



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년03월08일
(11) 등록번호 10-2645106
(24) 등록일자 2024년03월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 27/24 (2006.01) G01N 1/42 (2006.01)
G01N 1/44 (2006.01) G01N 27/22 (2006.01)
G01R 31/28 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 27/24 (2013.01)
G01N 1/42 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0102535
(22) 출원일자 2021년08월04일
심사청구일자 2021년08월04일
(65) 공개번호 10-2023-0020757
(43) 공개일자 2023년02월13일
(56) 선행기술조사문헌
KR100479846 B1*
JP2003282659 A*
CN112786472 A
KR100315605 B1
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
연세대학교 원주산학협력단
강원도 원주시 흥업면 연세대길 1
(72) 발명자
서지원
강원도 원주시 무실로 455 무실우미린 110-2004
(74) 대리인
김용훈

전체 청구항 수 : 총 8 항

심사관 : 김동원

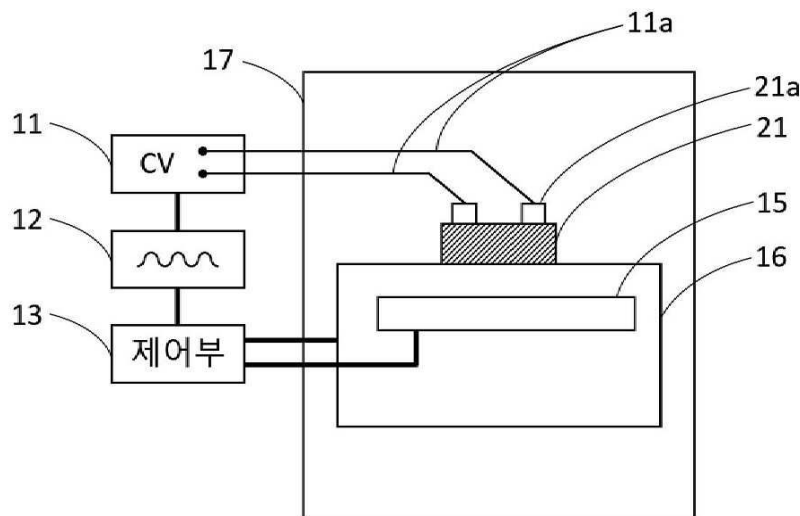
(54) 발명의 명칭 시간에 따른 정전용량에 대한 함수를 생성하는 깊은 준위 천이 분광기 및 이를 이용한 저노이즈 정전용량 측정 방법

(57) 요약

본 발명의 실시예에 따른 깊은 준위 천이 분광기(Deep Level Transient Spectroscopy, DLTS)는 시료의 정전용량을 측정하기 위하여 시료에 인가할 직류 및 교류 전압을 포함하는 바이어스를 생성하는 펄스제네레이터, 시료를 지지하며, 시료의 온도를 극저온으로 냉각시키는 냉각부, 시료의 온도별 정전용량 변화를 측정하기 위해 시료의

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



온도를 증가시키는 승온부, 시료의 안정적인 온도 유지를 위해 시료 및 승온부를 둘러싸고 진공펌프에 의해 저진공을 유지하는 진공챔버, 펄스제네레이터의 바이어스 생성을 제어하고, 시료의 정전용량 측정 중 시료의 온도가 일정하게 유지되도록 냉각부 및 승온부를 제어하는 제어부, 및 펄스제네레이터로부터 생성된 바이어스를 시료에 인가하고, 시간에 따라 변화하는 시료의 정전용량을 측정하는 정전용량측정부를 포함하고, 제어부는 정전용량측정부로부터 측정된 시간 및 정전용량에 대한 값으로부터 함수를 생성함으로써, 측정된 데이터의 활용도를 강화하고 정확도를 향상시킬 수 있도록 한다.

(52) CPC특허분류

G01N 1/44 (2013.01)

G01N 27/228 (2013.01)

G01R 31/2831 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

깊은 준위 천이 분광기(Deep Level Transient Spectroscopy, DLTS)에 있어서,

시료의 정전용량을 측정하기 위하여 상기 시료에 인가할 직류 및 교류 전압을 포함하는 바이어스를 생성하는 펄스제네레이터;

상기 시료를 지지하며, 상기 시료의 온도를 극저온으로 냉각시키는 냉각부;

상기 시료의 온도별 정전용량 변화를 측정하기 위해 상기 시료의 온도를 증가시키는 승온부;

상기 시료의 안정적인 온도 유지를 위해 상기 시료 및 상기 승온부를 둘러싸고 진공펌프에 의해 저진공을 유지하는 진공챔버;

상기 펄스제네레이터의 바이어스 생성을 제어하고, 상기 시료의 정전용량 측정 중 상기 시료의 온도가 일정하게 유지되도록 상기 냉각부 및 상기 승온부를 제어하는 제어부; 및

상기 펄스제네레이터로부터 생성된 바이어스를 상기 시료에 인가하고, 시간에 따라 변화하는 상기 시료의 정전용량을 측정하는 정전용량측정부;를 포함하고,

상기 제어부는 상기 정전용량측정부로부터 측정된 상기 시간 및 상기 정전용량에 대한 값으로부터 함수를 생성하고,

상기 함수는 상기 시간(t) 및 상기 정전용량(C₃)에 대해 하기의 [수학식 3]으로 생성되는 것을 특징으로 하는 깊은 준위 천이 분광기.

