



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년10월30일
(11) 등록번호 10-1913446
(24) 등록일자 2018년10월24일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 27/04 (2006.01) G01R 31/26 (2014.01)
G01R 31/28 (2006.01) H01L 21/66 (2006.01)
H01L 23/544 (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2013-7019289
(22) 출원일자(국제) 2011년12월21일
심사청구일자 2016년12월20일
(85) 번역문제출일자 2013년07월19일
(65) 공개번호 10-2013-0132558
(43) 공개일자 2013년12월04일
(86) 국제출원번호 PCT/DK2011/000156
(87) 국제공개번호 WO 2012/083955
국제공개일자 2012년06월28일
(30) 우선권주장
10196137.3 2010년12월21일
유럽특허청(EPO)(EP)
11157330.9 2011년03월08일
유럽특허청(EPO)(EP)
(56) 선행기술조사문헌
EP01271159 A3
KR1020040085146 A
KR1020080059308 A
- (73) 특허권자
카프레스 에이/에스
덴마크 케이지에스. 링비 2800 디플롬베이 373
(72) 발명자
웨이, 페이
덴마크 디케이-2860 세브로그 에스티.티브이. 킬
데바켄 6
피터센, 더크 조르트
덴마크 디케이-2870 디세가드 2번 반게데베 162비
한센, 올레
덴마크 디케이-2970 헤르솔름 스텔스마크스베 20
(74) 대리인
양영준, 백만기

전체 청구항 수 : 총 18 항

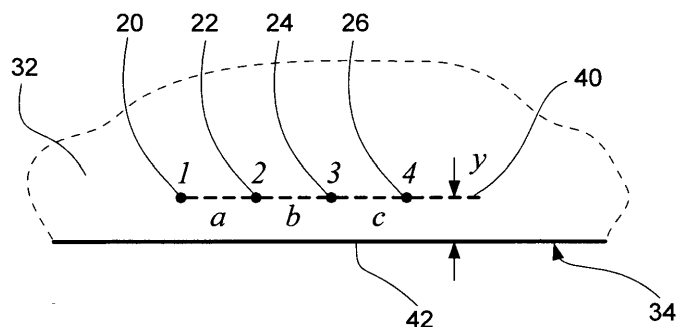
심사관 : 전형태

(54) 발명의 명칭 단일 위치 홀 효과 측정

(57) 요약

테스트 샘플 상의 제1 위치와 그의 전기적 경계(34) 간의 거리(Y)를 네 개의 접촉 요소를 포함하는 멀티 포인트 프로브에 의해 결정하는 방법은 상기 제1 위치에서 상기 테스트 샘플을 상기 네 개의 접촉 요소(20, 22, 24, 26)와 접촉시키는 단계, 상기 제1 위치에서 자기장을 인가하는 단계, 제1 및 제2 4 포인트 측정을 수행하여 제1 및 제2 저항값을 도출하는 단계, 상기 제1 및 제2 저항값과의 제1 저항차를 계산하는 단계, 제3 및 제4 4 포인트 측정을 수행하여 제3 및 제4 저항값을 도출하는 단계, 상기 제3 및 제4 저항값과의 제2 저항차를 계산하는 단계, 상기 제1 저항차, 상기 제2 저항차, 및 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 거리를 나타내는 파라미터를 포함하는 제1 관계식을 정의하는 단계, 및 상기 제1 관계식에서 상기 제1 및 제2 저항차를 이용하여 상기 거리를 결정하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도2a



명세서

청구범위

청구항 1

테스트 샘플(test sample)의 전기적으로 전도성(electrically conducting)인 표면부 상의 제1 위치와 상기 전기적으로 전도성인 표면부의 전기적 경계(electrical boundary) 간의 거리를 제1 접촉 요소(contact element), 제2 접촉 요소, 제3 접촉 요소, 및 제4 접촉 요소를 포함하는 멀티 포인트 프로브(multi-point probe)에 의해 결정하는 방법으로서 - 각 접촉 요소는 상기 테스트 샘플과의 전기적 접촉을 확립하기 위한 접촉점(contact point)을 정의함 - ,

(i.i) 상기 전기적으로 전도성인 표면부 상의 상기 제1 위치에서 상기 테스트 샘플을 상기 제1 접촉 요소, 상기 제2 접촉 요소, 상기 제3 접촉 요소, 및 상기 제4 접촉 요소와 접촉시키는 단계,

(i.ii) 상기 제1 위치에서 상기 전기적으로 전도성인 표면부에 수직인 주 자기장 성분(major field component)을 갖는 자기장(magnetic field)을 인가하는 단계,

(i.iii) 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단에 제1 전위(electrical potential)를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제1 전류를 발생시키는 단계,

(i.iv) 상기 제1 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 제1 전류를 측정하는 단계,

(i.v) 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단의 제1 전압을 측정하는 단계,

(i.vi) 상기 제1 전류 및 상기 제1 전압에 기초하여 제1 저항값(R_{B1})을 계산하는 단계,

(i.vii) 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단에 제2 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제2 전류를 발생시키는 단계,

(i.viii) 상기 제2 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 제2 전류를 측정하는 단계,

(i.ix) 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단의 제2 전압을 측정하는 단계,

(i.x) 상기 제2 전류 및 상기 제2 전압에 기초하여 제2 저항값(R_{B2})을 계산하는 단계,

(i.xi) 상기 제1 저항값과 상기 제2 저항값 간의 차에 기초하여 제1 저항차(ΔR_{BB1})를 계산하는 단계,

(i.xii) 상기 제1 및 제2 접촉 요소 양단에 제3 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제3 전류를 발생시키는 단계,

(i.xiii) 상기 제1 또는 상기 제2 접촉 요소를 통과하는 상기 제3 전류를 측정하는 단계,

(i.xiv) 상기 제3 및 제4 접촉 요소 양단의 제3 전압을 측정하는 단계,

(i.xv) 상기 제3 전류 및 상기 제3 전압에 기초하여 제3 저항값(R_{C1})을 계산하는 단계,

(i.xvi) 상기 제3 및 제4 접촉 요소 양단에 제4 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제4 전류를 발생시키는 단계,

(i.xvii) 상기 제3 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 제4 전류를 측정하는 단계,

(i.xviii) 상기 제1 및 제2 접촉 요소 양단의 제4 전압을 측정하는 단계,

(i.xix) 상기 제4 전류 및 상기 제4 전압에 기초하여 제4 저항값(R_{C2})을 계산하는 단계,

(i.xx) 상기 제3 저항값과 상기 제4 저항값 간의 차에 기초하여 제2 저항차(ΔR_{CC2})를 계산하는 단계,

(i.xxi) 상기 제1 저항차, 상기 제2 저항차, 및 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리를 각각 나타내는 제1, 제2, 및 제3 파라미터를 포함하는 제1 관계식(f)을 정의하는 단계, 및

(i.xxii) 상기 제1 관계식에서 상기 제1 및 제2 저항차($\Delta R_{BB'}$, $\Delta R_{CC'}$)를 각각 상기 제1 및 제2 파라미터로서 이용하여 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리(y)를 나타내는 상기 제3 파라미터를 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 2

테스트 샘플(test sample)의 전기적으로 전도성(electrically conducting)인 표면부 상의 제1 위치와 상기 전기적으로 전도성인 표면부의 전기적 경계(electrical boundary) 간의 거리를 제1 접촉 요소(contact element), 제2 접촉 요소, 제3 접촉 요소, 및 제4 접촉 요소를 포함하는 멀티 포인트 프로브(multi-point probe)에 의해 결정하는 방법으로서 - 각 접촉 요소는 상기 테스트 샘플과의 전기적 접촉을 확립하기 위한 접촉점(contact point)을 정의함 - ,

(i.i) 상기 전기적으로 전도성인 표면부 상의 상기 제1 위치에서 상기 테스트 샘플을 상기 제1 접촉 요소, 상기 제2 접촉 요소, 상기 제3 접촉 요소, 및 상기 제4 접촉 요소와 접촉시키는 단계,

(i.ii) 상기 제1 위치에서 상기 전기적으로 전도성인 표면부에 수직인 주 자기장 성분(field component)을 갖는 자기장(magnetic field)을 인가하는 단계,

(i.iii) 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단에 제1 전위(electrical potential)를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제1 전류를 발생시키는 단계,

(i.iv) 상기 제1 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 제1 전류를 측정하는 단계,

(i.v) 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단의 제1 전압을 측정하는 단계,

(i.vi) 상기 제1 전류 및 상기 제1 전압에 기초하여 제1 저항값(R_B)을 계산하는 단계,

(i.vii) 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단에 제2 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제2 전류를 발생시키는 단계,

(i.viii) 상기 제2 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 제2 전류를 측정하는 단계,

(i.ix) 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단의 제2 전압을 측정하는 단계,

(i.x) 상기 제2 전류 및 상기 제2 전압에 기초하여 제2 저항값($R_{B'}$)을 계산하는 단계,

(i.xi) 상기 제1 저항값과 상기 제2 저항값 간의 차에 기초하여 제1 저항차($\Delta R_{BB'}$)를 계산하는 단계 - 상기 멀티 포인트 프로브는 복수의 접촉 요소를 포함하고, 상기 복수의 접촉 요소는 상기 제1 접촉 요소, 상기 제2 접촉 요소, 상기 제3 접촉 요소, 상기 제4 접촉 요소 및 하나 이상의 추가 접촉 요소를 포함하고, 상기 하나 이상의 추가 접촉 요소 각각은 상기 테스트 샘플과의 전기적 접촉을 확립하기 위한 접촉점을 정의함 - ,

(ii.xii) 상기 복수의 접촉 요소 중 제1 구성의 접촉 요소를 정의하는 단계 - 상기 제1 구성의 접촉 요소는 상기 제1 접촉 요소, 상기 제2 접촉 요소, 상기 제3 접촉 요소, 및 상기 제4 접촉 요소로 구성됨 - ,

(ii.xiii) 상기 복수의 접촉 요소 중 제2 구성의 접촉 요소를 정의하는 단계 - 상기 제2 구성의 접촉 요소는 제5 접촉 요소, 제6 접촉 요소, 제7 접촉 요소, 및 제8 접촉 요소로 구성되고, 상기 제2 구성의 접촉 요소 중 적어도 하나의 접촉 요소는 상기 하나 이상의 추가 접촉 요소의 접촉 요소임 - ,

(ii.xiv) 상기 전기적으로 전도성인 표면부 상의 상기 제1 위치에서 상기 테스트 샘플을 상기 제2 구성의 접촉 요소 중 상기 접촉 요소와 접촉시키는 동시에 상기 테스트 샘플을 상기 제1 구성의 접촉 요소 중 상기 접촉 요소와 접촉시키는 단계,

(ii.xv) 상기 제5 및 제7 접촉 요소 양단에 제3 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제3 전류를 발생시키는 단계,

(ii.xvi) 상기 제5 또는 상기 제7 접촉 요소를 통과하는 상기 제3 전류를 측정하는 단계,

(ii.xvii) 상기 제6 및 제8 접촉 요소 양단의 제3 전압을 측정하는 단계,

(ii.xviii) 상기 제3 전류 및 상기 제3 전압에 기초하여 제3 저항값($R_{B,2}$)을 계산하는 단계,

- (ii.xix) 상기 제6 및 제8 접촉 요소 양단에 제4 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제4 전류를 발생시키는 단계,
- (ii.xx) 상기 제6 또는 상기 제8 접촉 요소를 통과하는 상기 제4 전류를 측정하는 단계,
- (ii.xxi) 상기 제5 및 제7 접촉 요소 양단의 제4 전압을 측정하는 단계,
- (ii.xxii) 상기 제4 전류 및 상기 제4 전압에 기초하여 제4 저항값($R_{B',2}$)을 계산하는 단계,
- (ii.xxiii) 상기 제3 저항값과 상기 제4 저항값 간의 차에 기초하여 제2 저항차($\Delta R_{BB',2}$)를 계산하는 단계,
- (i.xxi) 상기 제1 저항차, 상기 제2 저항차, 및 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리를 각각 나타내는 제1, 제2, 및 제3 파라미터를 포함하는 제1 관계식(f)을 정의하는 단계, 및
- (i.xxii) 상기 제1 관계식에서 상기 제1 및 제2 저항차($\Delta R_{BB'}$, $\Delta R_{BB',2}$)를 각각 상기 제1 및 제2 파라미터로서 이용하여 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리(y)를 나타내는 상기 제3 파라미터를 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

- (iii.xxiv) 상기 제1 저항값(R_B) 및 상기 제2 저항값($R_{B'}$)의 제1 저항 평균($\overline{R_{BB',1}}$)을 계산하는 단계,
- (iii.xxv) 상기 제3 저항값($R_{B,2}$) 및 상기 제4 저항값($R_{B',2}$)의 제2 저항 평균($\overline{R_{BB',2}}$)을 계산하는 단계,
- (iii.xxvi) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단에 제5 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제5 전류를 발생시키는 단계,
- (iii.xxvii) 상기 제1 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 제5 전류를 측정하는 단계,
- (iii.xxviii) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단의 제5 전압을 측정하는 단계,
- (iii.xxix) 상기 제5 전류 및 상기 제5 전압에 기초하여 제5 저항값($R_{A,1}$)을 계산하는 단계,
- (iii.xxx) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단에 제6 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제6 전류를 발생시키는 단계,
- (iii.xxxi) 상기 제2 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 제6 전류를 측정하는 단계,
- (iii.xxxii) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단의 제6 전압을 측정하는 단계,
- (iii.xxxiii) 상기 제6 전류 및 상기 제6 전압에 기초하여 제6 저항값($R_{A',1}$)을 계산하는 단계,
- (iii.xxxiv) 상기 제5 저항값($R_{A,1}$) 및 상기 제6 저항값($R_{A',1}$)의 제3 저항 평균($\overline{R_{AA',1}}$)을 계산하는 단계,
- (iii.xxxv) 상기 제5 및 제8 접촉 요소 양단에 제7 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제7 전류를 발생시키는 단계,
- (iii.xxxvi) 상기 제5 또는 상기 제8 접촉 요소를 통과하는 상기 제7 전류를 측정하는 단계,
- (iii.xxxvii) 상기 제6 및 제7 접촉 요소 양단의 제7 전압을 측정하는 단계,
- (iii.xxxviii) 상기 제7 전류 및 상기 제7 전압에 기초하여 제7 저항값($R_{A,2}$)을 계산하는 단계,
- (iii.xxxix) 상기 제6 및 제7 접촉 요소 양단에 제8 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제8 전류를 발생시키는 단계,
- (iii.xl) 상기 제6 또는 상기 제7 접촉 요소를 통과하는 상기 제8 전류를 측정하는 단계,

(iii.xli) 상기 제5 및 제8 접촉 요소 양단의 제8 전압을 측정하는 단계,

(iii.xlii) 상기 제8 전류 및 상기 제8 전압에 기초하여 제8 저항값($R_{A',2}$)을 계산하는 단계,

(iii.xliii) 상기 제7 저항값($R_{A,2}$) 및 상기 제8 저항값($R_{A',2}$)의 제4 저항 평균($\overline{R_{AA',2}}$)을 계산하는 단계,

(iii.xliv) 상기 제1 저항 평균($\overline{R_{BB',1}}$), 상기 제3 저항 평균($\overline{R_{AA',1}}$), 및 제1 의사 시트(pseudo sheet) 저항($R_{p,1}$)을 각각 나타내는 제4, 제5, 및 제6 파라미터를 포함하는 제2 관계식을 정의하는 단계,

(iii.xlv) 상기 제2 관계식에서 상기 제1 저항 평균($\overline{R_{BB',1}}$) 및 상기 제3 저항 평균($\overline{R_{AA',1}}$)을 각각 상기 제4 파라미터 및 상기 제5 파라미터로서 이용하여 상기 제1 의사 시트 저항($R_{p,1}$)을 나타내는 상기 제6 파라미터를 결정하는 단계,

(iii.xlvi) 상기 제2 저항 평균($\overline{R_{BB',2}}$), 상기 제4 저항 평균($\overline{R_{AA',2}}$), 및 제2 의사 시트 저항($R_{p,2}$)을 각각 나타내는 제7, 제8, 및 제9 파라미터를 포함하는 제3 관계식을 정의하는 단계,

(iii.xlvii) 상기 제3 관계식에서 상기 제2 저항 평균($\overline{R_{BB',2}}$) 및 상기 제4 저항 평균($\overline{R_{AA',2}}$)을 각각 상기 제7 파라미터 및 상기 제8 파라미터로서 이용하여 상기 제2 의사 시트 저항($R_{p,2}$)을 나타내는 상기 제9 파라미터를 결정하는 단계,

(iii.xlviii) 상기 제1 의사 시트 저항($R_{p,1}$), 상기 제2 의사 시트 저항($R_{p,2}$), 및 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리를 각각 나타내는 제10, 제11, 및 제12 파라미터를 포함하는 제4 관계식(g_D)을 정의하는 단계, 및

(iii.xlix) 상기 제4 관계식(g_D)에서 상기 제1 및 제2 의사 시트 저항($R_{p,1}$, $R_{p,2}$)을 각각 상기 제10 및 제11 파라미터로서 이용하여 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리를 나타내는 상기 제12 파라미터를 결정하는 단계

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 4

제2항에 있어서,

(iii.xxiv) 상기 제1 저항값(R_B) 및 상기 제2 저항값($R_{B'}$)의 제1 저항 평균($\overline{R_{BB',1}}$)을 계산하는 단계,

(iii.xxv) 상기 제3 저항값($R_{B,2}$) 및 상기 제4 저항값($R_{B',2}$)의 제2 저항 평균($\overline{R_{BB',2}}$)을 계산하는 단계,

(iii.xxvi) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단에 제5 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제5 전류를 발생시키는 단계,

(iii.xxvii) 상기 제1 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 제5 전류를 측정하는 단계,

(iii.xxviii) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단의 제5 전압을 측정하는 단계,

(iii.xxix) 상기 제5 전류 및 상기 제5 전압에 기초하여 제5 저항값($R_{A,1}$)을 계산하는 단계,

(iii.xxx) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단에 제6 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제6 전류를 발생시키는 단계,

(iii.xxxi) 상기 제2 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 제6 전류를 측정하는 단계,

(iii.xxxii) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단의 제6 전압을 측정하는 단계,

