 하는 온도 및 압력 측정 방법.

<수학식 6>

$$S_{ft} = \frac{\Delta f}{\Delta T}$$

$$S_{at} = \frac{\Delta V_m}{\Delta T}$$

여기서, T는 온도, f는 발진 주파수, Vm는 발진 진폭을 나타냄.

**청구항 6**

제4항에 있어서,

상기 압력에 따른 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화 민감도는,

하기 <수학식 7>에 의해 산출되는 것을 특징으로 하는 온도 및 압력 측정 방법.

<수학식 7>

$$S_{fp} = \frac{\Delta f}{\Delta P}$$

$$S_{ap} = \frac{\Delta V_m}{\Delta P}$$

여기서, P는 압력, f는 발진 주파수, Vm는 발진 진폭을 나타냄.

## *발명의 설명*

### *기 술 분 야*

[0001] 본 발명은 2단자 단위 소자 기반의 발진 회로 및 그 발진 회로를 이용한 온도 및 압력 측정 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 온도 및 압력 각각에 의한 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화 민감도를 기산출하여 발진 주파수 및 진폭의 변화를 통해 온도 및 압력을 동시에 측정할 수 있도록 하는 2단자 단위 소자 기반의 발진 회로 및 그 발진 회로를 이용한 온도 및 압력 측정 방법에 관한 것이다.

### *배 경 기 술*

[0003] 최근까지 외부 인가 전압에 의해 저항의 변화가 발생하는 절연체에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 특히, 절연체에서 금속으로의 급격한 전이가 발생하는 금속-절연체 전이(metal-insulator transition: MIT) 물질에 관하여도 최근 그 원인의 규명이 실험적으로 이루어지고 있다(김현탁 외, New Journal of Physics, vol. 6, p52, 2004). 상기 MIT 물질은 기판에 형성된 후 전극을 형성하여 2 단자나 3 단자의 소자로 제작될 수 있으며, 이렇

게 제작된 MIT 소자는 여러 가지 전자 소자로서의 응용성을 가진다. 예컨대, MIT 물질을 전계효과 트랜지스터(field effect transistor)로 활용할 수 있다는 특허가 보고되기도 하였다(US 6624463 B2, 미국 등록 특허, 2003년 9월 23일, 김현탁 외).

[0004] MIT 소자는 MIT 소자에 인가되는 전압이 특정 전압(이하, MIT 발생 전압) 이상이 되면 불연속적으로 급격히 전류가 증가하거나 급격히 저항이 감소하는 특성을 보이며, 절연체 상태에서 금속 상태로 전이가 일어나는 특성을 갖는다.

[0005] 바나듐 산화물(vanadium oxide)은 대표적인 강상관계 물질 (strongly correlated material)로서 기본적으로 온도에 따라 비저항(resistivity)이 변하는 특성을 가지고 있으며, 특히, 바나듐 이산화물(vanadium dioxide)(이하, $VO_2$)의 경우에는 비저항의 전이(transition) 폭이 매우 크고 340 K 근처에서 비저항의 변화가 급격히 일어나는 것으로 잘 알려져 있다. 이러한 $VO_2$는 전계(electric field)에 의해서도 비저항의 스위칭 즉, 높은 저항 상태(high resistance state)에서 낮은 저항 상태(low resistance state)로의 상전이(phase transition)가 유도된다고 보고되고 있으며, 이러한 전계 유도 상전이에 대해서 현재까지 국내외적으로 수많은 연구가 수행되어 오고 있다.

[0006] $VO_2$는 전계 유도 상전이 시 부성미분저항(negative differential resistance : NDR)의 특성을 나타내며, 이러한 부성미분저항 특성은 기본적인 집중 회로 요소(lumped circuit element) 즉, 저항, 커패시터(capacitor), 인덕터(inductor)들과 결합시켜 간단한 구조로 전자 발진을 쉽게 생성시킬 수 있기 때문에, 새로운 물성을 지닌 강상관계 산화물들과 함께 최근 들어 큰 주목을 받고 있다.