[수학식 3]

$$C_3(t) = a_3 + b_3t + c_3t^2 + d_3t^3 + m_3 \cdot \exp(-n_3 \cdot t)$$

(a₃, b₃, c₃, d₃, m₃ 및 n₃는 0 또는 0이 아닌 실수 계수)

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 정전용량측정부로부터 측정한 상기 시간(t) 및 상기 정전용량(C₃)을 각각 순서쌍으로 하는 복수의 데이터세트 중 미리 설정된 갯수의 상기 데이터세트들에 대해 상기 함수와의 오차가 최소가 되도록 상기 실수 계수들이 결정되는 것을 특징으로 하는 깊은 준위 천이 분광기.

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 바이어스에 포함된 교류 전압의 크기는 1mV 내지 0.1V인 것을 특징으로 하는 깊은 준위 천이 분광기.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 펄스제네레이터는 특정 온도에서 제1주기에 상기 시료에 인가되는 제1바이어스를 생성하고, 제1주기와 상이한 제2주기에 제1바이어스와 상이한 제2바이어스를 생성하며,

상기 정전용량측정부는 제1바이어스에 따른 제1정전용량 및 제2바이어스에 따른 제2정전용량을 측정하는 것을 특징으로 하는 깊은 준위 천이 분광기.

청구항 10

삭제

청구항 11

깊은 준위 천이 분광기를 이용한 반도체 시료의 정전용량 측정 방법에 있어서,

진공챔버 내에서 냉각부에 상기 시료를 장착하여 극저온으로 냉각시키는 단계(S1);

펄스제네레이터를 통해 상기 시료에 인가할 바이어스를 생성하는 단계(S2);

상기 생성된 바이어스를 정전용량측정부를 통해 상기 시료에 인가하는 단계(S3);

시간에 따라 변화하는 상기 시료에 대한 정전용량을 측정하는 단계(S4);

상기 측정된 정전용량 및 이에 대응되는 시간에 대한 데이터를 이용하여 함수를 생성하는 단계(S5); 및

승온부를 이용하여 상기 시료의 온도를 증가시키는 단계(S6);를 포함하고,

상기 S2 단계 내지 S6단계를 복수회 반복하고,

상기 함수는 상기 시간(t) 및 상기 정전용량(C_6)에 대해 하기의 [수학식 6]으로 생성되는 것을 특징으로 하는 깊은 준위 천이 분광기를 이용한 정전용량 측정 방법.

[수학식 6]

$$C_6(t) = a_6 + b_6 t + c_6 t^2 + d_6 t^3 + m_6 \cdot \exp(-n_6 \cdot t)$$

(a_6 , b_6 , c_6 , d_6 , m_6 및 n_6 는 0 또는 0이 아닌 실수 계수)

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

제11항에 있어서,

상기 정전용량측정부로부터 측정한 상기 시간(t) 및 상기 정전용량(C_6)을 각각 순서쌍으로 하는 복수의 데이터세트 중 미리 설정된 갯수의 상기 데이터세트들에 대해 상기 함수와의 오차가 최소가 되도록 상기 실수 계수들이 결정되는 것을 특징으로 하는 깊은 준위 천이 분광기를 이용한 정전용량 측정 방법.

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

제11항에 있어서,

상기 바이어스는 1mV 내지 0.1V 크기의 직류 및 교류 전압을 포함하는 것을 특징으로 하는 깊은 준위 천이 분광기를 이용한 정전용량 측정 방법.

청구항 20

제11항에 있어서,

상기 S2 단계에서 상기 펄스제네레이터는 특정 온도에서 제1주기에 상기 시료에 인가되는 제1바이어스를 생성하고, 제1주기와 상이한 제2주기에 제1바이어스와 상이한 제2바이어스를 생성하며,

상기 S4 단계에서 상기 정전용량측정부는 제1바이어스에 따른 제1정전용량 및 제2바이어스에 따른 제2정전용량을 측정하는 것을 특징으로 하는 깊은 준위 천이 분광기를 이용한 정전용량 측정 방법.

청구항 21

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 반도체 소자의 깊은 준위결함(deep level defect)에 관련된 특성을 탐지하기 위한 깊은 준위 천이 분광기(deep level transient spectroscopy, DLTS)에 관한 것이다.