(iii.xxxiii) 상기 제6 전류 및 상기 제6 전압에 기초하여 제6 저항값($R_{A,1}$)을 계산하는 단계,

(iii.xxxiv) 상기 제5 저항값($R_{A,1}$) 및 상기 제6 저항값($R_{A',1}$)의 제3 저항 평균($\overline{R_{A',1}}$)을 계산하는 단계,

(iii.xxxv) 상기 제5 및 제8 접촉 요소 양단에 제7 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제7 전류를 발생시키는 단계,

(iii.xxxvi) 상기 제5 또는 상기 제8 접촉 요소를 통과하는 상기 제7 전류를 측정하는 단계,

(iii.xxxvii) 상기 제6 및 제7 접촉 요소 양단의 제7 전압을 측정하는 단계,

(iii.xxxviii) 상기 제7 전류 및 상기 제7 전압에 기초하여 제7 저항값($R_{A,2}$)을 계산하는 단계,

(iii.xxxix) 상기 제6 및 제7 접촉 요소 양단에 제8 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제8 전류를 발생시키는 단계,

(iii.xl) 상기 제6 또는 상기 제7 접촉 요소를 통과하는 상기 제8 전류를 측정하는 단계,

(iii.xli) 상기 제5 및 제8 접촉 요소 양단의 제8 전압을 측정하는 단계,

(iii.xlii) 상기 제8 전류 및 상기 제8 전압에 기초하여 제8 저항값($R_{A',2}$)을 계산하는 단계,

(iii.xliii) 상기 제7 저항값($R_{A,2}$) 및 상기 제8 저항값($R_{A',2}$)의 제4 저항 평균($\overline{R_{A',2}}$)을 계산하는 단계,

(iii.xliv) 상기 제1 저항 평균($\overline{R_{BB',1}}$), 상기 제3 저항 평균($\overline{R_{A',1}}$), 및 제1 의사 시트(pseudo sheet) 저항($R_{p,1}$)을 각각 나타내는 제4, 제5, 및 제6 파라미터를 포함하는 제2 관계식을 정의하는 단계,

(iii.xlv) 상기 제2 관계식에서 상기 제1 저항 평균($\overline{R_{BB',1}}$) 및 상기 제3 저항 평균($\overline{R_{A',1}}$)을 각각 상기 제4 파라미터 및 상기 제5 파라미터로서 이용하여 상기 제1 의사 시트 저항($R_{p,1}$)을 나타내는 상기 제6 파라미터를 결정하는 단계,

(iii.xlvi) 상기 제2 저항 평균($\overline{R_{BB',2}}$), 상기 제4 저항 평균($\overline{R_{A',2}}$), 및 제2 의사 시트 저항($R_{p,2}$)을 각각 나타내는 제7, 제8, 및 제9 파라미터를 포함하는 제3 관계식을 정의하는 단계,

(iii.xlvii) 상기 제3 관계식에서 상기 제2 저항 평균($\overline{R_{BB',2}}$) 및 상기 제4 저항 평균($\overline{R_{A',2}}$)을 각각 상기 제7 파라미터 및 상기 제8 파라미터로서 이용하여 상기 제2 의사 시트 저항($R_{p,2}$)을 나타내는 상기 제9 파라미터를 결정하는 단계, 및

(iii.xlviii) 상기 제1 의사 시트 저항($R_{p,1}$), 상기 제2 의사 시트 저항($R_{p,2}$), 및 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리를 각각 나타내는 제10, 제11, 및 제12 파라미터를 포함하는 제4 관계식(g_0)을 정의하는 단계 - 상기 제2 구성의 상기 접촉 요소는 상기 테스트 샘플의 상기 전기적으로 전도성인 표면부 상의 상기 제1 위치와 상기 전기적으로 전도성인 표면부의 상기 전기적 경계 간의 추가 거리(y_2)를 나타내고, 상기 제1 관계식(f_0)은 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 추가 거리를 나타내는 제13 파라미터를 더 포함하고, 상기 제4 관계식(g_0)은 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 추가 거리를 나타내는 제14 파라미터를 더 포함함 -

를 더 포함하고,

상기 방법은,

(iv.xlix) 상기 제4 관계식(g_0)에서 상기 제1 및 제2 의사 시트 저항($R_{p,1}$, $R_{p,2}$)을 각각 상기 제10 및 제11 파라미터로서 이용하여 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리(y) 및 상기 추가 거리(y_2)를 각각 나타내는 상기 제12 파라미터 및 상기 제14 파라미터를 동시에 결정하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 5

테스트 샘플(test sample)의 전기적으로 전도성(electrically conducting)인 표면부 상의 제1 위치와 상기 전기적으로 전도성인 표면부의 전기적 경계(electrical boundary) 간의 거리를 복수의 접촉 요소(contact elements)를 포함하는 멀티 포인트 프로브(multi-point probe)에 의해 결정하는 방법 - 각 접촉 요소는 상기 테스트 샘플과의 전기적 접촉을 확립하기 위한 접촉점(contact point)을 정의하고, 상기 복수의 접촉 요소는 제1 접촉 요소, 제2 접촉 요소, 제3 접촉 요소, 제4 접촉 요소 및 하나 이상의 추가 접촉 요소를 포함함 - 으로서,

(v.i) 상기 복수의 접촉 요소 중 제1 구성의 접촉 요소를 정의하는 단계 - 상기 제1 구성의 접촉 요소는 상기 제1 접촉 요소, 상기 제2 접촉 요소, 상기 제3 접촉 요소, 및 상기 제4 접촉 요소로 구성됨 -,

(v.ii) 상기 복수의 접촉 요소 중 제2 구성의 접촉 요소를 정의하는 단계 - 상기 제2 구성의 접촉 요소는 제5 접촉 요소, 제6 접촉 요소, 제7 접촉 요소, 및 제8 접촉 요소로 구성되고, 상기 제2 구성의 접촉 요소 중 적어도 하나의 접촉 요소는 상기 하나 이상의 추가 접촉 요소의 접촉 요소임 -,

(v.iii-iv) 상기 전기적으로 전도성인 표면부 상의 상기 제1 위치에서 상기 테스트 샘플을 상기 제1 및 제2 구성의 접촉 요소의 상기 접촉 요소와 접촉시키는 단계,

(v.v) 상기 제1 위치에서 상기 전기적으로 전도성인 표면부에 수직인 주 자기장 성분(field component)을 갖는 자기장(magnetic field)을 인가하는 단계,

(v.vi) 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단에 제1 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제1 전류를 발생시키는 단계,

(v.vii) 상기 제1 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 제1 전류를 측정하는 단계,

(v.viii) 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단의 제1 전압을 측정하는 단계,

(v.ix) 상기 제1 전류 및 상기 제1 전압에 기초하여 제1 저항값(R_B)을 계산하는 단계,

(v.x) 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단에 제2 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제2 전류를 발생시키는 단계,

(v.xi) 상기 제2 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 제2 전류를 측정하는 단계,

(v.xii) 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단의 제2 전압을 측정하는 단계,

(v.xiii) 상기 제2 전류 및 상기 제2 전압에 기초하여 제2 저항값($R_{B'}$)을 계산하는 단계,

(v.xiv) 상기 제1 저항값(R_B) 및 상기 제2 저항값($R_{B'}$)의 제1 저항 평균($\overline{R_{BB'}}, 1$)을 계산하는 단계,

(v.xv) 상기 제5 및 제7 접촉 요소 양단에 제3 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제3 전류를 발생시키는 단계,

(v.xvi) 상기 제5 또는 상기 제7 접촉 요소를 통과하는 상기 제3 전류를 측정하는 단계,

(v.xvii) 상기 제6 및 제8 접촉 요소 양단의 제3 전압을 측정하는 단계,

(v.xviii) 상기 제3 전류 및 상기 제3 전압에 기초하여 제3 저항값($R_{B,2}$)을 계산하는 단계,

(v.xix) 상기 제6 및 제8 접촉 요소 양단에 제4 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제4 전류를 발생시키는 단계,

(v.xx) 상기 제6 또는 상기 제8 접촉 요소를 통과하는 상기 제4 전류를 측정하는 단계,

(v.xxi) 상기 제5 및 제7 접촉 요소 양단의 제4 전압을 측정하는 단계,

(v.xxii) 상기 제4 전류 및 상기 제4 전압에 기초하여 제4 저항값($R_{B',2}$)을 계산하는 단계,

(v.xxv) 상기 제3 저항값($R_{B,2}$) 및 상기 제4 저항값($R_{B',2}$)의 제2 저항 평균($\overline{R_{BB',2}}$)을 계산하는 단계,

(v.xxvi) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단에 제5 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제5 전류를 발생시키는 단계,

(v.xxvii) 상기 제1 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 제5 전류를 측정하는 단계,

(v.xxviii) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단의 제5 전압을 측정하는 단계,

(v.xxix) 상기 제5 전류 및 상기 제5 전압에 기초하여 제5 저항값($R_{A,1}$)을 계산하는 단계,

(v.xxx) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단에 제6 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제6 전류를 발생시키는 단계,

(v.xxxi) 상기 제2 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 제6 전류를 측정하는 단계,

(v.xxxii) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단의 제6 전압을 측정하는 단계,

(v.xxxiii) 상기 제6 전류 및 상기 제6 전압에 기초하여 제6 저항값($R_{A',1}$)을 계산하는 단계,

(v.xxxiv) 상기 제5 저항값($R_{A,1}$) 및 상기 제6 저항값($R_{A',1}$)의 제3 저항 평균($\overline{R_{AA',1}}$)을 계산하는 단계,

(v.xxxv) 상기 제5 및 제8 접촉 요소 양단에 제7 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제7 전류를 발생시키는 단계,

(v.xxxvi) 상기 제5 또는 상기 제8 접촉 요소를 통과하는 상기 제7 전류를 측정하는 단계,

(v.xxxvii) 상기 제6 및 제7 접촉 요소 양단의 제7 전압을 측정하는 단계,

(v.xxxviii) 상기 제7 전류 및 상기 제7 전압에 기초하여 제7 저항값($R_{A,2}$)을 계산하는 단계,

(v.xxxix) 상기 제6 및 제7 접촉 요소 양단에 제8 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제8 전류를 발생시키는 단계,

(v.xl) 상기 제6 또는 상기 제7 접촉 요소를 통과하는 상기 제8 전류를 측정하는 단계,

(v.xli) 상기 제5 및 제8 접촉 요소 양단의 제8 전압을 측정하는 단계,

(v.xlii) 상기 제8 전류 및 상기 제8 전압에 기초하여 제8 저항값($R_{A',2}$)을 계산하는 단계,

(v.xliii) 상기 제7 저항값($R_{A,2}$) 및 상기 제8 저항값($R_{A',2}$)의 제4 저항 평균($\overline{R_{AA',2}}$)을 계산하는 단계,

(v.xliv) 상기 제1 저항 평균($\overline{R_{BB',1}}$), 상기 제3 저항 평균($\overline{R_{AA',1}}$), 및 제1 의사 시트(pseudo sheet) 저항($R_{p,1}$)을 각각 나타내는 제4, 제5, 및 제6 파라미터를 포함하는 제2 관계식을 정의하는 단계,

(v.xlv) 상기 제2 관계식에서 상기 제1 저항 평균($\overline{R_{BB',1}}$) 및 상기 제3 저항 평균($\overline{R_{AA',1}}$)을 각각 상기 제4 파라미터 및 상기 제5 파라미터로서 이용하여 상기 제1 의사 시트 저항($R_{p,1}$)을 나타내는 상기 제6 파라미터를 결정하는 단계,

(v.xlvi) 상기 제2 저항 평균($\overline{R_{BB',2}}$), 상기 제4 저항 평균($\overline{R_{AA',2}}$), 및 제2 의사 시트 저항($R_{p,2}$)을 각각 나타내는 제7, 제8, 및 제9 파라미터를 포함하는 제3 관계식을 정의하는 단계,

(v.xlvii) 상기 제3 관계식에서 상기 제2 저항 평균($\overline{R_{BB',2}}$) 및 상기 제4 저항 평균($\overline{R_{AA',2}}$)을 각각 상기 제7 파라미터 및 상기 제8 파라미터로서 이용하여 상기 제2 의사 시트 저항($R_{p,2}$)을 나타내는 상기 제9 파라미터를 결정하는 단계,

(v.xlviii) 상기 제1 의사 시트 저항($R_{p,1}$), 상기 제2 의사 시트 저항($R_{p,2}$), 및 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리를 각각 나타내는 제10, 제11, 및 제12 파라미터를 포함하는 제4 관계식(g_0)을 정의하는 단계, 및

(v.xlix) 상기 제4 관계식(g_0)에서 상기 제1 및 제2 의사 시트 저항($R_{p,1}$, $R_{p,2}$)을 각각 상기 제10 및 제11 파라미터로서 이용하여 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리(y)의 값을 나타내는 상기 제12 파라미터를 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 6

테스트 샘플(test sample)의 전기적으로 전도성(electrically conducting)인 표면부 상의 제1 위치에서 전기적 특성을 결정하는 방법으로서 - 상기 전기적으로 전도성인 표면부는 전기적 경계(electrical boundary)를 가짐 -

- (a) 제1항의 방법에 따른 상기 테스트 샘플의 상기 전기적으로 전도성인 표면부 상의 상기 제1 위치와 상기 전기적으로 전도성인 표면부의 상기 전기적 경계 간의 거리(y)를 결정하는 단계,
- (b) 상기 전기적 특성 및 상기 거리(y)를 나타내는 제15 파라미터를 포함하는 제5 관계식을 정의하는 단계, 및
- (c) 상기 제5 관계식에서 상기 거리(y)를 상기 제15 파라미터로서 이용하여 상기 전기적 특성을 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 7

테스트 샘플(test sample)의 전기적으로 전도성(electrically conducting)인 표면부 상의 제1 위치에서 전기적 특성을 결정하는 방법으로서 - 상기 전기적으로 전도성인 표면부는 전기적 경계(electrical boundary)를 가짐 -

- (a) 제4항의 방법에 따른 상기 테스트 샘플의 상기 전기적으로 전도성인 표면부 상의 상기 제1 위치와 상기 전기적으로 전도성인 표면부의 상기 전기적 경계 간의 추가 거리(y_2)를 결정하는 단계,
- (b) 상기 전기적 특성 및 상기 추가 거리(y_2)를 나타내는 제15 파라미터를 포함하는 제5 관계식을 정의하는 단계, 및
- (c) 상기 제5 관계식에서 상기 추가 거리(y_2)를 상기 제15 파라미터로서 이용하여 상기 전기적 특성을 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 8

제6항 또는 제7항에 있어서, 상기 제5 관계식은 상기 제1 접촉 요소, 상기 제2 접촉 요소, 상기 제3 접촉 요소 및 상기 제4 접촉 요소 중 적어도 2개의 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 더 포함하고,

(b') 상기 제5 관계식을 정의할 때, 상기 제5 관계식은 상기 제1 접촉 요소, 상기 제2 접촉 요소, 상기 제3 접촉 요소 및 상기 제4 접촉 요소 중 적어도 2개의 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내는 제16 파라미터를

더 포함하고,

(c') 상기 전기적 특성을 결정할 때, 상기 제5 관계식에서 상기 제1 거리(y) 또는 상기 추가 거리(y_2) 외에 상기 간격이 상기 제16 파라미터로 사용되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 9

제6항 또는 제7항에 있어서, 상기 전기적 특성은 홀 시트(Hall sheet) 저항(R_H)이고 상기 제5 관계식(f_1, f_2)은 추가적인 제1 저항차($\Delta R_{BB'}$)를 나타내는 제17 파라미터를 더 포함하며,

상기 방법은,

(d) 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단에 추가적인 제1 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제1 전류를 발생시키는 단계,

(e) 상기 제1 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제1 전류를 측정하는 단계,

(f) 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단의 추가적인 제1 전압을 측정하는 단계, 및

(g) 상기 추가적인 제1 전류 및 상기 추가적인 제1 전압에 기초하여 추가적인 제1 저항값(R_B)을 계산하는 단계, 또는

(g') 상기 거리를 추가적인 제1 저항값(R_B)으로 결정하는 단계로부터 상기 제1 저항값(R_B)을 보유하는 단계, 및

(h) 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단에 추가적인 제2 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제2 전류를 발생시키는 단계,

(i) 상기 제2 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제2 전류를 측정하는 단계,

(j) 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단의 추가적인 제2 전압을 측정하는 단계, 및

(k) 상기 추가적인 제2 전류 및 상기 추가적인 제2 전압에 기초하여 추가적인 제2 저항값($R_{B'}$)을 계산하는 단계, 또는

(k') 상기 거리를 추가적인 제2 저항값($R_{B'}$)으로 결정하는 단계로부터 상기 제2 저항값($R_{B'}$)을 보유하는 단계, 및

(l) 상기 추가적인 제1 저항값과 상기 추가적인 제2 저항값 간의 차에 기초하여 상기 추가적인 제1 저항차($\Delta R_{BB'}$)를 계산하는 단계, 또는

(l') 상기 거리를 상기 추가적인 제1 저항차($\Delta R_{BB'}$)로 결정하는 단계로부터 상기 제1 저항차($\Delta R_{BB'}$)를 보유하는 단계

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 전기적 특성은 홀 시트(Hall sheet) 저항(R_H)이고 상기 제5 관계식(f_1, f_2)은 추가적인 제1 저항차($\Delta R_{BB'}$)를 나타내는 제17 파라미터를 더 포함하며,

상기 방법은,

(d) 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단에 추가적인 제1 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제1 전류를 발생시키는 단계,

(e) 상기 제1 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제1 전류를 측정하는 단계,

(f) 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단의 추가적인 제1 전압을 측정하는 단계,

(g) 상기 추가적인 제1 전류 및 상기 추가적인 제1 전압에 기초하여 추가적인 제1 저항값(R_B)을 계산하는 단계,

또는

- (g') 상기 거리를 추가적인 제1 저항값(R_B)으로 결정하는 단계로부터 상기 제1 저항값(R_B)을 보유하는 단계, 및
 - (h) 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단에 추가적인 제2 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제2 전류를 발생시키는 단계,
 - (i) 상기 제2 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제2 전류를 측정하는 단계,
 - (j) 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단의 추가적인 제2 전압을 측정하는 단계, 및
 - (k) 상기 추가적인 제2 전류 및 상기 추가적인 제2 전압에 기초하여 추가적인 제2 저항값($R_{B'}$)을 계산하는 단계, 또는
 - (k') 상기 거리를 추가적인 제2 저항값($R_{B'}$)으로 결정하는 단계로부터 상기 제2 저항값($R_{B'}$)을 보유하는 단계, 및
 - (l) 상기 추가적인 제1 저항값과 상기 추가적인 제2 저항값 간의 차에 기초하여 상기 추가적인 제1 저항차($\Delta R_{BB'}$)를 계산하는 단계, 또는
 - (l') 상기 거리를 상기 추가적인 제1 저항차($\Delta R_{BB'}$)로 결정하는 단계로부터 상기 제1 저항차($\Delta R_{BB'}$)를 보유하는 단계
- 를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 11