[0007] NDR 특성을 갖는 물질을 이용한 간단한 구조의 전자 발진 현상은 1975년 Haradome 연구팀이 벌크(bulk) 형 $VO_2$ 결정에서 상온 발진 현상을 관측하고, 1987년 Tanaka 연구팀이 극저온 상태의 페로브스카이트(perovskite) 물질인 $K_{0.3}MoO_3$에서 발진 현상의 관측을 보고하면서부터 트랜지스터나 인덕터 등의 전자 소자를 사용하지 않고 직렬 저항만을 이용하는 간단한 구조로도 발진기를 구현할 수 있는 기술로서 주목을 받기 시작하였다.

[0008] 이러한 NDR 특성을 갖는 소자가 적용된 발진 회로에서 NDR 소자에 인가되는 온도를 증가시킬 경우 발진 주파수가 선형적으로 증가한다는 연구 결과가 2010년에 보고되었으며(IEEE Electron Device Letters, vol. 31, pp.1314-1316, 2010), 또한 그 연구 결과에서는 별도로 언급되지 않았지만 온도를 증가시킬 경우 발진 진폭이 선형적으로 감소하는 추세를 보였다. 그러나, 현재까지 NDR 소자에 인가되는 외부 압력의 변화에 대해 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화가 선형적으로 변화한다는 보고는 이루어지지 않았다.

[0009] 따라서, 외부 압력에 대한 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화에 대해 살펴보고, NDR 특성을 갖는 2단자 단위 소자가 적용된 발진 회로에서 전계 유도 발진을 이용하여 외부 온도 및 압력의 동시 측정 가능 여부에 대해 연구할 필요가 있다.

## *발명의 내용*

### *해결하려는 과제*

[0011] 따라서, 본 발명은 상기한 바와 같은 문제점을 해결하기 위하여 제안된 것으로, NDR 특성을 갖는 2단자 단위 소자가 적용된 발진 회로에서 전계 유도 발진을 이용하여 외부 온도 및 압력을 동시에 측정할 수 있도록 하는 2단자 단위 소자 기반의 발진 회로 및 그 발진 회로를 이용한 온도 및 압력 측정 방법을 제공함에 있다.

[0012] 또한, 본 발명은 온도 및 압력 각각에 의한 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화 민감도를 기산출하여 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화를 통해 온도 및 압력을 동시에 측정할 수 있도록 하는 2단자 단위 소자 기반의 발진 회로 및 그 발진 회로를 이용한 온도 및 압력 측정 방법을 제공함에 있다.

[0013] 또한, 본 발명은 발진 주파수의 변화량 및 발진 진폭의 변화량을 이용하여 소자에 인가된 온도 및 압력의 변화량을 동시에 측정할 수 있도록 함으로써, 촉각 센서와 온도 센서를 별도로 구비할 필요가 없어 비용을 절감할 수 있도록 하는 2단자 단위 소자 기반의 발진 회로 및 그 발진 회로를 이용한 온도 및 압력 측정 방법을 제공함에 있다.

[0014] 본 발명의 목적은 이상에서 언급한 것으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자에게 명확히 이해될 수 있을 것이다.

## 과제의 해결 수단

[0016] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 2단자 단위 소자 기반의 발진 회로는, 전계 유도 상전이 시 부성 미분 저항(negative differential resistance : NDR) 특성을 갖는 물질 기반의 2단자 단위 소자; 상기 2단자 단위 소자에 직렬로 연결된 저항 소자; 및 상기 2단자 단위 소자에 전압 또는 전류를 인가하는 전원;을 포함하며, 상기 2단자 단위 소자에 인가된 온도 및 압력은 상기 2단자 단위 소자에 인가되는 온도 및 압력에 따른 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화 민감도를 기산출하여 이용함으로써 산출된다.

[0017] 또한, 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 2단자 단위 소자 기반의 발진 회로를 이용한 온도 및 압력 측정 방법은, 전압 발진을 생성하는 단계; 상기 2단자 단위 소자에 인가되는 온도 및 압력에 대한 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화 민감도를 각각 산출하는 단계; 및 상기 2단자 단위 소자에 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화량을 측정하면, 상기 산출된 온도 및 압력에 대한 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화 민감도를 이용하여 상기 2단자 단위 소자에 인가된 온도 및 압력의 변화량을 산출하는 단계를 포함한다.