배경 기술

- [0003] 메모리소자, 논리소자, 발광소자 및 태양전지와 같은 반도체 소자를 구성하는 전자소재는 형성 과정에서 표면 및 내부에 수많은 결함(defect)을 갖게 된다. 결함의 형태는 공공(vacancy), 침입형 결함(interstitial defect) 및 도펀트(dopant)에 의한 결함과 같은 점결함이나 전위(dislocation)에 의한 선결함 등 다양하다. 이러한 결함들은 반도체 소자의 밴드갭 내에 깊은 준위(deep level)를 형성하며, 누설전류의 원인이 되는 낮은 준위(shallow level)와 달리 열에너지의 영향을 받지 않는다. 깊은 준위는 전자 또는 정공에 대해 트랩(trap)으로 작용하여 태양전지에 있어 에너지 변환 효율을 감소시키는 등 반도체 소자의 전기적 특성에 큰 영향을 미친다.
- [0004] 깊은 준위와 관련된 정보를 얻기 위해 photoluminescence & fluorescence 측정기, electron spin resonance 측정기 또는 깊은 준위 천이 분광기를 사용할 수 있지만, 소자 상태에서 측정이 가능하고 산화물소자, 메모리소자, 태양전지, 퀀텀닷 등 다양한 형태에 대해 측정이 가능한 깊은 준위 천이 분광기가 효과적이다. 깊은 준위 천이 분광기는 트랩에 구속된 전하의 온도에 따른 열적 방출을 관측하는 방법으로, 깊은 준위의 에너지를 결정하는 측정 장비이다. 트랩에 구속된 전하의 방출은 시간에 따른 시료의 정전용량의 변화를 통해 구할 수 있고, 시간 상수의 열에너지 의존성으로부터 깊은 준위의 에너지 분포를 알 수 있다.
- [0005] 깊은 준위를 측정하기 위해서는 우선 시료를 깊은 준위 천이 분광기의 극저온 진공 챔버 내에 장착하고, 시료의 전극 패드와 정전용량측정부를 연결시킨다. 이후 시료의 온도를 액체 헬륨 또는 액체 질소를 이용하여 극저온으로 하강시키고, 단계별로 승온시키면서 시간 변화에 따른 정전용량의 변화를 측정한다. 이 경우, 시간 및 정전용량을 각각 순서쌍(정의역 및 치역)으로 하는 매우 많은 수의 데이터를 획득할 수 있다. 이러한 데이터에는 여러 오차에 의한 에러값이 포함되어 있으며, 깊은 준위에 대한 정확한 물리량 계산을 위해 수작업으로 에러값들을 제거해야 하는 불편함이 있다. 또한 에러값들을 제거한 후에도 수많은 데이터들은 개별적인 세트로 존재하게 되며, 다른 물리량들을 계산하기 위해서는 각각의 개별적인 값들을 이용해 역시 개별적인 결과값을 구하거나, 수작업으로 보간법 등을 이용하여 대략적인 함수 관계를 이용한 결과값을 구할 수 있었다. 따라서, 데이터 처리에 따른 시간 소모나 부정확한 결과에 대한 문제가 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 본 발명의 실시예는 각 온도별 시간에 따른 정전용량의 변화에 대해 시간 및 정전용량의 함수식을 제공함으로써 측정 시간을 최소화하고 측정 정확도를 대폭 향상시킨 깊은 준위 천이 분광기를 제공한다.
- [0009] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제(들)로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제(들)는 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0011] 본 발명의 실시예에 따른 깊은 준위 천이 분광기는 시료의 정전용량을 측정하기 위하여 상기 시료에 인가할 직류 및 교류 전압을 포함하는 바이어스를 생성하는 펄스제네레이터; 상기 시료를 지지하며, 상기 시료의 온도를 극저온으로 냉각시키는 냉각부; 상기 시료의 온도별 정전용량 변화를 측정하기 위해 상기 시료의 온도를 증가시키는 승온부; 상기 시료의 안정적인 온도 유지를 위해 상기 시료 및 상기 승온부를 둘러싸고 진공펌프에 의해 저진공을 유지하는 진공챔버; 상기 펄스제네레이터의 바이어스 생성을 제어하고, 상기 시료의 정전용량 측정 중 상기 시료의 온도가 일정하게 유지되도록 상기 냉각부 및 상기 승온부를 제어하는 제어부; 및 상기 펄스제네레이터로부터 생성된 바이어스를 상기 시료에 인가하고, 시간에 따라 변화하는 상기 시료의 정전용량을 측정하는 정전용량측정부;를 포함하고, 상기 제어부는 상기 정전용량측정부로부터 측정된 상기 시간 및 상기 정전용량에 대한 값으로부터 함수를 생성할 수 있다.
- [0012] 본 발명의 실시예에 따른 깊은 준위 천이 분광기에서 상기 함수는 상기 시간(t) 및 상기 정전용량(C₁)에 대해
- $$C_1(t) = a_1 + b_1t + c_1t^2 + d_1t^3$$
- , (a₁, b₁, c₁ 및 d₁은 실수)일 수 있다.
- [0013] 본 발명의 실시예에 따른 깊은 준위 천이 분광기에서 상기 함수는 상기 시간(t) 및 상기 정전용량(C₂)에 대해
- $$C_2(t) = l_2 + m_2 \cdot \exp(-n_2 \cdot t)$$
- , (l₂, m₂ 및 n₂는 실수)일 수 있다.
- [0014] 본 발명의 실시예에 따른 깊은 준위 천이 분광기에서 상기 함수는 상기 시간(t) 및 상기 정전용량(C₃)에 대해

$$C_3(t) = a_3 + b_3t + c_3t^2 + d_3t^3 + m_3 \cdot \exp(-n_3 \cdot t)$$

, (a_3 , b_3 , c_3 , d_3 , m_3 및 n_3 는 실수)일 수 있다.

[0015] 본 발명의 실시예에 따른 깊은 준위 천이 분광기에서 상기 정전용량측정부로부터 측정된 상기 시간(t) 및 상기 정전용량(C_1 , C_2 또는 C_3)을 순서쌍으로 하는 복수의 데이터세트 중 미리 설정된 갯수의 상기 데이터세트들에 대해 상기 함수와의 오차가 최소가 되도록 상기 실수 계수들이 결정될 수 있다.

[0016] 본 발명의 실시예에 따른 깊은 준위 천이 분광기에서 상기 진공챔버 내의 압력은 10^{-4} 내지 10^{-7} Torr일 수 있다.

[0017] 본 발명의 실시예에 따른 깊은 준위 천이 분광기에서 상기 제어부는 상기 시료의 온도가 1K 내지 500K범위에서 변화 및 유지되도록 상기 냉각부 및 상기 승온부를 제어할 수 있다.

[0018] 본 발명의 실시예에 따른 깊은 준위 천이 분광기에서 상기 바이어스는 1mV 내지 0.1V 크기의 직류 및 교류 전압을 포함할 수 있다.