제8항에 있어서,

제6항에 종속할 때,

상기 전기적 특성은 홀 시트(Hall sheet) 저항(R_H)이고 상기 제5 관계식(f_2, f_3)은 추가적인 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)를 나타내는 제17 파라미터를 더 포함하며,

상기 방법은,

- (d) 상기 제1 및 제2 접촉 요소 양단에 추가적인 제3 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제3 전류를 발생시키는 단계,
- (e) 상기 제1 또는 상기 제2 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제3 전류를 측정하는 단계,
- (f) 상기 제3 및 제4 접촉 요소 양단의 추가적인 제3 전압을 측정하는 단계,
- (g) 상기 추가적인 제3 전류 및 상기 추가적인 제3 전압에 기초하여 추가적인 제3 저항값(R_C)을 계산하는 단계, 또는
- (g') 상기 거리를 추가적인 제3 저항값(R_C)으로 결정하는 단계로부터 상기 제3 저항값(R_C)을 보유하는 단계, 및
- (h) 상기 제3 및 제4 접촉 요소 양단에 추가적인 제4 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제4 전류를 발생시키는 단계,
- (i) 상기 제3 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제4 전류를 측정하는 단계,
- (j) 상기 제1 및 제2 접촉 요소 양단의 추가적인 제4 전압을 측정하는 단계, 및
- (k) 상기 추가적인 제4 전류 및 상기 추가적인 제4 전압에 기초하여 추가적인 제4 저항값($R_{C'}$)을 계산하는 단계, 또는
- (k') 상기 거리를 추가적인 제4 저항값($R_{C'}$)으로 결정하는 단계로부터 상기 제4 저항값($R_{C'}$)을 보유하는 단계, 및
- (l) 상기 추가적인 제3 저항값과 상기 추가적인 제4 저항값 간의 차에 기초하여 상기 추가적인 제2 저항차(Δ

$R_{CC'}$)를 계산하는 단계, 또는

(1') 상기 거리를 상기 추가적인 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)로 결정하는 단계로부터 상기 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)를 보유하는 단계

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 12

제8항에 있어서,

제7항에 종속할 때,

상기 전기적 특성은 홀 시트 저항(R_H)이고 상기 제5 관계식(f_2, f_3)은 추가적인 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)를 나타내는 제 17 파라미터를 더 포함하며,

상기 방법은,

(d) 상기 제1 및 제2 접촉 요소 양단에 추가적인 제3 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제3 전류를 발생시키는 단계,

(e) 상기 제1 또는 상기 제2 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제3 전류를 측정하는 단계,

(f) 상기 제3 및 제4 접촉 요소 양단의 추가적인 제3 전압을 측정하는 단계,

(g) 상기 추가적인 제3 전류 및 상기 추가적인 제3 전압에 기초하여 추가적인 제3 저항값(R_C)을 계산하는 단계,

(h) 상기 제3 및 제4 접촉 요소 양단에 추가적인 제4 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제4 전류를 발생시키는 단계,

(i) 상기 제3 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제4 전류를 측정하는 단계,

(j) 상기 제1 및 제2 접촉 요소 양단의 추가적인 제4 전압을 측정하는 단계,

(k) 상기 추가적인 제4 전류 및 상기 추가적인 제4 전압에 기초하여 추가적인 제4 저항값(R_C)을 계산하는 단계, 및

(l) 상기 추가적인 제3 저항값과 상기 추가적인 제4 저항값 간의 차에 기초하여 상기 추가적인 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)를 계산하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 13

제9항에 있어서,

제7항에 종속할 때,

상기 전기적 특성은 홀 시트 저항(R_H)이고 상기 제5 관계식(f_2, f_3)은 추가적인 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)를 나타내는 제 17 파라미터를 더 포함하며,

상기 방법은,

(d) 상기 제1 및 제2 접촉 요소 양단에 추가적인 제3 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제3 전류를 발생시키는 단계,

(e) 상기 제1 또는 상기 제2 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제3 전류를 측정하는 단계,

(f) 상기 제3 및 제4 접촉 요소 양단의 추가적인 제3 전압을 측정하는 단계,

(g) 상기 추가적인 제3 전류 및 상기 추가적인 제3 전압에 기초하여 추가적인 제3 저항값(R_C)을 계산하는 단계,

(h) 상기 제3 및 제4 접촉 요소 양단에 추가적인 제4 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제4 전류를 발생시키는 단계,

- (i) 상기 제3 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제4 전류를 측정하는 단계,
- (j) 상기 제1 및 제2 접촉 요소 양단의 추가적인 제4 전압을 측정하는 단계,
- (k) 상기 추가적인 제4 전류 및 상기 추가적인 제4 전압에 기초하여 추가적인 제4 저항값($R_{C'}$)을 계산하는 단계, 및
- (l) 상기 추가적인 제3 저항값과 상기 추가적인 제4 저항값 간의 차에 기초하여 상기 추가적인 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)를 계산하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 14

제6항 또는 제7항에 있어서, 상기 전기적 특성은 홀 시트 저항(R_H)이고 상기 제5 관계식(f_1)은 추가적인 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)를 나타내는 제17 파라미터를 더 포함하며,

상기 방법은,

- (d) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단에 추가적인 제5 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면에 추가적인 제5 전류를 발생시키는 단계,
- (e) 상기 제1 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제5 전류를 측정하는 단계,
- (f) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단의 추가적인 제5 전압을 측정하는 단계,
- (g) 상기 추가적인 제5 전류 및 상기 추가적인 제5 전압에 기초하여 추가적인 제5 저항값(R_A)을 계산하는 단계, 또는
- (g') 상기 거리를 추가적인 제5 저항값(R_A)으로 결정하는 단계로부터 상기 제5 저항값(R_A)을 보유하는 단계, 및
- (h) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단에 추가적인 제6 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면에 추가적인 제6 전류를 발생시키는 단계,
- (i) 상기 제2 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제6 전류를 측정하는 단계,
- (j) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단의 추가적인 제6 전압을 측정하는 단계, 및
- (k) 상기 추가적인 제6 전류 및 상기 추가적인 제6 전압에 기초하여 추가적인 제6 저항값($R_{A'}$)을 계산하는 단계, 또는
- (k') 상기 거리를 추가적인 제5 저항값($R_{A'}$)으로 결정하는 단계로부터 상기 제6 저항값($R_{A'}$)을 보유하는 단계, 및
- (l) 상기 추가적인 제5 저항값과 상기 추가적인 제6 저항값 간의 차에 기초하여 상기 추가적인 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)를 계산하는 단계, 또는
- (l') 상기 거리를 상기 추가적인 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)로 결정하는 단계로부터 상기 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)를 보유하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 15

제6항 또는 제7항에 있어서, 상기 전기적 특성은 시트 저항(sheet resistance)(R_0)이고 상기 제5 관계식(g)은 의사 시트(pseudo sheet) 저항(R_p)을 나타내는 제17 파라미터를 더 포함하며,

상기 방법은,

- (d) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단에 추가적인 제5 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면에 추가적인 제5 전류를 발생시키는 단계,
- (e) 상기 제1 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제5 전류를 측정하는 단계,

- (f) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단의 추가적인 제5 전압을 측정하는 단계,
- (g) 상기 추가적인 제5 전류 및 상기 추가적인 제5 전압에 기초하여 추가적인 제5 저항값(R_A)을 계산하는 단계, 또는
- (g') 상기 거리를 추가적인 제5 저항값(R_A)으로 결정하는 단계로부터 상기 제5 저항값(R_A)을 보유하는 단계, 및
- (h) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단에 추가적인 제6 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제6 전류를 발생시키는 단계,
- (i) 상기 제2 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제6 전류를 측정하는 단계,
- (j) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단의 추가적인 제6 전압을 측정하는 단계,
- (k) 상기 추가적인 제6 전류 및 상기 추가적인 제6 전압에 기초하여 추가적인 제6 저항값($R_{A'}$)을 계산하는 단계, 또는
- (k') 상기 거리를 추가적인 제5 저항값($R_{A'}$)으로 결정하는 단계로부터 상기 제6 저항값($R_{A'}$)을 보유하는 단계, 및
- (l) 상기 추가적인 제5 저항값(R_A) 및 상기 추가적인 제6 저항값($R_{A'}$)의 제5 저항 평균($\overline{R_{AA'}}$)을 계산하는 단계,
- (d'') 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단에 추가적인 제1 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제1 전류를 발생시키는 단계,
- (e'') 상기 제1 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제1 전류를 측정하는 단계,
- (f'') 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단의 추가적인 제1 전압을 측정하는 단계,
- (g'') 상기 추가적인 제1 전류 및 상기 추가적인 제1 전압에 기초하여 추가적인 제1 저항값(R_B)을 계산하는 단계, 또는
- (g''') 상기 거리를 추가적인 제1 저항값(R_B)으로 결정하는 단계로부터 상기 제1 저항값(R_B)을 보유하는 단계, 및
- (h'') 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단에 추가적인 제2 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제2 전류를 발생시키는 단계,
- (i'') 상기 제2 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제2 전류를 측정하는 단계,
- (j'') 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단의 추가적인 제2 전압을 측정하는 단계,
- (k'') 상기 추가적인 제2 전류 및 상기 추가적인 제2 전압에 기초하여 추가적인 제2 저항값($R_{B'}$)을 계산하는 단계, 또는
- (k''') 상기 거리를 추가적인 제2 저항값($R_{B'}$)으로 결정하는 단계로부터 상기 제2 저항값($R_{B'}$)을 보유하는 단계, 및
- (l'') 상기 추가적인 제1 저항값(R_B) 및 상기 추가적인 제2 저항값($R_{B'}$)의 제6 저항 평균($\overline{R_{BB'}}$)을 계산하는 단계,
- (m) 상기 제5 저항 평균($\overline{R_{AA'}}$), 상기 제6 저항 평균($\overline{R_{BB'}}$), 및 상기 의사 시트 저항(R_P)을 각각 나타내는 제18, 제19, 및 제20 파라미터를 포함하는 제6 관계식을 정의하는 단계, 및
- (n) 상기 제6 관계식에서 상기 제5 저항 평균($\overline{R_{AA'}}$) 및 상기 제6 저항 평균($\overline{R_{BB'}}$)을 각각 상기 제18 파라미

터 및 상기 제19 파라미터로서 이용하여 상기 의사 시트 저항(R_p)을 결정하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 16

제8항에 있어서, 상기 전기적 특성은 시트 저항(sheet resistance)(R_0)이고 상기 제5 관계식(g)은 의사 시트(pseudo sheet) 저항(R_p)을 나타내는 제17 파라미터를 더 포함하며,

상기 방법은,

(d) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단에 추가적인 제5 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제5 전류를 발생시키는 단계,

(e) 상기 제1 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제5 전류를 측정하는 단계,

(f) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단의 추가적인 제5 전압을 측정하는 단계,

(g) 상기 추가적인 제5 전류 및 상기 추가적인 제5 전압에 기초하여 추가적인 제5 저항값(R_A)을 계산하는 단계, 또는

(g') 상기 거리를 추가적인 제5 저항값(R_A)으로 결정하는 단계로부터 상기 제5 저항값(R_A)을 보유하는 단계, 및

(h) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단에 추가적인 제6 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제6 전류를 발생시키는 단계,

(i) 상기 제2 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제6 전류를 측정하는 단계,

(j) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단의 추가적인 제6 전압을 측정하는 단계,

(k) 상기 추가적인 제6 전류 및 상기 추가적인 제6 전압에 기초하여 추가적인 제6 저항값($R_{A'}$)을 계산하는 단계, 또는

(k') 상기 거리를 추가적인 제5 저항값($R_{A'}$)으로 결정하는 단계로부터 상기 제6 저항값($R_{A'}$)을 보유하는 단계, 및

(l) 상기 추가적인 제5 저항값(R_A) 및 상기 추가적인 제6 저항값($R_{A'}$)의 제5 저항 평균($\overline{R_{AA'}}$)을 계산하는 단계,

(d'') 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단에 추가적인 제1 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제1 전류를 발생시키는 단계,

(e'') 상기 제1 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제1 전류를 측정하는 단계,

(f'') 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단의 추가적인 제1 전압을 측정하는 단계,

(g'') 상기 추가적인 제1 전류 및 상기 추가적인 제1 전압에 기초하여 추가적인 제1 저항값(R_B)을 계산하는 단계, 또는

(g''') 상기 거리를 추가적인 제1 저항값(R_B)으로 결정하는 단계로부터 상기 제1 저항값(R_B)을 보유하는 단계, 및

(h'') 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단에 추가적인 제2 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제2 전류를 발생시키는 단계,

(i'') 상기 제2 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제2 전류를 측정하는 단계,

(j'') 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단의 추가적인 제2 전압을 측정하는 단계,

(k'') 상기 추가적인 제2 전류 및 상기 추가적인 제2 전압에 기초하여 추가적인 제2 저항값($R_{B'}$)을 계산하는 단계, 또는

(k''') 상기 거리를 추가적인 제2 저항값(R'_B)으로 결정하는 단계로부터 상기 제2 저항값(R_B)을 보유하는 단계, 및

(l'') 상기 추가적인 제1 저항값(R_B) 및 상기 추가적인 제2 저항값(R'_B)의 제6 저항 평균($\overline{R_{BB'}}$)을 계산하는 단계,

(m) 상기 제5 저항 평균($\overline{R_{AA'}}$), 상기 제6 저항 평균($\overline{R_{BB'}}$), 및 상기 의사 시트 저항(R_P)을 각각 나타내는 제18, 제19, 및 제20 파라미터를 포함하는 제6 관계식을 정의하는 단계, 및

(n) 상기 제6 관계식에서 상기 제5 저항 평균($\overline{R_{AA'}}$) 및 상기 제6 저항 평균($\overline{R_{BB'}}$)을 각각 상기 제18 파라미터 및 상기 제19 파라미터로서 이용하여 상기 의사 시트 저항(R_P)을 결정하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 17

테스트 샘플(test sample)의 전기적으로 전도성(electrically conducting)인 표면부 상의 제1 위치와 상기 전기적으로 전도성인 표면부의 전기적 경계(electrical boundary) 간의 거리를 결정하는 장치로서,

제1 접촉 요소(contact element), 제2 접촉 요소, 제3 접촉 요소, 및 제4 접촉 요소를 포함하는 멀티 포인트 프로브(multi-point probe) - 각 접촉 요소는 상기 테스트 샘플과의 전기적 접촉을 확립하기 위한 접촉점(contact point)을 정의함 -, 및

거리를 결정하기 위해 제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 따른 방법을 또는 추가 거리를 결정하기 위해 제4항에 따른 방법을 수행하도록 구성된 제어 유닛

을 포함하는 장치.

청구항 18

테스트 샘플(test sample)의 전기적으로 전도성(electrically conducting)인 표면부 상의 제1 위치에서 전기적 특성을 결정하는 장치로서,

제1 접촉 요소(contact element), 제2 접촉 요소, 제3 접촉 요소, 및 제4 접촉 요소를 포함하는 멀티 포인트 프로브(multi-point probe) - 각 접촉 요소는 상기 테스트 샘플과의 전기적 접촉을 확립하기 위한 접촉점(contact point)을 정의함 -, 및

제6항에 따른 테스트 샘플의 전기적으로 전도성인 표면부 상의 제1 위치에서 전기적 특성을 결정하는 방법을 수행하도록 구성된 제어 유닛

을 포함하는 장치.

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

발명의 설명

기술 분야

배경 기술

[0001] 반도체 공정에서, 임계 치수(critical dimensions)의 지속적인 다운 스케일링(down-scaling)과 함께 재료의 특성을 특성화하는 것이 점점 중요해졌고 또한 어려워졌다. 초박막(ultra-shallow) 접합과 같은 시트재(Sheet materials)가 널리 사용되고 있고, 이에 대한 연구를 위해 시트 저항(sheet resistance) 측정이 개발되었다. 필름 재료의 시트 저항 외에, 시트 캐리어 밀도(sheet carrier density) 및 이동도(mobility)도 역시, 예를 들어, 상보 금속 산화물 반도체(CMOS) 트랜지스터에서 반도체 소자의 성능에 중요한 특성이다. 그러나, 시트 저항, 시트 캐리어 밀도, 및 시트 캐리어 이동도를 결정하는 현재의 대부분의 측정 방법은 특별한 샘플(sample) 준비 또는 그 샘플의 파괴적인 가공법(destructive machining)을 필요로 한다. 일부 측정 방법은 또한 프로브(probe)와 테스트 샘플(test sample) 사이에 여러 번의 결합(engagements)을 필요로 하여, 그 방법의 효율성을 손상시킨다.

[0002] 따라서, 시트 캐리어 밀도 및 시트재의 이동도를 특성화하기 위해, 빠르고, 값싼, 비파괴적인 방법이 바람직하다. 시트 저항 측정에 사용될 수 있는 실리콘 기반 마이크로 제조 기술에 의해 제작된 미세 멀티 포인트 프로브(microscopic multi-point probes)를 이용하는 여러 방법이 있다. WO2007045246A1에서는, 인라인 마이크로

4 포인트 프로브(in-line micro four-point probe)를 이용하여 홀 효과(Hall effect) 측정을 수행함으로써 시트 저항, 시트 캐리어 밀도, 및 홀 이동도를 측정할 수 있다는 것을 보였다. 그러나, 이러한 방법은 두 개의 측정점, 즉, 프로브와 테스트 샘플 사이에 두 번의 다른 결합을 요구하여, 테스트 중에 샘플 양단의 전기적 특성이 이상적으로 균일하지 않은 경우 큰 측정 오차를 유발할 수 있다.

발명의 내용

[0003] 본 발명의 목적은 테스트 샘플의 전기적 특성 결정의 정확도를 향상시키고 그 결정 시간을 감소시키는데 있다. 특히, 본 발명의 목적은 테스트 샘플의 전기적 경계(electrical boundary)까지의 거리에 좌우되는 전기적 특성 결정의 정확도를 향상시키고 그 결정 시간을 감소시키는데 있다. 본 발명에 따르면, 홀 효과 측정에서 단지 하나의 측정점, 즉, 프로브와 테스트 샘플 사이에 한 번의 결합만 필요하다. 이는 측정 시간을 크게 줄여주고 박막에 대한 좀 더 정확한 전기적 전달 특성 결과를 제공해 줄 것이다.