## 발명의 효과

[0019] 본 발명에 의하면, NDR 특성을 갖는 2단자 단위 소자가 적용된 발진 회로에서 전계 유도 발진을 이용하여 외부 온도 및 압력을 동시에 측정할 수 있다.

[0020] 또한, 본 발명에 의하면, 온도 및 압력 각각에 의한 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화 민감도를 기산출하여 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화를 통해 온도 및 압력을 동시에 측정할 수 있다.

[0021] 또한, 본 발명에 의하면, 발진 주파수의 변화량 및 발진 진폭의 변화량을 이용하여 소자에 인가된 온도 및 압력의 변화량을 동시에 측정할 수 있도록 함으로써, 촉각 센서와 온도 센서를 별도로 구비할 필요가 없어 비용을 절감할 수 있다.

[0022] 본 발명의 효과는 이상에서 언급한 것으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자에게 명확히 이해될 수 있을 것이다.

## 도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 발진 회로를 나타내는 도면,

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 발진 회로에서 외부 온도 변화에 대한 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화를 나타내는 도면,

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 발진 회로에서 외부 압력 변화에 대한 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화를 나타내는 도면,

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 발진 회로에서 온도 및 압력을 동시에 측정하는 방법을 나타내는 순서도.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 본 발명의 목적 및 효과, 그리고 그것들을 달성하기 위한 기술적 구성들은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 본 발명을 설명함에 있어서 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 그리고 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다.

[0026] 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있다. 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

[0027] 한편, 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 부재를 사이에 두고 "간접적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 또한 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 구비할 수 있다는 것을 의미한다.

[0028] 종래에는 인가되는 압력 및 온도를 측정하기 위해 촉각 센서 및 온도 센서를 각각 구비하였으며, 그 촉각 센서 및 온도 센서를 이용하여 압력 및 온도를 각각 측정하였다.

[0029] 본 발명은 NDR 특성을 갖는 2단자 단위 소자에 인가되는 온도 및 압력에 따라 선형적으로 변화하는 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화를 분석하여 온도 및 압력 각각에 의한 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화 민감도를 산출함으로써, 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화를 통해 온도 및 압력의 변화량을 산출한다.

[0030] 즉, 본 발명은 NDR 특성을 갖는 2단자 단위 소자가 적용된 발진 회로에서 전계 유도 발진을 이용하여 외부 온도 및 압력을 동시에 측정한다.

[0031] 이하에서는 본 발명의 실시예에 따른 전계 유도 발진을 이용한 온도 및 압력 동시 측정 방법에 대하여 첨부된 도면을 참고하여 구체적으로 설명하기로 한다.

[0032] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 발진 회로의 구조를 개략적으로 나타내는 도면이다.

[0033] 도 1을 참조하면, 발진 회로(100)는 NDR 특성 물질 기반의 2단자 단위 소자(110), 2단자 단위 소자(110)에 직렬로 연결된 저항 소자(130) 및 전압 또는 전류를 인가하는 전원(150)을 포함한다.

[0034] 이러한 발진 회로(100)를 이용하여 전압 발진을 생성한 뒤, 2단자 단위 소자(110)에 인가되는 온도 및 압력을 각각 변화시키면서 저항 양단에서 측정되는 발진 전압의 변화를 확인할 수 있다.

[0035] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 발진 회로에서 외부 온도 변화에 대한 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화를 나타내는 도면으로, 2단자 단위 소자(110)에 인가되는 온도를 변화시키면서 저항 양단에서 측정되는 발진 전압의 변화를 도시한 것이다.

[0036] 도 2를 참조하면, 2단자 단위 소자(110)에 인가되는 온도가 증가할수록 발진 주파수는 점점 증가하고, 발진 진폭은 점점 감소하는 것을 알 수 있다.

[0037] 이러한 발진 주파수 및 발진 진폭의 온도에 대한 변화는 매우 선형적이므로, 각각의 온도에 대한 변화 민감도는 상수로 표현 가능하다.

[0038] 따라서, 온도 변화 T에 대한 발진 주파수 f 및 발진 진폭 $V_m$의 변화 민감도 $S_{ft}$ 및 $S_{at}$는 각각 하기 <수학식 1>과 같이 나타낼 수 있다.