[0019] 본 발명의 실시예에 따른 깊은 준위 천이 분광기에서 상기 펄스제네레이터는 특정 온도에서 제1주기에 상기 시료에 인가되는 제1바이어스를 생성하고, 제1주기와 상이한 제2주기에 제1바이어스와 상이한 제2바이어스를 생성하며, 상기 정전용량측정부는 제1바이어스에 따른 제1정전용량 및 제2바이어스에 따른 제2정전용량을 측정할 수 있다.

[0020] 본 발명의 실시예에 따른 깊은 준위 천이 분광기에서 상기 제어부는 상기 제1정전용량에 대한 제1함수 및 상기 제2정전용량에 대한 제2함수를 생성할 수 있다.

[0021] 본 발명의 다른 실시예에 따른 깊은 준위 천이 분광기를 이용한 반도체 시료의 정전용량 측정 방법은 진공챔버 내에서 냉각부에 상기 시료를 장착하여 극저온으로 냉각시키는 단계(S1); 펄스제네레이터를 통해 상기 시료에 인가할 바이어스를 생성하는 단계(S2); 상기 생성된 바이어스를 정전용량측정부를 통해 상기 시료에 인가하는 단계(S3); 시간에 따라 변화하는 상기 시료에 대한 정전용량을 측정하는 단계(S4); 상기 측정된 정전용량 및 이에 대응되는 시간에 대한 데이터를 이용하여 함수를 생성하는 단계(S5); 및 승온부를 이용하여 상기 시료의 온도를 증가시키는 단계(S6);를 포함하고, 상기 S2 단계 내지 S6단계를 복수회 반복할 수 있다.

[0022] 본 발명의 실시예에 따른 정전용량 측정 방법에서 상기 함수는 상기 시간(t) 및 상기 정전용량(C_4)에 대해

$$C_4(t) = a_4 + b_4t + c_4t^2 + d_4t^3$$

, (a_4 , b_4 , c_4 및 d_4 는 실수)일 수 있다.

[0023] 본 발명의 실시예에 따른 정전용량 측정 방법에서 상기 함수는 상기 시간(t) 및 상기 정전용량(C_5)에 대해

$$C_5(t) = I_5 + m_5 \cdot \exp(-n_5 \cdot t)$$

, (I_5 , m_5 및 n_5 는 실수)일 수 있다.

[0024] 본 발명의 실시예에 따른 정전용량 측정 방법에서 상기 함수는 상기 시간(t) 및 상기 정전용량(C_6)에 대해

$$C_6(t) = a_6 + b_6t + c_6t^2 + d_6t^3 + m_6 \cdot \exp(-n_6 \cdot t)$$

, (a_6 , b_6 , c_6 , d_6 , m_6 및 n_6 는 실수)일 수 있다.

[0025] 본 발명의 실시예에 따른 정전용량 측정 방법에서 상기 정전용량측정부로부터 측정된 상기 시간(t) 및 상기 정전용량(C_4 , C_5 또는 C_6)을 각각 순서쌍으로 하는 복수의 데이터세트 중 미리 설정된 갯수의 상기 데이터세트들에 대해 상기 함수와의 오차가 최소가 되도록 상기 실수 계수들이 결정될 수 있다.

[0026] 본 발명의 실시예에 따른 정전용량 측정 방법에서 상기 S1 단계에서 상기 시료의 온도를 1K으로 냉각할 수 있다.

[0027] 본 발명의 실시예에 따른 정전용량 측정 방법에서 상기 S2 단계 내지 S6단계는 시료의 온도가 500K이 될때까지 반복할 수 있다.

[0028] 본 발명의 실시예에 따른 정전용량 측정 방법에서 상기 진공챔버 내의 압력은 10^{-4} 내지 10^{-7} Torr일 수 있다.

[0029] 본 발명의 실시예에 따른 정전용량 측정 방법에서 상기 바이어스는 1mV 내지 0.1V 크기의 직류 및 교류 전압을 포함할 수 있다.

[0030] 본 발명의 실시예에 따른 정전용량 측정 방법에서 상기 S2 단계에서 상기 펄스제네레이터는 특정 온도에서 제1 주기에 상기 시료에 인가되는 제1바이어스를 생성하고, 제1주기와 상이한 제2주기에 제1바이어스와 상이한 제2 바이어스를 생성하며, 상기 S4 단계에서 상기 정전용량측정부는 제1바이어스에 따른 제1정전용량 및 제2바이어스에 따른 제2정전용량을 측정할 수 있다.

[0031] 본 발명의 실시예에 따른 정전용량 측정 방법에서 상기 S5 단계에서 상기 제어부는 상기 제1정전용량에 대한 제1함수 및 상기 제2정전용량에 대한 제2함수를 생성할 수 있다.

발명의 효과

[0033] 본 발명의 실시예에 따르면, 깊은 준위 천이 분광기는 각 온도별 시간에 따른 정전용량의 변화를 함수식으로 곧 바로 제공함으로써, 오차에 따른 에러율을 최소화하고 다른 물리량 계산 또한 함수 형태로 제공함으로써 직접 측정하지 않은 데이터를 확보할 수 있으며, 깊은 준위에 대한 정확한 정보를 획득할 수 있도록 한다.

도면의 간단한 설명

[0035] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 깊은 준위 천이 분광기를 개략적으로 도시한 도면이다.

도 2 은 깊은 준위 천이 분광기를 이용하여 각 온도에 대한 정전용량을 시간에 대하여 측정한 일예를 도시한 도면이다.

도 3은 깊은 준위 천이 분광기를 이용하여 얻은 각 온도에 얻은 정전용량을 임의의 시간에 대한 각각의 정전용량 차이를 온도에 따라 나타낸 일예를 도시한 도면이다.