[0004] 본 발명의 목적은 테스트 샘플(test sample)의 전기적으로 전도성(electrically conducting)인 표면부 상의 제 1 위치와 상기 전기적으로 전도성인 표면부의 전기적 경계(electrical boundary) 간의 거리를 제1 접촉 요소(contact element), 제2 접촉 요소, 제3 접촉 요소, 및 제4 접촉 요소를 포함하는 멀티 포인트 프로브(multi-point probe)에 의해 결정하는 방법에 의한 본 발명의 제1 양태에 따라 성취되며, 각 접촉 요소는 상기 테스트 샘플과의 전기적 접촉을 확립하기 위한 접촉점(contact point)을 정의하며, 상기 방법은 (i.i) 상기 전기적으로 전도성인 표면부 상의 상기 제1 위치에서 상기 테스트 샘플을 상기 제1 접촉 요소, 상기 제2 접촉 요소, 상기 제3 접촉 요소, 및 상기 제4 접촉 요소와 접촉시키는 단계, (i.ii) 상기 제1 위치에서 상기 전기적으로 전도성인 표면부에 수직인 주 자기장 성분(field component)을 갖는 자기장(magnetic field)을 인가하는 단계, (i.iii) 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단에 제1 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제1 전류를 발생시키는 단계, (i.iv) 상기 제1 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 제1 전류를 측정하는 단계, (i.v) 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단의 제1 전압을 측정하는 단계, (i.vi) 상기 제1 전류 및 상기 제1 전압에 기초하여 제1 저항값(R_B)을 계산하는 단계, (i.vii) 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단에 제2 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제2 전류를 발생시키는 단계, (i.viii) 상기 제2 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 제2 전류를 측정하는 단계, (i.ix) 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단의 제2 전압을 측정하는 단계, (i.x) 상기 제2 전류 및 상기 제2 전압에 기초하여 제2 저항값(R_B)을 계산하는 단계, (i.xi) 상기 제1 저항값과 상기 제2 저항값 간의 차에 기초하여 제1 저항차(ΔR_{BB})를 계산하는 단계, (i.xii) 상기 제1 및 제2 접촉 요소 양단에 제3 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제3 전류를 발생시키는 단계, (i.xiii) 상기 제1 또는 상기 제2 접촉 요소를 통과하는 상기 제3 전류를 측정하는 단계, (i.xiv) 상기 제3 및 제4 접촉 요소 양단의 제3 전압을 측정하는 단계, (i.xv) 상기 제3 전류 및 상기 제3 전압에 기초하여 제3 저항값(R_C)을 계산하는 단계, (i.xvi) 상기 제3 및 제4 접촉 요소 양단에 제4 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제4 전류를 발생시키는 단계, (i.xvii) 상기 제3 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 제4 전류를 측정하는 단계, (i.xviii) 상기 제1 및 제2 접촉 요소 양단의 제4 전압을 측정하는 단계, (i.xix) 상기 제4 전류 및 상기 제4 전압에 기초하여 제4 저항값(R_C)을 계산하는 단계, 및 (i.xx) 상기 제3 저항값과 상기 제4 저항값 간의 차에 기초하여 제2 저항차(ΔR_{CC})를 계산하는 단계를 포함하고, 또는 대안예에서는, 상기 멀티 포인트 프로브는 복수의 접촉 요소를 포함하고, 각 접촉 요소는 상기 테스트 샘플과의 전기적 접촉을 확립하기 위한 접촉점을 정의하고, 상기 복수의 접촉 요소는 상기 제1 접촉 요소, 상기 제2 접촉 요소, 상기 제3 접촉 요소, 상기 제4 접촉 요소 및 하나 이상의 추가 접촉 요소를 포함하며, 단계 (i.xii) 내지 (i.xx)를 다음 단계들, 즉, (ii.xii) 상기 복수의 접촉 요소 중 제1 구성의 접촉 요소를 정의하는 단계 - 상기 제1 구성의 접촉 요소는 상기 제1 접촉 요소, 상기 제2 접촉 요소, 상기 제3 접촉 요소, 및 상기 제4 접촉 요소로 구성됨 -, (ii.xiii) 상기 복수의 접촉 요소 중 제2 구성의 접촉 요소를 정의하는 단계 - 상기 제2 구성의 접촉 요소는 제5 접촉 요소, 제6 접촉 요소, 제7 접촉 요소, 및 제8 접촉 요소로 구성되고, 상기 제2 구성의 접촉 요소 중 적어도 하나의 접촉 요소는 상기 하나 이상의 추가 접촉 요소의 접촉 요소임 -, (ii.xiv) 상기 전기적으로 전도성인 표면부 상의 상기 제1 위치에서 상기 테스트 샘플을 상기 제2 구성의 접촉 요소 중 상기 접촉 요소와 접촉시키고 동시에 상기 테스트 샘플을 상기 제1 구성의 접촉 요소 중 상기 접촉 요소와 접촉시키는 단계, (ii.xv) 상기 제5 및 제7 접촉 요소 양단에 제3 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제3 전류를 발생시키는 단계, (ii.xvi) 상기 제5 또는 상기 제7 접촉 요소를 통과하는 상기 제3 전류를 측정하는 단계, (ii.xvii) 상기 제6 및 제8 접촉 요소 양단의 제3 전압을 측정하는 단계, (ii.xviii) 상기 제3 전류 및 상기 제3 전압에 기초하여

제3 저항값($R_{B,2}$)을 계산하는 단계, (ii.xix) 상기 제6 및 제8 접촉 요소 양단에 제4 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제4 전류를 발생시키는 단계, (ii.xx) 상기 제6 또는 상기 제8 접촉 요소를 통과하는 상기 제4 전류를 측정하는 단계, (ii.xxi) 상기 제5 및 제7 접촉 요소 양단의 제4 전압을 측정하는 단계, (ii.xxii) 상기 제4 전류 및 상기 제4 전압에 기초하여 제4 저항값($R_{B,2}$)을 계산하는 단계, 및 (ii.xxiii) 상기 제3 저항값과 상기 제4 저항값 간의 차에 기초하여 제2 저항차($\Delta R_{BB',2}$)를 계산하는 단계로 대체하고, 상기 단계 (i.xii) 내지 (i.xx)를 포함하는 대안에 및 단계 (ii.xii) 내지 (ii.xxiii)를 포함하는 대안에는 둘 다 (i.xxi) 상기 제1 저항차, 상기 제2 저항차, 및 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 거리를 각각 나타내는 제1, 제2, 및 제3 파라미터를 포함하는 제1 관계식(f)을 정의하는 단계, 및 (i.xxii) 상기 제1 관계식에서 상기 제1 및 제2 저항차($\Delta R_{BB'}$, $\Delta R_{CC'}$, $\Delta R_{BB',2}$)를 각각 상기 제1 및 제2 파라미터로서 이용하여 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 거리(y)를 나타내는 상기 제3 파라미터를 결정하는 단계를 더 포함한다.

[0005]

본 발명의 제1 양태 및 상기 단계 (i.xii) 내지 (i.xx)를 대체하는 대안에 따른 방법은 (iii.xxiv) 상기 제1 저항값(R_B) 및 상기 제2 저항값($R_{B'}$)의 제1 저항 평균($\overline{R_{BB'},1}$)을 계산하는 단계, (iii.xxv) 상기 제3 저항값($R_{B,2}$) 및 상기 제4 저항값($R_{B',2}$)의 제2 저항 평균($\overline{R_{BB'},2}$)을 계산하는 단계, 및 (iii.xxvi) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단에 제5 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제5 전류를 발생시키는 단계, (iii.xxvii) 상기 제1 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 제5 전류를 측정하는 단계, (iii.xxviii) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단의 제5 전압을 측정하는 단계, (iii.xxix) 상기 제5 전류 및 상기 제5 전압에 기초하여 제5 저항값($R_{A,1}$)을 계산하는 단계, (iii.xxx) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단에 제6 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제6 전류를 발생시키는 단계, (iii.xxxi) 상기 제2 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 제6 전류를 측정하는 단계, (iii.xxxii) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단의 제6 전압을 측정하는 단계, (iii.xxxiii) 상기 제6 전류 및 상기 제6 전압에 기초하여 제6 저항값($R_{A',1}$)을 계산하는 단계, (iii.xxxiv) 상기 제5 저항값($R_{A,1}$) 및 상기 제6 저항값($R_{A',1}$)의 제3 저항 평균($\overline{R_{AA'},1}$)을 계산하는 단계, (iii.xxxv) 상기 제5 및 제8 접촉 요소 양단에 제7 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제7 전류를 발생시키는 단계, (iii.xxxvi) 상기 제5 또는 상기 제8 접촉 요소를 통과하는 상기 제7 전류를 측정하는 단계, (iii.xxxvii) 상기 제6 및 제7 접촉 요소 양단의 제7 전압을 측정하는 단계, (iii.xxxviii) 상기 제7 전류 및 상기 제7 전압에 기초하여 제7 저항값($R_{A,2}$)을 계산하는 단계, (iii.xxxix) 상기 제6 및 제7 접촉 요소 양단에 제8 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제8 전류를 발생시키는 단계, (iii.xl) 상기 제6 또는 상기 제7 접촉 요소를 통과하는 상기 제8 전류를 측정하는 단계, (iii.xli) 상기 제5 및 제8 접촉 요소 양단의 제8 전압을 측정하는 단계, (iii.xlii) 상기 제8 전류 및 상기 제8 전압에 기초하여 제8 저항값($R_{A',2}$)을 계산하는 단계, (iii.xliii) 상기 제7 저항값($R_{A,2}$) 및 상기 제8 저항값($R_{A',2}$)의 제4 저항 평균($\overline{R_{AA'},2}$)을 계산하는 단계, (iii.xliv) 상기 제1 저항 평균($\overline{R_{BB'},1}$), 상기 제3 저항 평균($\overline{R_{AA'},1}$), 및 제1 의사 시트(pseudo sheet) 저항($R_{p,1}$)을 각각 나타내는 제4, 제5, 및 제6 파라미터를 포함하는 제2 관계식을 정의하는 단계, (iii.xlv) 상기 제2 관계식에서 상기 제1 저항 평균($\overline{R_{BB'},1}$) 및 상기 제3 저항 평균($\overline{R_{AA'},1}$)을 각각 상기 제4 파라미터 및 상기 제5 파라미터로서 이용하여 상기 제1 의사 시트 저항($R_{p,1}$)을 나타내는 상기 제6 파라미터를 결정하는 단계, (iii.xlvi) 상기 제2 저항 평균($\overline{R_{BB'},2}$), 상기 제4 저항 평균($\overline{R_{AA'},2}$), 및 제2 의사 시트 저항($R_{p,2}$)을 각각 나타내는 제7, 제8, 및 제9 파라미터를 포함하는 제3 관계식을 정의하는 단계, (iii.xlvii) 상기 제3 관계식에서 상기 제2 저항 평균($\overline{R_{BB'},2}$) 및 상기 제4 저항 평균($\overline{R_{AA'},2}$)을 각각 상기 제7 파라미터 및 상기 제8 파라미터로서 이용하여 상기 제2 의사 시트 저항($R_{p,2}$)을 나타내는 상기 제9 파라미터를 결정하는 단계, (iii.xlviii) 상기 제1 의사 시트 저항($R_{p,1}$), 상기 제2 의사 시트 저항($R_{p,2}$), 및 상기 제1 위치와 상기 전기적

경계 간의 거리를 각각 나타내는 제10, 제11, 및 제12 파라미터를 포함하는 제4 관계식(g_0)을 정의하는 단계, 및 (iii.xlix) 상기 제4 관계식(g_0)에서 상기 제1 및 제2 의사 시트 저항($R_{p,1}$, $R_{p,2}$)을 각각 상기 제10 및 제11 파라미터로서 이용하여 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 추가 거리(y)를 나타내는 상기 제12 파라미터를 결정하는 단계를 더 포함할 수 있고, 또는 단계 (iii.xlix)를 대체하는 대안예에서는, 상기 제2 구성의 상기 접촉 요소는 상기 테스트 샘플의 상기 전기적으로 전도성인 표면부 상의 제1 위치와 상기 전기적으로 전도성인 표면부의 상기 전기적 경계 간의 추가 거리(y_2)를 나타내고, 상기 제1 관계식(f_0)은 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 추가 거리를 나타내는 제13 파라미터를 더 포함하고, 상기 제4 관계식(g_0)은 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 추가 거리를 나타내는 제14 파라미터를 더 포함하며, 상기 방법은 (iv.xlix) 상기 제4 관계식(g_0)에서 상기 제1 및 제2 의사 시트 저항($R_{p,1}$, $R_{p,2}$)을 각각 상기 제10 및 제11 파라미터로서 이용하여 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리(y) 및 상기 추가 거리(y_2)를 각각 나타내는 상기 제13 파라미터 및 상기 제14 파라미터를 동시에 결정하는 단계를 더 포함한다.

[0006] 상기 단계 (iii.xlix)를 포함하는 대안예에서, 상기 제4 관계식은 $R_{p,1}/R_{p,2}=g_0(y)$ 와 같을 수 있고, 여기서 $R_{p,1}$ 은 상기 제1 의사 시트 저항을 나타내고, $R_{p,2}$ 는 상기 제2 의사 시트 저항을 나타내고, g_0 는 상기 거리 y 를 파라미터로서 포함하는 함수를 나타내고, 상기 함수 g_0 는 특정 거리에서 피크값을 정의하고, 상기 함수 g_0 는 상기 거리의 함수가 상기 특정 거리 미만(below)일 때 증가하고 상기 거리의 함수가 상기 특정 거리 이상(above)일 때 감소하며, 상기 방법은 (iii.xlix) 상기 거리와 상기 특정 거리를 비교하여 상기 제4 관계식에서 상기 추가 거리(y_2)가 상기 특정 거리 미만(below) 또는 이상(above)인지를 판단하는 단계를 더 포함할 수 있다. 이러한 방식으로 결정된 상기 추가 거리(y_2)는 저항차 대신 저항 평균으로부터 도출되었기 때문에 전형적으로 상기 거리(y)보다 더 정확하다.

[0007] 상기 추가 거리는 임의의 목적을 위해, 예를 들어, 테스트 샘플의 전기적 특성을 결정하기 위해 상기 거리를 대체할 수 있다.

[0008] 전술한 목적은 테스트 샘플의 전기적으로 전도성인 표면부 상의 제1 위치와 상기 전기적으로 전도성인 표면부의 전기적 경계 간의 거리를 복수의 접촉 요소를 포함하는 멀티 포인트 프로브에 의해 결정하는 방법에 의해 획득되는 본 발명의 제2 양태에 따라 성취되며, 각 접촉 요소는 상기 테스트 샘플과의 전기적 접촉을 확립하기 위한 접촉점을 정의하고, 상기 복수의 접촉 요소는 제1 접촉 요소, 제2 접촉 요소, 제3 접촉 요소, 제4 접촉 요소 및 하나 이상의 추가 접촉 요소를 포함하며, 상기 방법은 (v.i) 상기 복수의 접촉 요소 중 제1 구성의 접촉 요소를 정의하는 단계 - 상기 제1 구성의 접촉 요소는 상기 제1 접촉 요소, 상기 제2 접촉 요소, 상기 제3 접촉 요소, 및 상기 제4 접촉 요소로 구성된 -, (v.ii) 상기 복수의 접촉 요소 중 제2 구성의 접촉 요소를 정의하는 단계 - 상기 제2 구성의 접촉 요소는 제5 접촉 요소, 제6 접촉 요소, 제7 접촉 요소, 및 제8 접촉 요소로 구성되고, 상기 제2 구성의 접촉 요소 중 적어도 하나의 접촉 요소는 상기 하나 이상의 추가 접촉 요소의 접촉 요소임 -, (v.iii-iv) 상기 전기적으로 전도성인 표면부 상의 상기 제1 위치에서 상기 테스트 샘플을 상기 제1 및 제2 구성의 접촉 요소의 상기 접촉 요소와 접촉시키는 단계, (v.v) 상기 제1 위치에서 상기 전기적으로 전도성인 표면부에 수직인 주 자기장 성분을 갖는 자기장을 인가하는 단계, (v.vi) 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단에 제1 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제1 전류를 발생시키는 단계, (v.vii) 상기 제1 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 제1 전류를 측정하는 단계, (v.viii) 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단의 제1 전압을 측정하는 단계, (v.ix) 상기 제1 전류 및 상기 제1 전압에 기초하여 제1 저항값(R_B)을 계산하는 단계, (v.x) 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단에 제2 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제2 전류를 발생시키는 단계, (v.xi) 상기 제2 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 제2 전류를 측정하는 단계, (v.xii) 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단의 제2 전압을 측정하는 단계, (x.viii) 상기 제2 전류 및 상기 제2 전압에 기초하여 제2 저항값($R_{B'}$)을 계산하는 단계, (v.xiv) 상기 제1 저항값(R_B) 및 상기 제2 저항값($R_{B'}$)의 제1 저항 평균($\overline{R_{BB'}}, 1$)을 계산하는 단계, (v.xv) 상기 제5 및 제7 접촉 요소 양단에 제3 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제3 전류를 발생시키는 단계, (x.xvi) 상기 제5 또는 상기 제7 접촉 요소를 통과하는 상기 제3 전류를 측정하는 단계, (x.xvii) 상기 제6 및 제8 접촉 요소 양단의 제3 전압을 측정하는 단계, (x.xviii) 상기 제3 전류 및 상기 제3 전압에 기초하여 제3 저항값($R_{B,2}$)을 계산하는 단계, (v.xix) 상기 제6 및 제8 접촉 요소 양단에 제4 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제4 전류를 발생시키는 단계, (v.xx) 상기 제6 또는 상기

제8 접촉 요소를 통과하는 상기 제4 전류를 측정하는 단계, (v.xxii) 상기 제4 전류 및 상기 제4 전압에 기초하여 제4 저항값($R_{B',2}$)을 계산하는 단계,