[0039] <수학식 1>

[0040] $$S_{ft} = \frac{\Delta f}{\Delta T}$$

[0041] $$S_{at} = \frac{\Delta V_m}{\Delta T}$$

[0042] 이고, 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 발진 회로에서 외부 압력 변화에 대한 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화를 나타내는 도면으로, 2단자 단위 소자(110)에 인가되는 압력을 변화시키면서 저항 양단에서 측정되는 발진 전압의 변화를 도시한 것이다.

[0043] 도 3을 참조하면, 2단자 단위 소자(110)에 인가되는 압력이 증가할수록 발진 주파수는 점점 증가하고, 발진 진폭은 점점 감소하는 것을 알 수 있다.

[0044] 이러한 발진 주파수 및 발진 진폭의 온도에 대한 변화는 매우 선형적이므로, 각각의 온도에 대한 변화 민감도는 상수로 표현 가능하다.

[0045] 따라서, 압력 변화 P에 대한 발진 주파수 f 및 발진 진폭 $V_m$의 변화 민감도 $S_{fp}$ 및 $S_{ap}$는 각각 하기 <수학식 2>와 같이 나타낼 수 있다.

[0046] <수학식 2>

[0047] $$S_{fp} = \frac{\Delta f}{\Delta P}$$

[0048] $$S_{ap} = \frac{\Delta V_m}{\Delta P}$$

[0049] 즉, <수학식 1> 및 <수학식 2>에 의해 산출된 민감도 $S_{ft}$, $S_{fp}$, $S_{at}$, $S_{ap}$를 이용하면 하기 <수학식 3>과 같은 행렬 관계식을 나타낼 수 있다.

[0050] <수학식 3>

[0051] $$\begin{pmatrix} \Delta f \\ \Delta V_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{ft} & S_{fp} \\ S_{at} & S_{ap} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta T \\ \Delta P \end{pmatrix}$$

[0052] $$\begin{pmatrix} \Delta T \\ \Delta P \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{ft} & S_{fp} \\ S_{at} & S_{ap} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \Delta f \\ \Delta V_m \end{pmatrix}$$

[0053] 즉, 온도 및 압력 각각에 의한 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화 민감도를 기산출한 상태에서, 이후 2단자 단위 소자(110)에 인가되는 발진 주파수 및 발진 진폭 변화량을 측정함으로써 온도 및 압력을 동시에 산출할 수 있는 것이다.

[0054] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 발진 회로에서 온도 및 압력을 동시에 측정하는 방법을 나타내는 순서도이다.

[0055] 먼저, 2단자 단위 소자(110)와 저항 소자(130)를 직렬로 연결한 뒤, 전원(150)을 이용하여 전압 발진을 생성한다(S401).

[0056] 이 2단자 단위 소자(110)에 인가되는 온도 및 압력을 변화시키면서 온도 및 압력에 대한 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화 민감도를 각각 산출한다(S403).

[0057] 이후, 2단자 단위 소자 기반 발진 회로에서 발생되는 발진 파형의 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화량을 측정한 뒤(S405), 상기 S403 단계에서 산출된 온도 및 압력에 대한 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화 민감도를 이용하여 상기 2단자 단위 소자에 인가된 온도 및 압력의 변화량을 산출한다(S407).

[0058] 즉, 본 발명에 따라 온도 및 압력을 동시에 측정하기 위해서는 해당 2단자 단위 소자가 적용된 발진 회로에서 온도 및 압력의 변화에 따른 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화 민감도 각각을 미리 산출해야 한다. 이후 발진 주파수 및 발진 진폭의 변화량이 측정되면, 앞서 산출한 변화 민감도를 이용하여 2단자 단위 소자에 인가된 온도 및 압력을 동시에 산출하도록 하는 것이다.

[0059] 본 명세서와 도면에는 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 개시하였으며, 비록 특정 용어들이 사용되었으나, 이는 단지 본 발명의 기술 내용을 쉽게 설명하고 발명의 이해를 돕기 위한 일반적인 의미에서 사용된 것이지, 본 발명의 범위를 한정하고자 하는 것은 아니다. 여기에 개시된 실시예 외에도 본 발명의 기술적 사상에 바탕을 둔 다른 변형예들이 실시 가능하다는 것은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 자명한 것이다.