도 4는 깊은 준위 천이 분광기를 이용하여 극저온(50K)에서 시간에 대한 정전용량을 정한 일예를 도시한 도면이다.

도 5는 깊은 준위 천이 분광기를 이용하여 10K 부터 300K 까지 10K 간격의 온도에서 얻은 정전용량을 임의의 시간 t_1 과 t_2 에 대한 각각의 정전용량 차이를 온도에 따라 나타낸 일예를 도시한 도면이다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 깊은 준위 천이 분광기를 이용하여 시료의 정전용량을 측정하는 방법의 각 단계를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0036] 본 발명의 이점 및/또는 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성요소를 지칭한다.

[0038] 이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 상세히 설명하기로 한다.

[0039] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 깊은 준위 천이 분광기를 개략적으로 도시한 도면이다.

[0040] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 깊은 준위 천이 분광기는 시료(21)에 인가할 바이어스를 생성하는 펄스제네레이터(12), 시료(21)에 바이어스를 인가하고 정전용량을 측정하는 정전용량측정부(11), 시료(21)의 온도를 낮추고 높이는 냉각부(16) 및 승온부(15)와 이들을 제어하는 제어부(13) 및 시료(21) 주위를 저진공으로 유지하기 위한 진공챔버(17)를 포함할 수 있다.

[0041] 본 발명의 실시예에 따른 깊은 준위 천이 분광기를 이용한 측정 대상은 실리콘 반도체, III-V족 화합물 반도체, 메탈 할라이드 반도체, 폴리머 반도체 등 메모리, VLSI, 발광소자, 센서 또는 태양전지 등 모든 전자소자에 사용될 벌크, 박막 또는 패키징된 형태의 다양한 시료가 될 수 있다. 시료는 p-n접합 또는 금속-반도체 접합의 쇼트키 다이오드(Schottky diode) 형태로 제작될 수 있고, 측정의 편의를 위해 반도체 시료의 측면 양단에 전극 패드를 접합한 형태나, 도 1에 도시된 바와 같이 반도체 시료(21)의 상부 양단에 전극 패드(21a)를 각각 접합한 형태로 제작되어 측정에 사용될 수 있다.

[0042] 전극 패드(21a)로 접합되어 준비된 시료(21)는 냉각부(16)를 지지대로 하여 장착된다. 냉각부(16)와 면을 접촉하여 지지될 수 있다면 시료(21)는 냉각부(16)의 상단은 물론 측단에도 장착될 수 있다. 시료(21)가 냉각부(1

6)와 면을 접촉함으로써, 냉각부(16)에 의해 시료(21)를 극저온으로 냉각시킬 수 있다. 극저온은 절대온도 1K 이상을 의미한다.

[0043] 냉각부(16)에 의해 최저 온도로 냉각된 시료(21)는 온도를 단계적으로 상승시키면서 각 온도별 직류 전압의 크기, 교류 전압의 크기나 주파수의 변화에 따른 정전용량 변화를 측정하게 된다. 또한, 상온 또는 승온부(15)를 이용하여 고온으로 승온시킨 온도로부터 극저온으로 냉각을 시키면서 각 온도별 직류 전압의 크기, 교류 전압의 크기나 주파수의 변화에 따른 정전용량 변화를 측정할 수도 있다. 온도를 단계적으로 상승시키거나 하강시키는 방법은 냉각부(16)의 동작 정도를 조절함으로써 가능할 수 있고, 별도로 마련된 승온부(15)를 동작시킴으로써 가능할 수도 있다. 또한, 냉각부(16)의 동작 정도 조절과 함께 동시에 승온부(15) 동작 정도를 조절함으로써 시료(21)의 온도 조절이 가능할 수도 있다. 승온부(15)는 히팅코일을 포함하여 외부로부터 전력 공급을 통해 발열이 가능하도록 마련될 수 있다. 승온부(15)는 시료(21)의 승온이 가능하다면 냉각부(16)의 내부는 물론 냉각부(16) 외부에 별도로 마련될 수 있다. 승온부(15)는 시료(21)를 절대온도 500K까지 승온시킬 수 있다.

[0044] 시료(21)를 극저온으로 냉각시키고 일정 시간 동안 특정 온도를 유지해야 하므로 시료(21) 주위를 저진공으로 유지할 필요가 있다. 진공챔버(17)는 시료(21) 및 승온부(15)를 둘러싸고 진공펌프(18)에 의해 저진공을 유지함으로써 시료(21)를 극저온으로 용이하게 하강시킬 수 있으며 특정 온도에서 안정적인 온도 유지를 가능하게 한다. 진공챔버(17) 내부의 저진공은 10^{-4} 내지 10^{-7} Torr일 수 있다.

[0045] 펄스제네레이터(12)는 시료(21)의 정전용량 측정을 위해 인가될 직류 및 교류 전압을 포함하는 바이어스 또는 신호를 생성한다. 교류 전압 성분은 역방향-순방향 또는 제1역방향-제2역방향 등 구형파 신호가 될 수 있고, 시료(21)의 정전용량 측정의 정확성을 위해서라면 이에 한정되지 않고 삼각파 등 다양화될 수 있다. 바이어스에 포함된 교류 전압의 크기는 1mV 내지 0.1V일 수 있다.