(v.xxv) 상기 제3 저항값($R_{B,2}$) 및 상기 제4 저항값($R_{B',2}$)의 제2 저항 평균($\overline{R_{BB',2}}$)을 계산하는 단계, (v.xxvi) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단에 제5 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제5 전류를 발생시키는 단계, (v.xxvii) 상기 제1 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 제5 전류를 측정하는 단계, (v.xxviii) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단의 제5 전압을 측정하는 단계, (v.xxix) 상기 제5 전류 및 상기 제5 전압에 기초하여 제5 저항값($R_{A,1}$)을 계산하는 단계, (v.xxx) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단에 제6 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제6 전류를 발생시키는 단계, (v.xxxi) 상기 제2 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 제6 전류를 측정하는 단계, (v.xxxii) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단의 제6 전압을 측정하는 단계, (v.xxxiii) 상기 제6 전류 및 상기 제6 전압에 기초하여 제6 저항값($R_{A',1}$)을 계산하는 단계, (v.xxxiv) 상

기 제5 저항값($R_{A,1}$) 및 상기 제6 저항값($R_{A',1}$)의 제3 저항 평균($\overline{R_{AA',1}}$)을 계산하는 단계, (v.xxxv) 상기 제5 및 제8 접촉 요소 양단에 제7 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제7 전류를 발생시키는 단계, (v.xxxvi) 상기 제5 또는 상기 제8 접촉 요소를 통과하는 상기 제7 전류를 측정하는 단계, (v.xxxvii) 상기 제6 및 제7 접촉 요소 양단의 제7 전압을 측정하는 단계, (v.xxxviii) 상기 제7 전류 및 상기 제7 전압에 기초하여 제7 저항값($R_{A,2}$)을 계산하는 단계, (v.xxxix) 상기 제6 및 제7 접촉 요소 양단에 제8 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제8 전류를 발생시키는 단계, (v.xl) 상기 제6 또는 상기 제7 접촉 요소를 통과하는 상기 제8 전류를 측정하는 단계, (v.xli) 상기 제5 및 제8 접촉 요소 양단의 제8 전압을 측정하는 단계, (v.xlii) 상기 제8 전류 및 상기 제8 전압에 기초하여 제8 저항값($R_{A',2}$)을 계산하는 단계, (v.xliii) 상기 제7 저항값

($R_{A,2}$) 및 상기 제8 저항값($R_{A',2}$)의 제4 저항 평균($\overline{R_{AA',2}}$)을 계산하는 단계, (v.xliv) 상기 제1 저항 평균($\overline{R_{BB',1}}$), 상기 제3 저항 평균($\overline{R_{AA',1}}$), 및 제1 의사 시트 저항($R_{p,1}$)을 각각 나타내는 제4, 제5, 및 제6 파라미터를 포함하는 제2 관계식을 정의하는 단계, (v.xlv) 상기 제2 관계식에서 상기 제1 저항 평균($\overline{R_{BB',1}}$) 및 상기 제3 저항 평균($\overline{R_{AA',1}}$)을 각각 상기 제4 파라미터 및 상기 제5 파라미터로서 이용하여 상기 제1 의사 시트 저항($R_{p,1}$)을 나타내는 상기 제6 파라미터를 결정하는 단계, (v.xlvi) 상기 제2 저항 평균($\overline{R_{BB',2}}$), 상기 제4 저항 평균($\overline{R_{AA',2}}$), 및 제2 의사 시트 저항($R_{p,2}$)을 각각 나타내는 제7, 제8, 및 제9 파라미터를 포함하는 제3 관계식을 정의하는 단계, (v.xlvii) 상기 제3 관계식에서 상기 제2 저항 평균($\overline{R_{BB',2}}$) 및 상기 제4 저항 평균($\overline{R_{AA',2}}$)을 각각 상기 제7 파라미터 및 상기 제8 파라미터로서 이용하여 상기 제2 의사 시트 저항($R_{p,2}$)을 나타내는 상기 제9 파라미터를 결정하는 단계, (v.xlviii) 상기 제1 의사 시트 저항($R_{p,1}$), 상기 제2 의사 시트 저항($R_{p,2}$), 및 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 거리를 각각 나타내는 제10, 제11, 및 제12 파라미터를 포함하는 제4 관계식(g_0)을 정의하는 단계, 및 (v.xlix) 상기 제4 관계식(g_0)에서 상기 제1 및 제2 의사 시트 저항($R_{p,1}$, $R_{p,2}$)을 각각 상기 제10 및 제11 파라미터로서 이용하여 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 거리(y)의 값을 나타내는 상기 제12 파라미터를 결정하는 단계를 포함한다.

[0009]

상기 제4 관계식은 $R_{p,1}/R_{p,2}=g_0(y)$ 과 같을 수 있고, 여기서 $R_{p,1}$ 은 상기 제1 의사 시트 저항을 나타내고, $R_{p,2}$ 는 상기 제2 의사 시트 저항을 나타내고, g_0 는 상기 거리 y를 파라미터로서 포함하는 함수를 나타내고, 상기 함수 g_0 는 특정 거리에서 피크값을 정의하고, 상기 함수 g_0 는 상기 거리의 함수가 상기 특정 거리 미만일 때 증가하고 상기 거리의 함수가 상기 특정 거리 이상일 때 감소하며, 상기 방법은 (v.xlx) 본 발명의 제1 양태에 따른 상기 방법에 의해 보조 거리(auxiliary distance)를 나타내는 거리를 결정하는 단계, 및 (v.xlxi) 상기 보조 거리와 상기 특정 거리를 비교하여 상기 제4 관계식에서 상기 거리가 상기 특정 거리 미만 또는 이상인지를 판단하는

단계를 더 포함할 수 있다.

- [0010] 본 발명의 제1 및 제2 양태에 따른 방법은 상기 거리를 정확하게 결정하기 위해 상기 프로브와 상기 테스트 샘플 간에 단지 한 번의 결합(engagement)만 필요로 한다.
- [0011] 전기적 경계는 전류가 전기적으로 전도성인 표면부에서 흘러나가는 것을 막아주는 경계로 이해되어야 한다. 여기서, 관계식은 단일 수학적, 수학적들의 집합, 함수, 함수들의 집합, 또는 특정 파라미터를 포함하는 본 방법에 사용된 배치(setup)의 어떤 적절한 수학적 모델을 망라하는 것으로 의도된다. 거리를 결정하는 것은 수학적 을 푸는 것, 회귀 분석(regression analysis), 모델링되거나 조정된 파라미터와의 비교, 또는 특정 관계식에 적합한 어떤 다른 수학적 기법을 망라할 수 있다.
- [0012] 상기 멀티 포인트 프로브는 4와 같거나 그보다 큰 임의의 수의 접촉 요소를 구비할 수 있으며, 예를 들어, 상기 멀티 포인트 프로브는 12개의 접촉 요소를 구비할 수 있다. 그러나, 전체 접촉 요소 개수와 상관없이 4개의 접촉 요소가 채용된다. 상기 방법에 사용되지 않는 접촉 요소는 상기 방법에서 사용된 두 개의 접촉 요소 사이에 배치될 수 있다. 상기 멀티 포인트 프로브는 W02010115771A1, W02010000265A1, W02008110174A1, W02007051471A1, W005124371A1, 또는 W00003252A2 중 어떤 것에 기술된 프로브일 수 있다. 상기 접촉 요소는, 예를 들어, W00003252A2에 제시된 바와 같이, 프로브 몸체에서 연장되는 캔틸레버(cantilevers) 형태일 수 있다. 상기 테스트 샘플은 전기적으로 전도성인 표면부를 정의하는 도핑된 표면부 또는 얇은 금속 필름을 갖는 실리콘 웨이퍼일 수 있다. 상기 전기적 경계는 상기 전기적으로 전도성인 표면부의 물리적 경계의 일부로 정의될 수 있으며, 여기서 상기 경계 외부는 비전도성 영역이다. 대안으로, 상기 전기적 경계는 상기 전기적으로 전도성인 표면부가 상기 물리적 경계까지 연장되는 경우, 전체로서 상기 테스트 샘플의 물리적 경계의 일부로 정의될 수 있다.
- [0013] 상기 자기장은 상기 전기적으로 전도성인 표면부로부터 상기 테스트 샘플의 대향 측면에 배치된 전자석 또는 영구 자석에 의해 발생될 수 있다. 상기 제1, 제2, 제3, 및 제4 접촉 요소는 멀티플렉서에 연결될 수 있고, 이는 다시 상기 접촉 요소들 중 두 개의 양단에 전위를 발생하는 전류원, 상기 접촉 요소를 통해 전류를 측정하는 전류계, 및 상기 접촉 요소들 중 두 개의 양단의 전압을 측정하는 전압계에 연결된다. 제어 유닛은 상기 멀티플렉서에 연결되어, 상기 방법에서 특정한 바와 같이 전류를 발생 및 측정하고, 전압을 측정할 수 있도록 상기 멀티플렉서를 자동으로 제어할 수 있다.
- [0014] 아래에 기술된 특징들은 본 발명의 제1 및 제2 양태 둘 다에 이용될 수 있다.
- [0015] 상기 접촉점은 각각의 상기 접촉점과 교차하는 제1 라인을 정의할 수 있다. 상기 제1 접촉 요소, 상기 제2 접촉 요소, 상기 제3 접촉 요소, 상기 제4 접촉 요소, 및 상기 하나 이상의 추가 접촉 요소의 상기 접촉점은 상기 접촉점이 상기 테스트 샘플과 접촉하기 전에 각각의 상기 접촉점과 교차하는 제1 라인을 정의할 수 있다. 상기 제1 접촉 요소, 상기 제2 접촉 요소, 상기 제3 접촉 요소, 및 상기 제4 접촉 요소의 상기 접촉점은 상기 제1 라인을 따라 소정의 순서로 배치될 수 있다. 상기 제5 접촉 요소, 상기 제6 접촉 요소, 상기 제7 접촉 요소, 및 상기 제8 접촉 요소의 상기 접촉점은 상기 제1 라인 상에 및/또는 상기 제1 라인을 따라 소정의 순서로 배치될 수 있다.
- [0016] 상기 제1 및 제2 접촉 요소, 상기 제2 및 제3 접촉 요소, 및 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 간격은 대략 제1 간격 값(s_1)과 같을 수 있다. 상기 제5 및 제6 접촉 요소, 상기 제6 및 제7 접촉 요소, 및 상기 제7 및 제8 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 간격은 대략 제2 간격 값(s_2)과 같을 수 있다.
- [0017] 상기 단계 (i.xii) 내지 (i.xx)를 대체하는 대안예에서, 상기 제1 관계식은 $\Delta R_{BB'}/\Delta R_{BB',2}=f_D(y, s_1, s_2)$ 와 같을 수 있고, 여기서 $\Delta R_{BB'}$ 는 상기 제1 저항차를 나타내고, $\Delta R_{BB',2}$ 는 상기 제2 저항차를 나타내며, f_D 는 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 거리 y , 상기 제1 간격 값 s_1 , 및 상기 제2 간격 값 s_2 를 포함하는 함수이다.
- [0018] 상기 제1 관계식 $\Delta R_{BB'}/\Delta R_{BB',2}=f_D(y, s_1, s_2)$ 에서 상기 함수 $f_D(y, s_1, s_2)$ 는 $(3 \cdot \arctan(s_1/2y) - \arctan(3s_1/2y)) / (3 \cdot \arctan(s_2/2y) - \arctan(3s_2/2y))$ 와 같을 수 있다.
- [0019] 상기 제2 관계식은 $\frac{\exp(2\pi \cdot \overline{R_{AA',1}}/R_{P,1}) - \exp(2\pi \cdot \overline{R_{BB',1}}/R_{P,1})}{\exp(2\pi \cdot \overline{R_{AA',1}}/R_{P,1}) - \exp(2\pi \cdot \overline{R_{BB',1}}/R_{P,1})} = 1$ 과 같을 수 있고, 여기서 $R_{P,1}$ 는 상기 제1 의사

시트 저항이고, $\overline{R_{BB',1}}$ 는 상기 제1 저항 평균이고, $\overline{R_{AA',1}}$ 은 상기 제3 저항 평균이며, 상기 제3 관계식은 $\exp(2\pi \cdot \overline{R_{AA',2}}/R_{P,2}) - \exp(2\pi \cdot \overline{R_{BB',2}}/R_{P,2}) = 1$ 과 같을 수 있고, 여기서 $R_{P,2}$ 는 상기 제2 의사 시트 저항이고, $\overline{R_{BB',2}}$ 는 상기 제2 저항 평균이며, $\overline{R_{AA',2}}$ 는 상기 제4 저항 평균이다.

[0020] 상기 접촉점은 각각의 상기 접촉점과 교차하는 제1 라인을 정의할 수 있고, 즉, 상기 접촉점들은 공통 라인 상에 있다.

[0021] 상기 단계 (iii.xlix)를 포함하는 대안예에서, 상기 제4 관계식은 $R_{P,1}/R_{P,2}=g_D(y, s_1, s_2)$ 와 같을 수 있고, 여기서 $R_{P,1}$ 는 상기 제1 의사 시트 저항을 나타내고, $R_{P,2}$ 는 상기 제2 의사 시트 저항을 나타내며, g_D 는 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 거리 y , 상기 제1 간격 값 s_1 , 및 상기 제2 간격 값 s_2 를 포함하는 함수를 나타낸다.

[0022] 상기 단계 (iii.xlix)를 대체하는 대안예에서, 상기 제1 관계식은 $\Delta R_{BB'}/\Delta R_{BB',2}=f_D(y, y_2, s_1, s_2)$ 와 같을 수 있고, 여기서 $\Delta R_{BB'}$ 는 상기 제1 저항차를 나타내고, $\Delta R_{BB',2}$ 는 상기 제2 저항차를 나타내며, f_D 는 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리 y 와 상기 추가 거리 y_2 , 상기 제1 간격 값 s_1 , 및 상기 제2 간격 값 s_2 를 포함하는 함수이다.

[0023] 상기 제1 관계식 $\Delta R_{BB'}/\Delta R_{BB',2}=f_D(y, y_2, s_1, s_2)$ 에서 상기 함수 $f_D(y, y_2, s_1, s_2)$ 는 $(3 \cdot \arctan(s_1/2y) - \arctan(3s_1/2y)) / (3 \cdot \arctan(s_2/2y_2) - \arctan(3s_2/2y_2))$ 와 같을 수 있다.

[0024] 상기 단계 (iii.xlix)를 대체하는 대안예에서, 상기 제4 관계식은 $R_{P,1}/R_{P,2}=g_D(y, y_2, s_1, s_2)$ 와 같을 수 있고, 여기서 $R_{P,1}$ 는 상기 제1 의사 시트 저항을 나타내고, $R_{P,2}$ 는 상기 제2 의사 시트 저항을 나타내며, g_D 는 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리 y 와 상기 추가 거리 y_2 , 상기 제1 간격 값 s_1 , 및 상기 제2 간격 값 s_2 를 포함하는 함수를 나타낸다.

[0025] 상기 전기적 경계는 대략 선형 부분을 가질 수 있고 상기 제1 위치와 상기 선형 부분 상의 한 점 간의 거리는 상기 제1 위치와 상기 선형 부분 외부의 상기 전기적 경계 상의 어떤 점 간의 거리보다 더 짧을 수 있다. 이는 상기 제1 위치부터 상기 전기적 경계까지의 최단 거리가 상기 선형 부분 상의 한 점까지임을 의미한다.

[0026] 상기 방법은 (vi.i) 상기 멀티 포인트 프로브를 상기 선형 부분과 평행한 관계를 갖고 상기 제1 라인에 위치하도록 배향시키는 단계를 더 포함할 수 있다. 상기 제1 및 제2 접촉 요소, 상기 제2 및 제3 접촉 요소, 및 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 간격은 대략 같을 수 있다.

[0027] 상기 단계 (i.xii) 내지 (i.xx)를 포함하는 대안예에서, 상기 제1 관계식은 $\Delta R_{CC'}/\Delta R_{BB'}=f(y, s)$ 와 같을 수 있고, 여기서 $\Delta R_{BB'}$ 는 상기 제1 저항차를 나타내고, $\Delta R_{CC'}$ 는 상기 제2 저항차를 나타내며, f 는 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리 y 및 상기 접촉점들 간의 상기 간격 s 을 파라미터로서 포함하는 함수이다.

[0028] 상기 관계식 $\Delta R_{CC'}/\Delta R_{BB'}=f(y, s)$ 에서 상기 제1 저항차 $\Delta R_{BB'}$ 는 $\Delta R_{BB'} = 2R_H/\pi \cdot (\arctan(a/2y) + \arctan(b/2y) + \arctan(c/2y) - \arctan((a+b+c)/2y))$ 와 같을 수 있고, 여기서 $\Delta R_{BB'}$ 는 상기 추가적인 제1 저항차($\Delta R_{BB'}$)를 나타내고, y 는 상기 거리(y)를 나타내고, a 는 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, b 는 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, c 는 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내며, 상기 관계식 $\Delta R_{CC'}/\Delta R_{BB'}=f(y, s)$ 에서 상기 제2 저항차 $\Delta R_{CC'}$ 는 $\Delta R_{CC'} = 2R_H/\pi \cdot (\arctan((a+b+c)/2y) + \arctan(b/2y) - \arctan((a+b)/2y) - \arctan((b+c)/2y))$ 와 같을 수 있고, 여기서 $\Delta R_{CC'}$ 는 상기 추가적인 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)를 나타내고, y 는 상기 거리(y)를 나타내고, a 는 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, b 는 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내며, c 는 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타낸다.

[0029] 본 발명의 일 양태의 상기 단계 (i.xii) 내지 (i.xx)를 포함하는 대안예에서, 상기 방법은 (i.xxiii) 상기 제1

및 제4 접촉 요소 양단에 제5 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제5 전류를 발생시키는 단계, (i.xxiv) 상기 제1 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 제5 전류를 측정하는 단계, (i.xxv) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단의 제5 전압을 측정하는 단계, (i.xxvi) 상기 제5 전류 및 상기 제5 전압에 기초하여 제5 저항값(R_A)을 계산하는 단계, (i.xxvii) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단에 제6 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제6 전류를 발생시키는 단계, (i.xxviii) 상기 제2 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 제6 전류를 측정하는 단계, (i.xxix) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단의 제6 전압을 측정하는 단계, (i.xxx) 상기 제6 전류 및 상기 제6 전압에 기초하여 제6 저항값(R_A)을 계산하는 단계, (i.xxxi) 상기 제5 저항값과 상기 제6 저항값 간의 차에 기초하여 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)을 계산하는 단계, (i.xxxii) 상기 제1 관계식(f)을 정의할 때, 상기 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)를 나타내는 제4 파라미터를 상기 제1 관계식(f)에 더 포함시키는 단계, 및 (i.xxxiii) 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리(y)를 결정할 때, 상기 제1 관계식에서 제1 및 제2 파라미터로서 각각 이용될 수 있는 상기 제1 및 상기 제2 저항차($\Delta R_{BB'}$, $\Delta R_{CC'}$) 외에 상기 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)를 상기 제4 파라미터로서 이용하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0030] 이는 비등거리(non-equidistant) 접촉점을 갖는 비대칭적 프로브를 이용하여 상기 거리 y를 정확하게 측정하게 해준다.