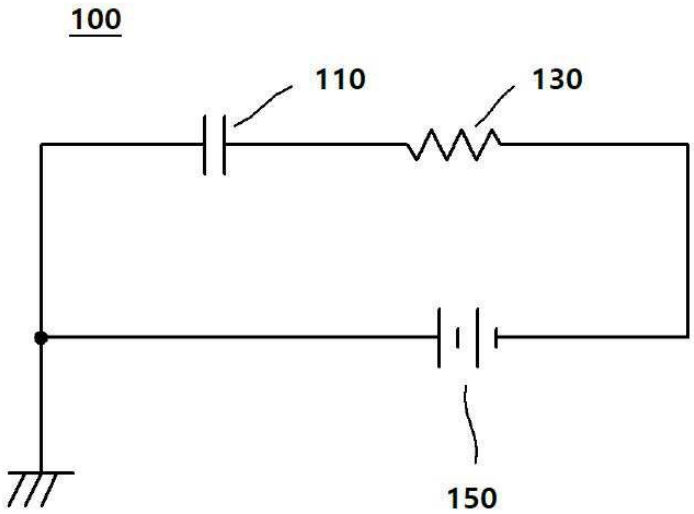
## *부호의 설명*

[0061] 100: 발진 회로 110: 2단자 단위 소자

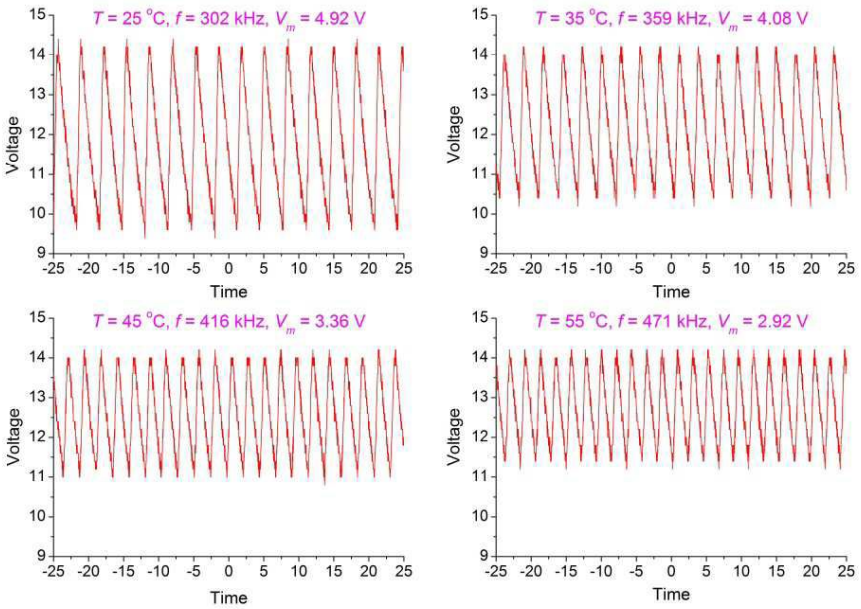
130: 저항 소자 150: 전원

## 도면

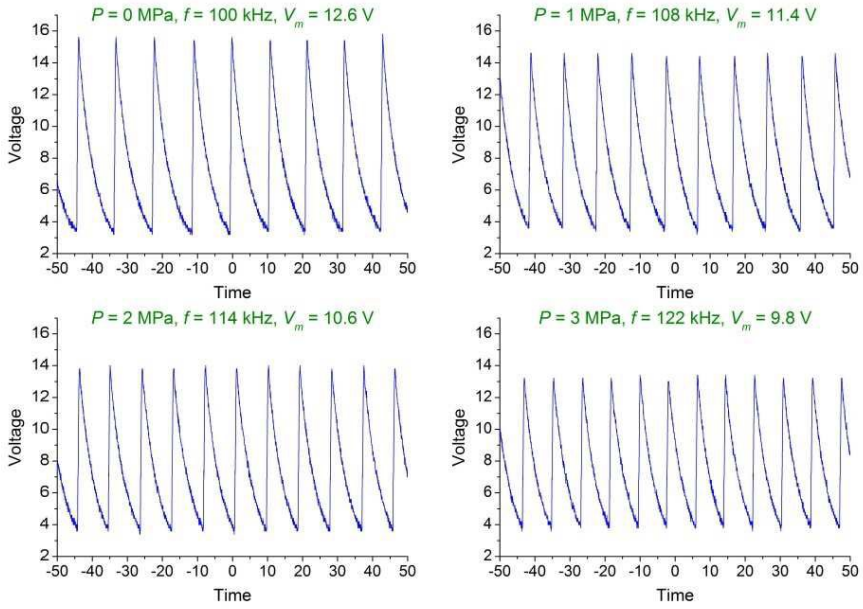
### 도면1


100
110
130
150

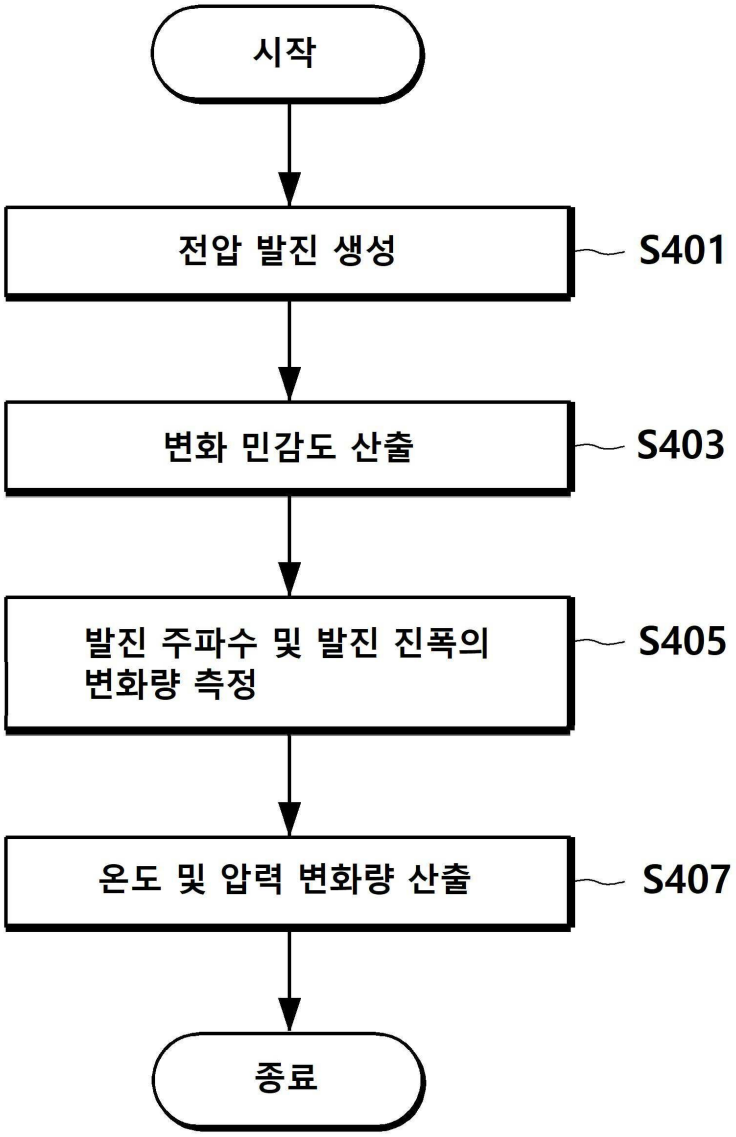
### 도면2


T = 25 °C, f = 302 kHz, V_m = 4.92 V
T = 35 °C, f = 359 kHz, V_m = 4.08 V
T = 45 °C, f = 416 kHz, V_m = 3.36 V
T = 55 °C, f = 471 kHz, V_m = 2.92 V
Voltage
Time

도면3


P = 0 MPa, f = 100 kHz, V_m = 12.6 V
P = 1 MPa, f = 108 kHz, V_m = 11.4 V
P = 2 MPa, f = 114 kHz, V_m = 10.6 V
P = 3 MPa, f = 122 kHz, V_m = 9.8 V
Voltage
Time

도면4


시작
전압 발진 생성
S401
변화 민감도 산출
S403
발진 주파수 및 발진 진폭의 변화량 측정
S405
온도 및 압력 변화량 산출
S407
종료