[0046] 정전용량측정부(11)는 펄스제네레이터(12)로부터 생성된 바이어스를 탐침(11a)을 통해 시료(21)에 인가하고, 시간에 따라 변화하는 정전용량을 측정한다. 장비 운용 특성 상 극저온으로 하강 및 승온에 따른 비용이나 시간의 부담이 크기 때문에, 이러한 부담을 줄이면서 측정의 정확성을 위해 인가할 바이어스를 복수로 적용할 수도 있다. 구체적으로, 펄스제네레이터(12)는 특정 온도에서 제1주기에 시료(21)에 인가되는 제1바이어스를 생성하고, 제1주기와 상이한 제2주기에 제1바이어스와 상이한 제2바이어스를 생성하며, 정전용량측정부(11)는 제1바이어스에 따른 제1정전용량 및 제2바이어스에 따른 제2정전용량을 순차적으로 측정할 수도 있다. 즉, 단계별 온도 상승 중 특정 온도에서 상이한 복수의 바이어스에 따른 정전용량을 측정함으로써 각 데이터를 비교하여 측정의 정확성을 기할 수 있다.

[0047] 정전용량측정부(11)로부터 측정된 데이터는 시간(t)에 대한 정전용량(capacitance) 값이다. 측정 데이터는 일정 시간 간격을 두고 측정되는 정전용량 값으로서, 시간 간격을 짧게 할수록 획득되는 데이터 용량은 증가함이 자명하다.

[0048] 제어부(13)는 시료(21)의 온도가 1K 내지 500K범위에서 변화 및 유지되도록 냉각부(16) 및 승온부(15)를 제어한다. 또한 제어부(13)는 펄스제네레이터(12)의 바이어스 생성 및 정전용량측정부(11)의 일정 시간 동안 바이어스 인가에 따른 정전용량 측정을 제어할 수 있다. 제어부(13)는 정전용량측정부(11)로부터 측정된 시간 및 정전용량에 대한 값으로부터 함수를 생성할 수 있다. 즉, 정전용량측정부(11)로부터 측정된 데이터는 이산된(discrete) 형태이며, 이를 연속적인 데이터 즉 연속함수로 피팅(fitting)을 함으로써 측정된 데이터의 활용도를 대폭 강화시킬 수 있다.

[0050] 도 2는 깊은 준위 천이 분광기를 이용하여 각 온도에 대한 정전용량을 시간에 대하여 측정한 일예를 도시한 도면이다.

[0051] 도 3은 깊은 준위 천이 분광기를 이용하여 얻은 각 온도에 얻은 정전용량을 임의의 시간 t_1 과 t_2 에 대한 각각의 정전용량 차이를 온도에 따라 나타낸 일예를 도시한 도면이다.

[0052] 도 2를 참조하면, 시료의 내부 결함(defect)에 의한 깊은 준위의 위치를 측정하기 위해, 특정 온도에서 정전용량을 시간에 따라 측정한다. 이후 온도를 변화시키면서 동일하게 정전용량을 시간에 따라 측정한다. 온도 변화는 고온에서 저온으로 냉각시키면서 진행하거나 극저온으로 냉각 후 승온을 시키면서 진행할 수도 있다. 이후, 특정 시간(t_1 , t_2)에서의 정전용량의 차이를 구하여 도 3과 같이 온도별로 도시한다. 도 3에서 피크(δC_{max})의 위치를 이용하여 준위의 위치를 측정할 수 있다.

[0053] 도 2 및 도 3에 따른 작업을 수작업으로 진행하는 경우 개별적인 데이터세트(시간 및 정전용량에 대한 순서쌍)

를 이용하여 비교, 분석 및 유추를 하여 상관 관계를 유도할 수밖에 없다. 또한, 장비 설정 및 주변 환경에 따른 에러값이 발생하는 경우, 이를 보정 또는 제거를 위한 추가 측정을 반복적으로 해야되며, 이러한 과정들로부터 최종적으로 측정된 결과값의 정확성이 저하될 뿐만 아니라 시간 및 비용 소요에 따른 부담이 가중된다.

[0054] 본 발명의 실시예에 따르면, 측정된 시간 및 정전용량에 대한 값으로부터 함수를 생성하여 제공될 수 있다. 도 2 및 도 3에 따른 결과값들을 다항식 또는 지수함수 형태로 피팅할 수 있다. 측정된 값들을 이용하여 다항식 또는 지수함수에 포함된 계수들을 결정함으로써 최종 함수를 구할 수 있다. 측정된 데이터셋을 모두 대입하여 함수를 결정할 수도 있지만, 방대한 입력값으로 인해 처리에 장시간이 소요될 수 있기 때문에 미리 설정된 갯수 만큼 일부 데이터셋만을 입력값으로 하여 함수를 결정할 수도 있다. 미리 설정된 갯수의 데이터셋을 이용하여 함수를 구하는 과정에서, 이들 데이터셋의 값들을 모두 만족하는 함수를 구할 수도 있지만, 임시로 함수를 피팅한 후 해당 데이터셋과의 거리를 합산한 오차가 최소가 되도록 계수를 구하여 최종 함수를 구할 수도 있다. 오차가 최소가 되도록 하는 방법은 평균값 또는 분산값이 최소가 되도록 할 수 있다.

[0055] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 제어부(13)는 시간(t) 및 정전용량(C₁)에 대해 하기의 [수학식 1]으로 함수를 생성할 수 있다.

[0056] [수학식 1]

$$C_1(t) = a_1 + b_1t + c_1t^2 + d_1t^3$$

[0057]

[0058] (a₁, b₁, c₁ 및 d₁은 실수)

[0060] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 제어부(13)는 시간(t) 및 정전용량(C₂)에 대해 하기의 [수학식 2]로 함수를 생성할 수 있다.