[0031] 상기 접촉점들은 일렬로 배치될 수 있고, 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격 및 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격은 대략 같을 수 있다. 상기 접촉점들은 일렬로 배치될 수 있고, 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격은 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 간격과 다를 수 있다. 모의실험에서, 접촉 프로브들의 이러한 특정 상대적 간격은 상기 전기적 경계까지의 거리를 정확하게 결정하게 해준다는 것을 알았다.

[0032] 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격은 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격보다 범위 1.1-3.7, 1.2-3.3, 1.3-2.9, 1.4-2.5, 1.5-2.1, 및 1.6-1.7 중 하나 이상, 및/또는 범위 1.2-1.3, 1.3-1.4, 1.4-1.5, 1.5-1.6, 1.6-1.7, 1.7-1.8, 1.8-1.9, 1.9-2.0, 2.0-2.2, 2.2-2.4, 2.4-2.6, 2.6-2.8, 2.8-3.0, 3.0-3.3, 3.3-3.6, 3.6-3.9 중 하나 내의 팩터(factor), 및/또는 대략 5를 3으로 나눈 것, 또는 범위 1.2-3.8, 1.6-3.4, 1.8-3.2, 2.0-3.0, 2.2-2.8, 및 2.4-2.6 중 하나 이상, 및/또는 범위 1.2-1.3, 1.3-1.4, 1.4-1.5, 1.5-1.6, 1.6-1.7, 1.7-1.8, 1.8-1.9, 1.9-2.0, 2.0-2.2, 2.2-2.4, 2.4-2.6, 2.6-2.8, 2.8-3.0, 3.0-3.3, 3.3-3.6, 3.6-3.9 중 하나 내의 팩터, 및/또는 대략 5를 2로 나눈 것만큼 클 수 있다. 모의실험에서, 이러한 특정 관계식은 상기 전기적 경계까지의 거리를 정확하게 결정하게 해준다는 것을 알았다.

[0033] 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격은 범위 1-5 μ m, 5-10 μ m, 10-15 μ m, 15-20 μ m, 20-25 μ m, 25-30 μ m, 30-40 μ m, 40-50 μ m, 50-500 μ m 중 하나, 및/또는 범위 1-50 μ m, 5-40 μ m, 10-30 μ m, 15-25 μ m 중 하나 이상 내에 있을 수 있다.

[0034] 상기 제1 관계식은 $(\Delta R_{AA'} + \alpha \Delta R_{CC'}) / \Delta R_{BB'} = f(y, a, b, c)$ 와 같을 수 있고, 여기서 $\Delta R_{BB'}$ 는 상기 제1 저항차이고, $\Delta R_{CC'}$ 는 상기 제2 저항차이고, $\Delta R_{AA'}$ 는 상기 제3 저항차이고, α 는 -10부터 10까지 범위 내에 있는 튜닝 팩터(tuning factor)이고, f는 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 거리 y를 포함하는 함수이고, a는 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, b는 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내며, c는 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타낸다.

[0035] 상기 튜닝 팩터 α 는 대략 1 또는 대략 -1일 수 있다.

[0036] 상기 관계식 $(\Delta R_{AA'} + \alpha \Delta R_{CC'}) / \Delta R_{BB'} = f(y, a, b, c)$ 에서 상기 제1 저항차 $\Delta R_{BB'}$ 는 $\Delta R_{BB'} = 2R_H / \pi * (\arctan(a/2y) + \arctan(b/2y) + \arctan(c/2y) - \arctan((a+b+c)/2y))$ 와 같을 수 있고, 여기서 $\Delta R_{BB'}$ 는 상기 추가적인 제1 저항차($\Delta R_{AA'}$)를 나타내고, y는 상기 거리(y)를 나타내고, a는 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, b는 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, c는 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내며, 상기 관계식 $(\Delta R_{AA'} + \alpha \Delta R_{CC'}) / \Delta R_{BB'} = f(y, a, b, c)$ 에서 상기 제2 저항차 $\Delta R_{CC'}$ 는 $\Delta R_{CC'} = 2R_H / \pi * (\arctan((a+b+c)/2y) + \arctan(b/2y) - \arctan((a+b)/2y) - \arctan((b+c)/2y))$ 와 같을 수 있고, 여기서 $\Delta R_{CC'}$ 는 상기 추가적인 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)를 나타내고, y는 상기 거리(y)를 나타내고, a는

상기 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, b는 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, c는 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내며, 상기 관계식 ($\Delta R_{AA'} + a \Delta R_{CC'}$)/ $\Delta R_{BB'}$ = f(y, a, b, c)에서 상기 제3 저항차 $\Delta R_{AA'}$ 는

$\Delta R_{AA'} = 2R_H/\pi^*(\arctan((a+b)/2y) - \arctan(a/2y) - \arctan((b+c)/2y) + \arctan(c/2y))$ 와 같을 수 있고, 여기서 $\Delta R_{AA'}$ 는 상기 추가적인 제3 저항차 ($\Delta R_{AA'}$)를 나타내고, y는 상기 거리(y)를 나타내고, a는 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, b는 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내며, c는 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 상기 간격을 나타낸다. 이러한 특정 모델링은 광범위한 측정 조건에 대해 정확한 결과를 낳는다는 것을 알았다.

[0037] 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격은 범위 0.1-100 μ m, 1-90 μ m, 10-80 μ m, 20-70 μ m, 30-60 μ m, 및 40-50 μ m 중 하나 이상, 및/또는 범위 0.1-1 μ m, 1-10 μ m, 10-20 μ m, 20-30 μ m, 30-40 μ m, 40-50 μ m, 50-60 μ m, 60-70 μ m, 70-80 μ m, 80-90 μ m, 90-100 μ m, 또는 100-500 μ m 중 하나 내에 있을 수 있다.

[0038] 본 발명의 목적은 본 발명의 제3 양태에 따른 테스트 샘플의 전기적으로 전도성인 표면부 상의 제1 위치에서 전기적 특성을 결정하는 방법에 의해 성취되며, 상기 전기적으로 전도성인 표면부는 전기적 경계를 가지며, 상기 방법은 (a) 특정 1 내지 특정 32 중 어느 한 특징에 따른 상기 테스트 샘플의 상기 전기적으로 전도성인 표면부 상의 상기 제1 위치와 상기 전기적으로 전도성인 표면부의 상기 전기적 경계 간의 거리(y)를 결정하는 단계, (b) 상기 전기적 특성 및 상기 거리(y)를 나타내는 제15 파라미터를 포함하는 제5 관계식을 정의하는 단계, 및 (c) 상기 제5 관계식에서 상기 거리(y)를 상기 제15 파라미터로서 이용하여 상기 전기적 특성을 결정하는 단계를 포함하고, 또는 대안으로 상기 방법은 (a) 특정 2 내지 특정 32 중 어느 한 특징에 따른 상기 테스트 샘플의 상기 전기적으로 전도성인 표면부 상의 상기 제1 위치와 상기 전기적으로 전도성인 표면부의 상기 전기적 경계 간의 추가 거리(y_2)를 결정하는 단계, (b) 상기 전기적 특성 및 상기 추가 거리(y_2)를 나타내는 제15 파라미터를 포함하는 제5 관계식을 정의하는 단계, 및 (c) 상기 제5 관계식에서 상기 추가 거리(y_2)를 상기 제15 파라미터로서 이용하여 상기 전기적 특성을 결정하는 단계를 포함한다.

[0039] 본 방법에 따르면, 상기 전기적 특성을 정확하게 결정하기 위해 상기 프로브와 상기 테스트 샘플 간에 단지 한 번의 결합만 필요하다.

[0040] 전기적 경계는 전류가 전기적으로 전도성인 표면부에서 흘러나가는 것을 막아주는 경계로 이해되어야 한다. 여기서, 관계식은 단일 수학적 식, 수학적식의 집합, 함수, 함수들의 집합, 또는 특정 파라미터를 포함하는 본 방법에 사용된 배치의 어떤 적절한 수학적 모델을 망라하는 것으로 의도된다. 전술한 전기적 특성을 결정하는 것은 수학적식을 푸는 것, 회귀 분석, 모델링되거나 조정된 파라미터와의 비교, 또는 특정 관계식에 적합한 어떤 다른 수학적 기법을 망라할 수 있다.

[0041] 상기 제5 관계식은 상기 제1 접촉 요소, 상기 제2 접촉 요소, 상기 제3 접촉 요소, 및/또는 상기 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 상기 간격을 더 포함할 수 있고, (b') 상기 제5 관계식을 정의할 때, 상기 제5 관계식은 상기 제1 접촉 요소, 상기 제2 접촉 요소, 상기 제3 접촉 요소, 및/또는 상기 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내는 제16 파라미터를 더 포함할 수 있고, (c') 상기 전기적 특성을 결정할 때, 상기 간격은 상기 제5 관계식에서 상기 거리(y) 또는 상기 추가 거리(y_2) 외에 상기 제16 파라미터로 사용될 수 있다.

[0042] 상기 전기적 특성은 홀 시트(Hall sheet) 저항(R_H)일 수 있고, 상기 제5 관계식(f_1, f_2)은 추가적인 제1 저항차 ($\Delta R_{BB'}$)를 나타내는 제17 파라미터를 더 포함할 수 있으며, 상기 방법은 (d) 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단에 추가적인 제1 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제1 전류를 발생시키는 단계, (e) 상기 제1 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제1 전류를 측정하는 단계, (f) 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단의 추가적인 제1 전압을 측정하는 단계, (g) 상기 추가적인 제1 전류 및 상기 추가적인 제1 전압에 기초하여 추가적인 제1 저항값(R_B)을 계산하는 단계, 또는 (g') 상기 거리를 추가적인 제1 저항값(R_B)으로 결정하는 단계로부터 상기 제1 저항값(R_B)을 보유하는 단계, 및 (h) 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단에 추가적인 제2 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제2 전류를 발생시키는 단계, (i) 상기 제2 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제2 전류를 측정하는 단계, (j) 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단의 추가적인 제2 전압을 측정하는 단계, 및 (k) 상기 추가적인 제2 전류 및 상기 추가적인 제2 전압에 기초하여

추가적인 제2 저항값($R_{B'}$)을 계산하는 단계, 또는 (k') 상기 거리를 추가적인 제2 저항값($R_{B'}$)으로 결정하는 단계로부터 상기 제2 저항값($R_{B'}$)을 보유하는 단계, 및 (1) 상기 추가적인 제1 저항값과 상기 추가적인 제2 저항값 간의 차에 기초하여 상기 추가적인 제1 저항차($\Delta R_{BB'}$)를 계산하는 단계, 또는 (1') 상기 거리를 상기 추가적인 제1 저항차($\Delta R_{BB'}$)로 결정하는 단계로부터 상기 제1 저항차($R_{BB'}$)를 보유하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0043] 상기 제5 관계식은 $\Delta R_{BB'} = 2R_H/\pi^*(\arctan(a/2y) + \arctan(b/2y) + \arctan(c/2y) - \arctan((a+b+c)/2y))$ 와 같을 수 있고, 여기서 $\Delta R_{BB'}$ 는 상기 추가적인 제1 저항차($\Delta R_{BB'}$)를 나타내고, y 는 상기 거리(y) 또는 추가 거리(y_1)를 나타내고, a 는 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, b 는 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내며, c 는 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타낸다.

[0044] 상기 전기적 특성은 홀 시트 저항(R_H)일 수 있고, 상기 제5 관계식(f_2, f_3)은 추가적인 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)를 나타내는 제17 파라미터를 더 포함할 수 있으며, 상기 방법은 (d) 상기 제1 및 제2 접촉 요소 양단에 추가적인 제3 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제3 전류를 발생시키는 단계, (e) 상기 제1 또는 상기 제2 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제3 전류를 측정하는 단계, (f) 상기 제3 및 제4 접촉 요소 양단의 추가적인 제3 전압을 측정하는 단계, 및 (g) 상기 추가적인 제3 전류 및 상기 추가적인 제3 전압에 기초하여 추가적인 제3 저항값(R_C)을 계산하는 단계, 또는 상기 단계 (i.xii) 내지 (i.xx)를 포함하는 대안예에서는, (g') 상기 거리를 추가적인 제3 저항값(R_C)으로 결정하는 단계로부터 상기 제3 저항값(R_C)을 보유하는 단계, 및 (h) 상기 제3 및 제4 접촉 요소 양단에 추가적인 제4 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제4 전류를 발생시키는 단계, (i) 상기 제3 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제4 전류를 측정하는 단계, (j) 상기 제1 및 제2 접촉 요소 양단의 추가적인 제4 전압을 측정하는 단계, 및 (k) 상기 추가적인 제4 전류 및 상기 추가적인 제4 전압에 기초하여 추가적인 제4 저항값($R_{C'}$)을 계산하는 단계, 또는 상기 단계 (i.xii) 내지 (i.xx)를 포함하는 대안예에서는, (k') 상기 거리를 추가적인 제4 저항값($R_{C'}$)으로 결정하는 단계로부터 상기 제4 저항값($R_{C'}$)을 보유하는 단계, 및 (1) 상기 추가적인 제3 저항값과 상기 추가적인 제4 저항값 간의 차에 기초하여 상기 추가적인 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)를 계산하는 단계, 또는 상기 단계 (i.xii) 내지 (i.xx)를 포함하는 대안예에서는, (1') 상기 거리를 상기 추가적인 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)로 결정하는 단계로부터 상기 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)를 보유하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0045] 상기 제5 관계식은 $\Delta R_{CC'} = 2R_H/\pi^*(\arctan((a+b+c)/2y) + \arctan(b/2y) - \arctan((a+b)/2y) - \arctan((b+c)/2y))$ 와 같을 수 있고, 여기서 $\Delta R_{CC'}$ 는 상기 추가적인 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)를 나타내고, y 는 상기 거리(y) 또는 추가 거리(y_1)를 나타내고, a 는 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, b 는 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, c 는 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 상기 간격을 나타낸다.

[0046] 상기 전기적 특성은 홀 시트 저항(R_H)일 수 있고, 상기 제5 관계식(f_1)은 추가적인 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)를 나타내는 제17 파라미터를 더 포함할 수 있으며, 상기 방법은 (d) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단에 추가적인 제5 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제5 전류를 발생시키는 단계, (e) 상기 제1 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제5 전류를 측정하는 단계, (f) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단의 추가적인 제5 전압을 측정하는 단계, 및 (g) 상기 추가적인 제5 전류 및 상기 추가적인 제5 전압에 기초하여 추가적인 제5 저항값(R_A)을 계산하는 단계, 또는 (g') 상기 거리를 추가적인 제5 저항값(R_A)으로 결정하는 단계로부터 상기 제5 저항값(R_A)을 보유하는 단계, 및 (h) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단에 추가적인 제6 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제6 전류를 발생시키는 단계, (i) 상기 제2 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제6 전류를 측정하는 단계, (j) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단의 추가적인 제6 전압을 측정하는 단계, 및 (k) 상기 추가적인 제6 전류 및 상기 추가적인 제6 전압에 기초하여 추가적인 제6 저항값($R_{A'}$)을 계산하는 단계, 또는 (k') 상기 거리를 추가적인 제5 저항값($R_{A'}$)으로 결정하는 단계로부터 상기 제6 저항값($R_{A'}$)을 보유하는 단계, 및 (1) 상기 추가적인 제5 저항값과 상기 추가적인 제6 저항값 간의 차에 기초하여 상기 추가적인 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)를 계산하는 단계, 또는 (1') 상기 거리를 상기 추가적인 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)로 결정하는 단계로부터 상기 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)를 보유하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0047] 상기 제5 관계식은 $\Delta R_{AA'} = 2R_H/\pi(\arctan((a+b)/2y) - \arctan(a/2y) - \arctan((b+c)/2y) + \arctan(c/2y))$ 와 같을 수 있고, 여기서 $\Delta R_{AA'}$ 는 상기 추가적인 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)를 나타내고, y는 상기 거리(y) 또는 추가 거리(y_1)를 나타내고, a는 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, b는 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내며, c는 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타낸다.