[0061] [수학식 2]

$$C_2(t) = l_2 + m_2 * \exp(-n_2 * t)$$

[0062]

[0063] (l₂, m₂ 및 n₂는 실수)

[0065] 본 발명의 또 다른 실시예에 따르면, 제어부(13)는 시간(t) 및 정전용량(C₃)에 대해 하기의 [수학식 3]로 함수를 생성할 수 있다.

[0066] [수학식 3]

$$C_3(t) = a_3 + b_3t + c_3t^2 + d_3t^3 + m_3 * \exp(-n_3 * t)$$

[0067]

[0068] (a₃, b₃, c₃, d₃, m₃ 및 n₃는 실수)

[0069] 상기한 실시예들에 따라 계수값이 결정된 함수를 생성하여 제공함으로써, 에러값 제거를 위한 별도의 작업을 수행할 필요가 없으며, 다른 물리량을 계산함에 있어서도 단일값들에 대한 개별적인 결과값이 아닌 함수 형태의 결과값을 얻을 수 있는 이점이 있다. 또한, 연속 함수 형태의 결과물을 제공하므로, 측정하지 않은 시간에 대한 정전용량 데이터에 대한 유추가 가능하며, 함수 결정의 최적화를 위해 측정 빈도를 감소(측정 시간 간격을 증가)시킬 수 있는 이점이 있다. 본 발명에 따른 이러한 특징은 기존의 깊은 준위 천이 분광기에 탑재된 제어부를 교체하거나 소프트웨어적인 업그레이드를 통해 간단히 적용할 수 있으며, 이로써 깊은 준위에 대한 정보를 보다 정확하게 획득할 수 있다.

[0070] 도 4는 깊은 준위 천이 분광기를 이용하여 실제로 극저온인 50K 온도에 대한 정전용량을 시간에 대하여 측정한 일례를 도시한 도면이다. 도 4에서 측정 데이터는 적색선으로 표시되어 있고, 수학식2를 이용한 피팅함수는 흑색선으로 표현되어 있다. 피팅함수를 이용하면 실제 측정 데이터보다 훨씬 매끄러운 곡선을 얻을 수 있음을 보여준다.

[0071] 도 5는 깊은 준위 천이 분광기를 이용하여 10K 부터 300K 까지 10K 간격의 온도에서 얻은 정전용량을 임의의 시간 t₁과 t₂에 대한 각각의 정전용량 차이를 온도에 따라 나타낸 일례를 도시한 도면이다. 적색선은 실제 측정 테

이터로부터 얻은 그래프이고, 흑색선은 실제 측정 데이터를 도 4의 과정을 통한 피팅함수로부터 얻은 결과를 나타낸 그래프이다. 도 5를 통해 볼 수 있듯이 피팅함수를 이용하면 훨씬 정확하게 최고점 (δC_{\max}) 일 때의 온도를 구할 수 있다.

[0072] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 깊은 준위 천이 분광기를 이용하여 시료의 정전용량을 측정하는 방법의 각 단계를 도시한 도면이다.

[0073] 도 6을 참조하면 본 발명의 실시예에 따른 정전용량 측정 방법은 진공챔버 내에서 냉각부에 시료를 장착하여 극저온으로 냉각시키는 단계(S1), 펄스제네레이터를 통해 시료에 인가할 바이어스를 생성하는 단계(S2), 생성된 바이어스를 정전용량측정부를 통해 시료에 인가하는 단계(S3), 시간에 따라 변화하는 시료에 대한 정전용량을 측정하는 단계(S4), 측정된 정전용량 및 이에 대응되는 시간에 대한 데이터를 이용하여 함수를 생성하는 단계(S5) 및 승온부를 이용하여 시료의 온도를 증가시키는 단계(S6)를 포함할 수 있다. 또한, 온도를 변화시켜 시료의 정전용량을 측정하기 위해 바이어스 생성 단계(S2) 내지 승온 단계(S6)를 복수회 반복할 수 있다. S1 단계에서 시료의 온도를 1K으로 냉각할 수 있다. 또한, S2 단계 내지 S6단계는 시료의 온도가 500K이 될때까지 반복될 수 있다. 상기 진공챔버 내의 압력은 10^{-4} 내지 10^{-7} Torr로 유지될 수 있다. 시료에 인가되는 바이어스는 1mV 내지 0.1V 크기의 직류 및 교류 전압을 포함할 수 있다.

[0074] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 함수 생성 단계(S5)에서 시간(t) 및 정전용량(C_4)에 대해 하기의 [수학식 4]로 함수를 생성할 수 있다.

[0075] [수학식 4]

$$C_4(t) = a_4 + b_4t + c_4t^2 + d_4t^3$$

[0076]

[0077] (a_4 , b_4 , c_4 및 d_4 는 실수)

[0079] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 함수 생성 단계(S5)에서 시간(t) 및 정전용량(C_5)에 대해 하기의 [수학식 5]로 함수를 생성할 수 있다.

[0080] [수학식 5]

$$C_5(t) = I_5 + m_5 \exp(-n_5 t)$$

[0081]

[0082] (I_5 , m_5 및 n_5 는 실수)

[0084] 본 발명의 또 다른 실시예에 따르면, 함수 생성 단계(S5)에서 시간(t) 및 정전용량(C_6)에 대해 하기의 [수학식 6]으로 함수를 생성할 수 있다.