[0048] 상기 전기적 특성은 시트 저항(sheet resistance)(R_0)일 수 있고, 상기 제5 관계식(g)은 의사 시트 저항(R_P)를 나타내는 제17 파라미터를 더 포함할 수 있으며, 상기 방법은 (d) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단에 추가적인 제5 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제5 전류를 발생시키는 단계, (e) 상기 제1 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제5 전류를 측정하는 단계, (f) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단의 추가적인 제5 전압을 측정하는 단계, (g) 상기 추가적인 제5 전류 및 상기 추가적인 제5 전압에 기초하여 추가적인 제5 저항값(R_A)을 계산하는 단계, 또는 (g') 상기 거리를 추가적인 제5 저항값(R_A)으로 결정하는 단계로부터 상기 제5 저항값(R_A)을 보유하는 단계, 및 (h) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단에 추가적인 제6 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제6 전류를 발생시키는 단계, (i) 상기 제2 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제6 전류를 측정하는 단계, (j) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단의 추가적인 제6 전압을 측정하는 단계, 및 (k) 상기 추가적인 제6 전류 및 상기 추가적인 제6 전압에 기초하여 추가적인 제6 저항값($R_{A'}$)을 계산하는 단계, 또는 (k') 상기 거리를 추가적인 제5 저항값($R_{A'}$)으로 결정하는 단계로부터 상기 제6 저항값($R_{A'}$)을 보유하는 단계, 및 (l) 상기 추가적인 제5 저항값(R_A) 및 상기 추가적인 제6 저항

값($R_{A'}$)의 제5 저항 평균($\overline{R_{AA'}}$)을 계산하는 단계, 및 (d'') 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단에 추가적인 제1 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제1 전류를 발생시키는 단계, (e'') 상기 제1 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제1 전류를 측정하는 단계, (f'') 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단의 추가적인 제1 전압을 측정하는 단계, (g'') 상기 추가적인 제1 전류 및 상기 추가적인 제1 전압에 기초하여 추가적인 제1 저항값(R_B)을 계산하는 단계, 또는 (g''') 상기 거리를 추가적인 제1 저항값(R_B)으로 결정하는 단계로부터 상기 제1 저항값(R_B)을 보유하는 단계, 및 (h'') 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단에 추가적인 제2 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제2 전류를 발생시키는 단계, (i'') 상기 제2 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제2 전류를 측정하는 단계, (j'') 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단의 추가적인 제2 전압을 측정하는 단계, (k'') 상기 추가적인 제2 전류 및 상기 추가적인 제2 전압에 기초하여 추가적인 제2 저항값($R_{B'}$)을 계산하는 단계, 또는 (k''') 상기 거리를 추가적인 제2 저항값($R_{B'}$)으로 결정하는 단계로부터 상기 제2 저항값($R_{B'}$)을 보유하는 단계, 및 (l') 상기 추가적인 제1 저항값(R_B) 및 상기 추가적인 제2 저항

값($R_{B'}$)의 제6 저항 평균($\overline{R_{BB'}}$)을 계산하는 단계, 및 (m) 상기 제5 저항 평균($\overline{R_{AA'}}$), 상기 제6 저항 평균($\overline{R_{BB'}}$), 및 상기 의사 시트 저항(R_P)을 각각 나타내는 제18, 제19, 및 제20 파라미터를 포함하는 제6 관계식을 정의하는 단계, (n) 상기 제6 관계식에서 상기 제5 저항 평균($\overline{R_{AA'}}$) 및 상기 제6 저항 평균($\overline{R_{BB'}}$)을 각각 상기 제18 파라미터 및 상기 제19 파라미터로서 이용하여 상기 의사 시트 저항(R_P)을 결정하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0049] 상기 제6 관계식은 $\exp(2\pi \cdot \overline{R_{AA'}}/R_P) - \exp(2\pi \cdot \overline{R_{BB'}}/R_P) = 1$ 과 같을 수 있고, 여기서 R_P 는 상기 의사 시트 저항이고, $\overline{R_{AA'}}$ 는 상기 제1 저항 평균이고, $\overline{R_{BB'}}$ 는 상기 제2 저항 평균이다.

[0050] 홀 시트 캐리어 밀도 N_{HS} 는 $N_{HS}=B/(ZeR_H)$ 로 계산될 수 있고, 여기서 B는 전기적으로 전도성인 표면부에 수직인 자기장 성분이고, Ze는 캐리어 전하($Z=\pm 1$)이며, R_H 는 홀 시트 저항이다. 평균 홀 캐리어 이동도 μ_H 는 $\mu_H=(ZR_H)/(R_0B)$ 로 계산될 수 있고, 여기서 Z는 캐리어 전하의 형태에 따라 ± 1 이고, R_H 는 홀 시트 저항이고, R_0 는 시트 저항이며, B는 전기적으로 전도성인 표면부에 수직인 자기장 성분이다. 만일 자기장이 전자석에 의해 발

생된다면, 상기 자기장 성분 B는 전자석을 통과하는 전류로부터 이론적으로 계산될 수 있다. 만일 자기장이 영구 자석에 의해 발생된다면, 상기 자기장 성분 B는 적절한 조정에 의해 사전 결정될 수 있다.

[0051] 본 발명의 목적은 본 발명의 제4 양태에 따른 테스트 샘플의 전기적으로 전도성인 표면부 상의 제1 위치와 상기 전기적으로 전도성인 표면부의 전기적 경계 간의 거리를 결정하는 장치에 의해 성취되며, 상기 장치는 제1 접촉 요소, 제2 접촉 요소, 제3 접촉 요소, 및 제4 접촉 요소를 포함하는 멀티 포인트 프로브 - 각 접촉 요소는 상기 테스트 샘플과의 전기적 접촉을 확립하기 위한 접촉점을 정의하고, 또는 멀티 포인트 프로브는 복수의 접촉 요소를 포함함 -, 및 본 발명의 제1 또는 제2 양태에 따른 상기 거리를 결정하는 방법을 수행하도록 구성된 제어 유닛을 포함한다.

[0052] 본 발명의 목적은 본 발명의 제5 양태에 따른 테스트 샘플의 전기적으로 전도성인 표면부 상의 제1 위치에서 전기적 특성을 결정하는 장치에 의해 성취되며, 상기 장치는 제1 접촉 요소, 제2 접촉 요소, 제3 접촉 요소, 및 제4 접촉 요소를 포함하는 멀티 포인트 프로브 - 각 접촉 요소는 상기 테스트 샘플과의 전기적 접촉을 확립하기 위한 접촉점을 정의하고, 또는 멀티 포인트 프로브는 복수의 접촉 요소를 포함함 -, 및 본 발명의 제3 양태에 따른 상기 테스트 샘플의 전기적으로 전도성인 표면부 상의 제1 위치에서 전기적 특성을 결정하는 방법을 수행하도록 구성된 제어 유닛을 포함한다.

도면의 간단한 설명

[0053] 본 발명의 여러 양태에 대한 많은 실시예가 아래에서 기술된다.

도 1은 테스트 샘플의 전기적으로 전도성인 표면부와 접촉하는 4 포인트 프로브를 예시한다.

도 2a는 바람직한 실시예에서 프로브의 접촉 요소들의 접촉점들 사이의 등거리 간격을 예시한다.

도 2b는 대안의 실시예에서 프로브의 접촉 요소들의 접촉점들 사이의 비대칭 간격을 예시한다.

도 2c는 또 다른 대안의 실시예에서 프로브의 접촉 요소들의 접촉점들 사이의 비대칭 간격을 예시한다.

도 3a의 (1)-(2)는 대안의 실시예에 따른 접촉 요소의 전류원 및 전압 측정 구성을 예시한다.

도 3b의 (1)-(2) 및 도 3c의 (1)-(2)는 바람직한 실시예에 따른 접촉 요소의 전류원 및 전압 측정 구성을 예시한다.

도 4a-c는 바람직한 실시예에 따른 전기적 경계까지의 거리, 홀 시트 저항, 및 시트 저항을 결정하는 관계식을 예시한다.

도 5a-5c는 대안의 실시예에 따른 전기적 경계까지의 거리, 홀 시트 저항, 및 시트 저항을 결정하는 관계식을 예시한다.

도 6은 테스트 샘플의 전기적으로 전도성인 표면부와 접촉하는 대안의 실시예에 따른 7 포인트 프로브를 예시한다.

도 7a는 테스트 샘플과 접촉하는 접촉점의 위치를 예시한다.

도 7b는 테스트 샘플과 대안으로 접촉하는 접촉점의 위치를 예시한다.

도 8a의 (1)-(4)는 도 6과 관련하여 기술된 프로브의 접촉 요소의 전류원 및 전압 측정 구성을 예시한다.

도 8b의 (1)-(4)는 도 6과 관련하여 기술된 프로브의 접촉 요소의 추가 전류원 및 전압 측정 구성을 예시한다.

도 9는 도 6의 프로브와 관련하여 기술된 대안의 실시예에 따른 전기적 경계까지의 거리를 결정하는 관계식을 예시한다.

도 10은 도 6의 프로브와 관련하여 기술된 대안의 실시예에 따른 전기적 경계까지의 거리를 결정하는 추가 관계식을 예시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0054] 도 1은 테스트 샘플(test sample)(30)과 접촉하는 멀티 포인트 프로브(multi-point probe)(36)를 예시한다. 테스트 샘플(30)은 전기적으로 전도성(electrically conducting)인 표면부(32) 및 테스트 샘플(30)의 상부 표면에 해당하는 표면부(32)와 테스트 샘플(30)의 측면(33) 사이의 가장자리(edge)에 의해 물리적으로 정의된 경

계(34)를 갖는다. 측면(33)은 전기적으로 전도성이 아니므로 경계는 전류가 전기적으로 전도성인 표면부(32)에서 흘러나가는 것을 막아주는 전기적 경계이다.

[0055] 멀티 포인트 프로브(36)는 프로브 몸체(18)를 구비하며 그 프로브 몸체에서 제1 접촉 요소(contact element)(10), 제2 접촉 요소(12), 제3 접촉 요소(14), 및 제4 접촉 요소(16)가 연장된다. 각각의 접촉 요소(10-16)는 일단이 프로브 몸체에 연결되고 타단이 접촉점(20-26)을 정의하는 캔틸레버(cantilever)이다. 도 1의 구조의 접촉점(20-26)은 전기적으로 전도성인 표면부(32)와 접촉한다. 접촉 요소(10-16)는 전기적으로 전도성이다. 따라서, 전류는 각각의 접촉 요소를 통하여 전기적으로 전도성인 표면부(32)로 통과할 수 있다. 일정한 자기장(magnetic field) B가 전기적으로 전도성인 표면부(32)에 수직인 자기장 성분(field component)(38)을 갖도록 테스트 샘플(30)로 인가된다.

[0056] 접촉 요소(10-16)의 접촉점(20-26)은 모두 도 2a-c에 도시된 바와 같이 공통 라인(40) 상에 놓인다. 전기적 경계(34)는 선형 부분(42)을 갖고 있으며 접촉 요소(10-16)는 공통 라인(40)이 선형 부분(42)에 평행하도록 배향된다. 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들(20-22) 간의 거리 또는 간격은 a로 표시되고, 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들(22-24) 간의 거리 또는 간격은 b로 표시되며, 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들(24-26) 간의 거리 또는 간격은 c로 표시된다. 공통 라인(40)과 선형 부분(42) 간의 거리 또는 간격은 y로 표시된다. 도 2a에 도시된 바람직한 실시예에서, 접촉 요소들의 접촉점들(20-26) 간의 거리 a-c는 대략 $21\mu\text{m}$ 이다. 도 2b에 도시된 대안의 실시예에서, 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들(20'-22') 간의 거리 a는 대략 $21\mu\text{m}$ 이고, 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들(22'-24') 간의 거리 b는 대략 $21\mu\text{m}$ 이며, 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들(24'-26') 간의 거리 c는 대략 $35\mu\text{m}$ 이다. 도 2c에 도시된 또 다른 대안의 실시예에서, 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들(20"-22") 간의 거리 a는 대략 $14\mu\text{m}$ 이고, 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들(22"-24") 간의 거리 b는 대략 $14\mu\text{m}$ 이며, 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들(24"-26") 간의 거리 c는 대략 $35\mu\text{m}$ 이다.

[0057] 도 2a의 바람직한 실시예와 관련하여 기술된 테스트 샘플과 도 2b의 대안의 실시예와 관련하여 기술된 테스트 샘플은 동일하다. 이들 실시예에서, 전기적 경계(34)는 도 1과 관련하여 기술된 바와 같이 정의된다. 도 2c와 관련하여 기술된 대안의 실시예에서, 전기적 경계(34')는 전기적으로 전도성인 표면부(32')와 테스트 샘플의 상부 표면 상의 전기적으로 비전도성(electrically non-conducting)인 표면부(44) 간의 전이부(transition)로 정의되며, 이는 두 표면부(34', 44)가 본질적으로 평행임을 의미한다.

[0058] 전기적으로 전도성인 표면부의 여러 전기적 특성이 결정될 수 있다. 바람직한 실시예에서, 홀 시트 저항(Hall sheet resistance) 및 시트 저항(sheet resistance)은 도 2a에 도시된 바와 같은 접촉점을 갖는 4 포인트 프로브를 이용하여 측정된다.

[0059] 접촉점(20-26)의 위치 결정은 전기적 경계(34)로부터 거리 y에 있는 전기적으로 전도성인 표면부(32) 상의 제1 위치를 정의한다. 도 3b의 (1)에 도시된 바와 같이, 전류 I가 제1 접촉 요소(10)를 통해 표면부에 주입되고, 그 전류의 적어도 일부가 제3 접촉 요소(14)를 통해 드레인(drained)되도록 제1 및 제3 접촉 요소(10 및 14) 양단에 전위가 인가된다. 제1 접촉 요소(10)를 통과하는 전류 I 및 제2 및 제4 접촉 요소(12 및 16) 양단의 전압 V_A 가 측정되고, 전압 V_A 를 전류 I로 나눔으로써 제1 저항값(R_B)이 계산된다. 다음에, 도 3b의 (2)에 도시된 바와 같이, 전류 I가 제2 접촉 요소(12)를 통해 표면부에 주입되고, 그 전류의 적어도 일부가 제4 접촉 요소(14)를 통해 드레인되도록 제2 및 제4 접촉 요소(12 및 14) 양단에 전위가 인가된다. 제2 접촉 요소(12)를 통과하는 전류 I 및 제1 및 제3 접촉 요소(10 및 14) 양단의 전압 V_A 가 측정되고, 전압 V_A 를 전류 I로 나눔으로써 제2 저항값($R_{B'}$)이 계산된다. 다음에, 제1 저항값(R_B)과 제2 저항값($R_{B'}$) 간의 차로 정의된 제1 저항차($\Delta R_{BB'}$)가 다음과 같이 계산된다.

$$\Delta R_{BB'} = R_B - R_{B'} \quad (1.1)$$

[0061] 뿐만 아니라 제3 저항값(R_B)과 제4 저항값($R_{B'}$) 간의 평균($\overline{R_{BB'}}$)도 다음과 같이 계산된다.

$$\overline{R_{BB'}} = (R_B + R_{B'}) / 2 \quad (1.2)$$

[0063] 도 3c의 (1)에 도시된 바와 같이, 전류 I가 제1 접촉 요소(10)를 통해 표면부에 주입되고, 그 전류의 적어도 일부가 제2 접촉 요소(12)를 통해 드레인되도록 제1 및 제2 접촉 요소 양단에 전위가 인가된다. 제1 접촉 요소

(10)를 통과하는 전류 I 및 제3 및 제4 접촉 요소(14 및 16) 양단의 전압 V_C 가 측정되고, 전압 V_C 를 전류 I로 나눔으로써 제3 저항값(R_C)이 계산된다. 다음에, 도 3b의 (2)에 도시된 바와 같이, 전류 I가 제3 접촉 요소(14)를 통해 표면부에 주입되고, 그 전류의 적어도 일부가 제4 접촉 요소(16)를 통해 드레인되도록 제3 및 제4 접촉 요소(14 및 16) 양단에 전위가 인가된다. 제3 접촉 요소(14)를 통과하는 전류 I 및 제1 및 제2 접촉 요소(10 및 12) 양단의 전압 $V_{C'}$ 가 측정되고, 전압 $V_{C'}$ 를 전류 I로 나눔으로써 제4 저항값($R_{C'}$)이 계산된다. 다음에, 제3 저항값(R_C)과 제4 저항값($R_{C'}$) 간의 차로 정의된 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)가 다음과 같이 계산된다.

$$\Delta R_{CC'} = R_C - R_{C'} \quad (1.3)$$

뿐만 아니라 제3 저항값(R_C)과 제4 저항값($R_{C'}$) 간의 평균($\overline{R_{CC'}}$)도 다음과 같이 계산된다.

$$\overline{R_{CC'}} = (R_C + R_{C'}) / 2 \quad (1.4)$$

도 2a에 도시된 바와 같은 테스트 샘플과 접촉하는 4 포인트 프로브의 수학적 모델에 해당하는 많은 관계식(relations)이 다음과 같이 정의된다.

$$f_1 = \frac{\Delta R_{BB'}}{R_H} = \frac{2}{\pi} \left(3 \arctan \frac{s}{2y} - \arctan \frac{3s}{2y} \right) \quad (1.5)$$

$$f_2 = -\frac{\Delta R_{CC'}}{R_H} = -\frac{2}{\pi} \left(\arctan \frac{3s}{2y} + \arctan \frac{s}{2y} - 2 \arctan \frac{s}{y} \right) \quad (1.6)$$

여기서 s 는 이웃 프로브 암들(arms) 간의 간격을 나타낸 것으로, 이는 이웃 프로브 암들의 모든 쌍들에 대해 동일하고, 즉 $s=a=b=c$ 이고, $\Delta R_{BB'}$ 는 제1 저항차를 나타내고, y 는 접촉점(20-26)과 전기적 경계(34) 간의 거리를 나타내고, $\Delta R_{CC'}$ 는 제2 저항차를 나타내며, R_H 는 4 포인트 프로브(36)에 의해 접촉이 확립되는 전기적으로 전도성인 표면부(32)의 제1 위치의 홀 시트 저항을 나타낸다. 도 4c에서, 관계식 f_1 (수학식 1.5)은 점선으로 도시되고 관계식 f_2 (수학식 1.6)는 파선으로 도시된다.

전술한 두 관계식(수학식 1.4 및 1.3) 간의 비는 다음과 같은 제1 관계식을 정의하는데 사용된다.

$$f = \frac{f_2}{f_1} \quad (1.7)$$

이는 또한 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\Delta R_{CC'}}{\Delta R_{BB'}} = f \left(\frac{y}{s} \right) \quad (1.8)$$

즉, 제1 관계식은 명목(nominal) 간격 s 로 정규화된 거리 y 의 함수이다. 이러한 관계식(수학식 1.7 및 1.8)은 도 4c의 그래프에서 실선으로 도시된다. 다음에, 측정된 제1 및 제2 저항차($\Delta R_{BB'}$ 및 $\Delta R_{CC'}$)는 제1 관계식(수학식 1.8)에서 정규화된 거리 y/s 를 도출하는데 사용된다. 예를 들면, $\Delta R_{CC'}/\Delta R_{BB'}$ 비가 0.2이면 정규화된 거리 y/s 는 대략 2가 될 것이고, $\Delta R_{CC'}/\Delta R_{BB'}$ 비가 0.4이면 정규화된 거리 y/s 는 대략 5.5가 될 것이며, 이는 도 4c로부터 알 수 있다. 명목 간격 s 는 알려져 있으므로 거리 y 는 정규화된 거리 y/s 로부터 쉽게 결정된다. 정규화된 거리 y/s 가 2이면 함수 f_1 의 값은 대략 0.5가 될 것이며, 정규화된 거리 y/s 가 5.5이면 함수 f_1 의 값은 대략 0.08이 될 것이다. 다음에, 측정된 제1 저항차($\Delta R_{BB'}$)와 수학식 1.3의 관계식을 병용하면 홀 시트 저항(Hall sheet resistance) R_H 가 얻어진다. 또한, 함수 f_2 도 유사한 방식으로 사용될 수 있다.