[0085] [수학식 6]

$$C_6(t) = a_6 + b_6t + c_6t^2 + d_6t^3 + m_6 \exp(-n_6 t)$$

[0086]

[0087] (a_6 , b_6 , c_6 , d_6 , m_6 및 n_6 는 실수)

[0089] 상기한, 수학식 4 내지 수학식 6에 따른 실시예에서 각 계수들은 시간(t) 및 정전용량(C_4 , C_5 또는 C_6)을 각각 순서쌍으로 하는 복수의 데이터세트 중 미리 설정된 갯수의 데이터세트들에 대해 함수와의 오차가 최소가 되도록 하여 결정할 수 있다. 상세한 설명은 상기한 내용과 중복되므로 설명의 간결함을 위해 생략하도록 한다.

[0090] 본 발명의 실시예에 따르면, 펄스제네레이터가 바이어스를 생성하는 단계(S2)는 특정 온도에서 제1주기에 시료에 인가되는 제1바이어스를 생성하고, 제1주기와 상이한 제2주기에 제1바이어스와 상이한 제2바이어스를 생성하며, 정전용량측정부에서 정전용량을 측정하는 단계(S4)에서 정전용량측정부는 제1바이어스에 따른 제1정전용량 및 제2바이어스에 따른 제2정전용량을 측정할 수 있다. 이 경우, 함수를 형성하는 단계(S5)에서 제어부는 제1정전용량에 대한 제1함수 및 제2정전용량에 대한 제2함수를 생성하여 제공할 수 있다.

[0092] 지금까지 본 발명에 따른 구체적인 실시예에 설명하였으나, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서는

여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 그러므로, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 안 되며, 후술하는 특허 청구의 범위뿐만 아니라 이 특허 청구의 범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

[0093]

이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 이는 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 따라서, 본 발명 사상은 아래에 기재된 특허청구범위에 의해서만 파악되어야 하고, 이의 균등 또는 등가적 변형 모두는 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

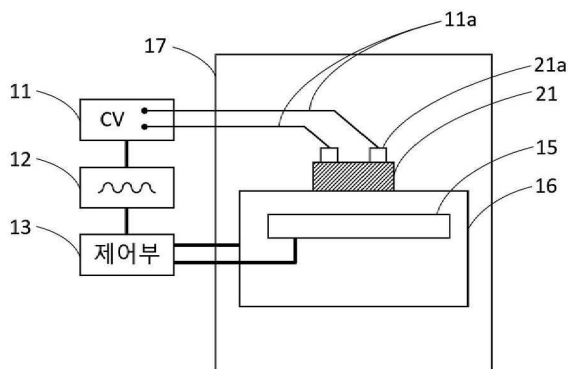
부호의 설명

[0095]

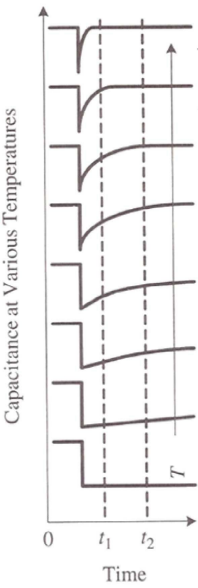
- 11: 정전용량측정부
- 12: 펄스제네레이터
- 13: 제어부
- 15: 승온부
- 16: 냉각부
- 16a: 액화기
- 16b: 열교환기
- 16c: 회수라인
- 17: 진공챔버
- 18: 진공펌프
- 21: 시료
- 21a: 전극 패드

도면

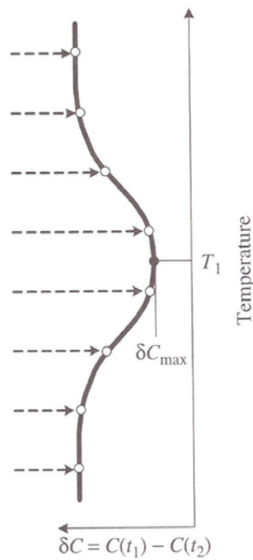
도면1



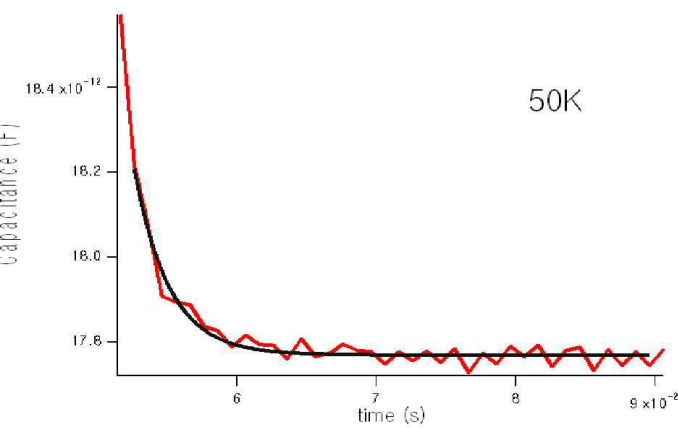
도면2



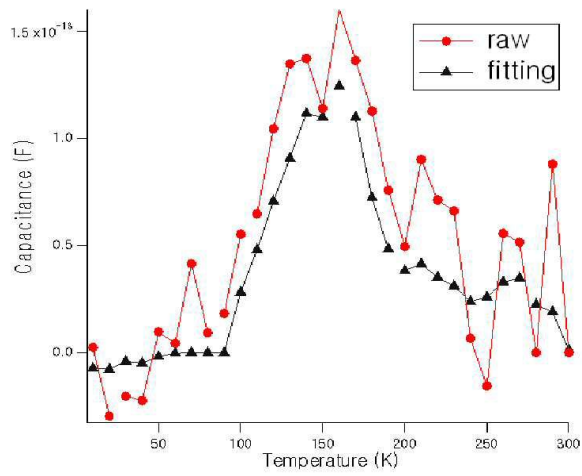
도면3



도면4



도면5



도면6