[0076] 전기적으로 전도성인 표면부의 시트 저항(Sheet resistance), 즉, 홀 시트 저항 외의 또 다른 전기적 특성을 결정하기 위해, 제1 저항 평균 $\overline{R_{AA'}}$ 이 다음과 같이 수학적 식 1.2 및 1.4로 정의된 저항 평균 $\overline{R_{BB'}}$ 및 $\overline{R_{CC'}}$ 의 합으로 계산된다.

$$\overline{R_{AA'}} = \overline{R_{BB'}} + \overline{R_{CC'}} \quad (1.9)$$

[0078] 다음에, 다음과 같은 밴더 파우(van der Pauw) 수학적식으로부터 의사(pseudo) 시트 저항 R_p 이 결정된다.

$$\exp\left(\frac{2\pi\overline{R_{AA'}}}{R_p}\right) - \exp\left(\frac{2\pi\overline{R_{BB'}}}{R_p}\right) = 1 \quad (1.10)$$

[0080] 4 포인트 프로브에 의해 접촉되는 전기적으로 전도성인 표면부의 시트 저항을 결정하는 제2 관계식이 다음과 같이 정의된다. 즉,

$$\frac{R_p}{R_0} = g\left(\frac{y}{s}\right) \quad \text{이고,} \quad (1.11)$$

[0082] 여기서 R_p 는 의사 시트 저항이고, R_0 는 시트 저항이며, g 는 정규화된 거리 y/s 의 함수이다. 함수 g 는 4 포인트 프로브의 실제 크기 또는 치수에 좌우되지 않는다는 점에서 기하학적이다. 도 2a에서와 같은 등거리 접촉 프로브를 이용하는 4 포인트 프로브를 나타내는 함수 g 가 도 4b에 도시되어 있다. 예를 들면, 정규화된 거리 y/s 가 2이면 함수 g 의 값, 즉, R_p/R_0 는 대략 1.40이 될 것이며, 정규화된 거리 y/s 가 5.5이면 대응하는 값, 또는 비는 대략 1.14가 될 것이다. 다음에, 수학적 식 1.9 및 1.10과 관련하여 기술된 바와 같이 결정된 의사 시트 저항 R_p 를 이용하면, 시트 저항 R_0 는 수학적 식 1.11로부터 쉽게 계산된다.

[0083] 제2 실시예에서, 홀 시트 저항 및 시트 저항은 도 2b에 도시된 바와 같은 비대칭 4 포인트 프로브를 이용하여 측정된다.

[0084] 접촉점(20'-26')의 위치 결정은 전기적 경계(34)로부터 거리 y 에 있는 전기적으로 전도성인 표면부(32) 상의 제1 위치를 정의한다. 도 3b의 (1)에 도시된 바와 같이, 전류 I 가 제1 접촉 요소(10)를 통해 표면부에 주입되고, 그 전류의 적어도 일부가 제3 접촉 요소(14)를 통해 드레인되도록 제1 및 제3 접촉 요소(10 및 14) 양단에 전위가 인가된다. 제1 접촉 요소(10)를 통과하는 전류 I 및 제2 및 제4 접촉 요소(12 및 16) 양단의 전압 V_B 가 측정되고, 전압 V_B 를 전류로 나눈으로써 제1 저항값(R_B)이 계산된다. 다음에, 도 3b의 (2)에 도시된 바와 같이, 전류 I 가 제2 접촉 요소(12)를 통해 표면부에 주입되고, 그 전류의 적어도 일부가 제4 접촉 요소(14)를 통해 드레인되도록 제2 및 제4 접촉 요소(12 및 14) 양단에 전위가 인가된다. 제2 접촉 요소(12)를 통과하는 전류 I 및 제1 및 제3 접촉 요소(10 및 14) 양단의 전압 $V_{B'}$ 가 측정되고, 전압 $V_{B'}$ 를 전류 I 로 나눈으로써 제2 저항값($R_{B'}$)이 계산된다. 다음에, 제1 저항값(R_B)과 제2 저항값($R_{B'}$) 간의 차로 정의된 제1 저항차($\Delta R_{BB'}$)가 다음과 같이 계산된다.

$$\Delta R_{BB'} = R_B - R_{B'} \quad (2.1)$$

[0086] 뿐만 아니라 제3 저항값(R_B)과 제4 저항값($R_{B'}$) 간의 평균($\overline{R_{BB'}}$)도 다음과 같이 계산된다.

$$\overline{R_{BB'}} = (R_B + R_{B'})/2 \quad (2.2)$$

[0088] 도 3c의 (1)에 도시된 바와 같이, 전류 I 가 제1 접촉 요소(10)를 통해 표면부에 주입되고, 그 전류의 적어도 일부가 제2 접촉 요소(12)를 통해 드레인되도록 제1 및 제2 접촉 요소 양단에 전위가 인가된다. 제1 접촉 요소(10)를 통과하는 전류 I 및 제3 및 제4 접촉 요소(14 및 16) 양단의 전압 V_C 가 측정되고, 전압 V_C 를 전류 I 로

나눔으로써 제3 저항값(R_C)이 계산된다. 다음에, 도 3b의 (2)에 도시된 바와 같이, 전류 I가 제3 접촉 요소(14)를 통해 표면부에 주입되고, 그 전류의 적어도 일부가 제4 접촉 요소(16)를 통해 드레인되도록 제3 및 제4 접촉 요소(14 및 16) 양단에 전위가 인가된다. 제3 접촉 요소(14)를 통과하는 전류 I 및 제1 및 제2 접촉 요소(10 및 12) 양단의 전압 V_C 가 측정되고, 전압 V_C 를 전류 I로 나눔으로써 제4 저항값($R_{C'}$)이 계산된다. 다음에, 제3 저항값(R_C)과 제4 저항값($R_{C'}$) 간의 차로 정의된 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)가 다음과 같이 계산된다.

$$\Delta R_{CC'} = R_C - R_{C'} \quad (2.3)$$

뿐만 아니라 제3 저항값(R_C)과 제4 저항값($R_{C'}$) 간의 평균($\overline{R_{CC'}}$)도 다음과 같이 계산된다.

$$\overline{R_{CC'}} = (R_C + R_{C'}) / 2 \quad (2.4)$$

도 3a의 (1)에 도시된 바와 같이, 전류 I가 제1 접촉 요소(10)를 통해 표면부에 주입되고, 그 전류의 적어도 일부가 제4 접촉 요소(16)를 통해 드레인되도록 제1 및 제4 접촉 요소(10 및 16) 양단에 전위가 인가된다. 제1 접촉 요소(10)를 통과하는 전류 I 및 제2 및 제3 접촉 요소(12 및 14) 양단의 전압 V_A 가 측정되고, 전압 V_A 를 전류 I로 나눔으로써 제5 저항값(R_A)이 계산된다. 다음에, 도 3a의 (2)에 도시된 바와 같이, 전류 I가 제2 접촉 요소(12)를 통해 표면부에 주입되고, 그 전류의 적어도 일부가 제3 접촉 요소(14)를 통해 드레인되도록 제2 및 제3 접촉 요소(12 및 14) 양단에 전위가 인가된다. 제2 접촉 요소(12)를 통과하는 전류 I 및 제1 및 제4 접촉 요소(10 및 16) 양단의 전압 $V_{A'}$ 가 측정되고, 전압 $V_{A'}$ 를 전류 I로 나눔으로써 제6 저항값($R_{A'}$)이 계산된다. 다음에, 제5 저항값(R_A)과 제6 저항값($R_{A'}$) 간의 차로 정의된 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)가 다음과 같이 계산된다.

$$\Delta R_{AA'} = R_A - R_{A'} \quad (2.5)$$

뿐만 아니라 제5 저항값(R_A)과 제6 저항값($R_{A'}$) 간의 평균($\overline{R_{AA'}}$)도 다음과 같이 계산된다.

$$\overline{R_{AA'}} = (R_A + R_{A'}) / 2 \quad (2.6)$$

도 2c에 도시된 바와 같은 테스트 샘플과 접촉하는 4 포인트 프로브의 수학적 모델에 해당하는 많은 관계식이 다음과 같이 정의된다.

$$f_1 = \frac{\Delta R_{AA'}}{R_H} = \frac{2}{\pi} \left(\arctan \frac{a+b}{2y} - \arctan \frac{a}{2y} - \arctan \frac{b+c}{2y} + \arctan \frac{c}{2y} \right) \quad (2.7)$$

$$f_2 = \frac{\Delta R_{BB'}}{R_H} = \frac{2}{\pi} \left(\arctan \frac{a}{2y} + \arctan \frac{b}{2y} + \arctan \frac{c}{2y} - \arctan \frac{a+b+c}{2y} \right) \quad (2.8)$$

$$f_3 = -\frac{\Delta R_{CC'}}{R_H} = -\frac{2}{\pi} \left(\arctan \frac{a+b+c}{2y} + \arctan \frac{b}{2y} - \arctan \frac{a+b}{2y} - \arctan \frac{b+c}{2y} \right) \quad (2.9)$$

여기서 a, b, 및 c는 도 2c에 표시된 바와 같은 접촉점들 간의 간격을 나타내고, y는 접촉점(20'-26')과 전기적 경계(34) 간의 거리를 나타내고, $\Delta R_{BB'}$ 는 제1 저항차를 나타내고, $\Delta R_{CC'}$ 는 제2 저항차를 나타내고, $\Delta R_{AA'}$ 는 제3 저항차를 나타내며, R_H 는 4 포인트 프로브(36)에 의해 접촉이 확립되는 전기적으로 전도성인 표면부(32)의 그

위치의 홀 시트 저항을 나타낸다. 도 5c에서, 관계식 f_1 (수학식 2.7)은 파선-점선으로 도시되고, 관계식 f_2 (수학식 2.8)는 점선으로 도시되며, 관계식 f_3 (수학식 2.9)은 파선으로 도시된다.

다음에, 제1 관계식이 다음과 같이 정의된다.

$$f = \frac{f_1 + f_3}{f_2} \quad (2.10)$$

이는 또한 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\Delta R_{AA'} + \alpha \cdot \Delta R_{CC'}}{\Delta R_{BB'}} = f(y, a, b, c) \quad (2.11)$$

여기서 α 는 1이고, 즉, 제1 관계식은 거리 y 및 접촉점들 간의 간격 a , b , 및 c 의 함수이다. 이러한 관계식(수학식 2.10 및 2.11)은 도 5c의 그래프에서 실선으로 도시된다. 다음에, 측정된 제1, 제2, 및 제3 저항차($\Delta R_{BB'}$, ΔR_{CC} , 및 $\Delta R_{AA'}$)는 제1 관계식(수학식 2.11)에서 정규화된 거리 $3y/(a+b+c)$ 를 도출하는데 사용된다. 예를 들어, $(\Delta R_{AA'} + \Delta R_{CC'})/\Delta R_{BB'}$ 비가 0.2이면 정규화된 거리 $3y/(a+b+c)$ 는 대략 0.5가 될 것이고, $\Delta R_{CC'}/\Delta R_{BB'}$ 비가 0.8이면 정규화된 거리 $3y/(a+b+c)$ 는 대략 7이 될 것이며, 이는 도 5c로부터 알 수 있다. 명목 간격 a , b , 및 c 는 알려져 있으므로 거리 y 는 정규화된 거리 $3y/(a+b+c)$ 로부터 쉽게 결정된다. 예를 들면, 도 2c의 간격, 즉, $a=b=14\mu\text{m}$ 이고 c 가 $35\mu\text{m}$ 인 경우, 정규화된 거리 $3y/(a+b+c)$ 가 0.5이면 거리 y 는 대략 $10.5\mu\text{m}$ 가 될 것이며, 정규화된 거리 $3y/(a+b+c)$ 가 7이면 거리 y 는 대략 $147\mu\text{m}$ 가 될 것이다. 또한, 정규화된 거리 $3y/(a+b+c)$ 가 0.5이면 함수 f_2 의 값은 대략 1.33이 될 것이며, 정규화된 거리 $3y/(a+b+c)$ 가 7이면 함수 f_2 의 값은 대략 0.04가 될 것이다. 다음에, 측정된 제1 저항차($\Delta R_{BB'}$)와 수학식 2.8의 관계식을 병용하면 홀 시트 저항 R_H 가 얻어진다. 또한, 함수 f_1 및 f_3 도 유사한 방식으로 사용될 수 있다.

전기적으로 전도성인 표면부의 시트 저항을 결정하기 위해, 먼저 다음과 같은 밴더 파워 수학식으로부터 의사 시트 저항 R_p 이 결정된다.

$$\exp\left(\frac{2\pi R_{AA'}}{R_p}\right) - \exp\left(\frac{2\pi R_{BB'}}{R_p}\right) = 1 \quad (2.12)$$

다음에, 4 포인트 프로브에 의해 접촉되는 전기적으로 전도성인 표면부의 시트 저항을 결정하는 또 다른 제2 관계식이 다음과 같이 정의된다. 즉,

$$\frac{R_p}{R_0} = g(y, a, b, c) \quad (2.13)$$

이고, 여기서 R_p 는 의사 시트 저항이고, R_0 는 시트 저항이며, g 는 정규화된 거리 y 및 접촉점들 간의 간격 a , b , 및 c 의 함수이다. 도 2c에서와 같은 비대칭 간격 접촉 프로브를 이용하는 4 포인트 프로브를 나타내는 함수 g 가 도 5b에 도시되어 있다. 예를 들면, 거리 y 가 대략 $10.5\mu\text{m}$ 이면 함수 g , 또는 비 R_p/R_0 의 값은 대략 1.44가 될 것이다. 다음에, 수학식 2.12와 관련하여 기술된 바와 같이 결정된 의사 시트 저항 R_p 를 이용하면, 수학식 2.13으로부터 시트 저항 R_0 가 쉽게 계산된다.

대칭적인 프로브를 이용하여 홀 시트 저항 및 시트 저항을 결정하는 좀 더 일반적인 예가 여기서 제시된다. 접촉점들이 등거리인, 즉 $a=b=c=s$ 인 대칭적인 4 포인트 프로브의 경우, 데이터 처리시 도 3b의 (1), 도 3b의 (2), 도 3c의 (1), 및 도 3c의 (2)에 도시된 바와 같이 저항값이 각각 R_B , $R_{B'}$, R_C , 및 $R_{C'}$ 가 되는 단지 네 개의 측정 구성 B , B' , C 및 C' 가 필요하다. 다음과 같은 것이 저항값들로부터 도출된다.

[0112]

$$\Delta R_{BB'} = R_B - R_{B'}, \quad \overline{R_{BB'}} = (R_B + R_{B'}) / 2 \quad (3.1)$$

[0113]

$$\Delta R_{CC'} = R_C - R_{C'}, \quad \overline{R_{CC'}} = (R_C + R_{C'}) / 2 \quad (3.2)$$

[0114]

평균을 이용하여, 다음과 같은 밴드 파워 수학적식으로부터 의사 시트 저항 R_p 가 계산된다.

[0115]

$$\overline{R_{AA'}} = \overline{R_{BB'}} + \overline{R_{CC'}} \quad (3.3)$$

[0116]

$$\exp\left(\frac{2\pi\overline{R_{AA'}}}{R_p}\right) - \exp\left(\frac{2\pi\overline{R_{BB'}}}{R_p}\right) = 1 \quad (3.4)$$

[0117]

저항차 $\Delta R_{BB'}$ 및 $\Delta R_{CC'}$ 는 다음과 같은 알려진 함수로 표현된다.

[0118]

$$\Delta R_{BB'} = R_H f_1\left(\frac{y}{s}\right) \quad (3.5)$$

[0119]

$$\Delta R_{CC'} = R_H f_2\left(\frac{y}{s}\right) \quad (3.6)$$

[0120]

따라서, $\Delta R_{BB'}$ 및 $\Delta R_{CC'}$ 의 비는 다음과 같이 y 의 함수로 표현될 수 있다.

[0121]

$$\frac{\Delta R_{CC'}}{\Delta R_{BB'}} = f\left(\frac{y}{s}\right) \quad (3.7)$$

[0122]

이 수학적식에서, 함수 f 는 도 4a에 플롯된 바와 같이 이론적 계산 또는 수치 모의실험으로부터 얻을 수 있다. 이 플롯을 이용하면, 거리 y 가 결정되고, 이어서 수학적식 3.5 또는 수학적식 3.6으로부터 홀 시트 저항 R_H 를 풀 수 있다.

[0123]

또한, 의사 시트 저항 R_p 및 시트 저항 R_0 의 비는 다음과 같이 단지 y/s 에만 좌우되는 알려진 함수 g 로 표현될 수 있다.

[0124]

$$\frac{R_p}{R_0} = g\left(\frac{y}{s}\right) \quad (3.8)$$

[0125]

함수 g 는 이론적 계산 또는 수치 모의실험으로부터 구할 수 있고, 도 4b에 플롯된다. 마지막으로, 이 플롯 및 수학적식 3.4로부터의 의사 시트 저항 R_p 를 이용하면, 시트 저항 R_0 이 계산된다.

[0126]

비대칭적 프로브를 이용하여 홀 시트 저항 및 시트 저항을 결정하는 좀 더 일반적인 예가 여기서 제시된다. 접촉 요소들의 접촉점들 간의 간격이 a , b , 및 c 인 비대칭적인 4 포인트 프로브의 경우, 데이터 처리시 도 3a의 (1), 도 3a의 (2), 도 3b의 (1), 도 3b의 (2), 도 3c의 (1), 및 도 3c의 (2)에 도시된 바와 같이 저항값이 각각 R_A , $R_{A'}$, R_B , $R_{B'}$, R_C , 및 $R_{C'}$ 가 되는 6개의 구성 A , A' , B , B' , C 및 C' 가 모두 필요하다. 이러한 구성들 중 다섯 개만 독립적이다. 도 2c에 도시된 바와 같은 간격 $a=14\mu\text{m}$, $b=14\mu\text{m}$, 및 $c=35\mu\text{m}$ 가 다음 예에서 사용되며, 이 경우 다음과 같은 것이 저항값들로부터 도출된다.

[0127]

$$\Delta R_{AA'} = R_A - R_{A'}, \quad \overline{R_{AA'}} = (R_A + R_{A'}) / 2 \quad (4.1)$$

[0128]

$$\Delta R_{BB'} = R_B - R_{B'}, \quad \overline{R_{BB'}} = (R_B + R_{B'}) / 2 \quad (4.2)$$

$$\Delta R_{CC'} = R_C - R_{C'}, \quad \overline{R_{CC'}} = (R_C + R_{C'})/2 \quad (4.3)$$

평균을 이용하면, 다음과 같은 밴드 파워 수학적식으로부터 의사 시트 저항 R_p 가 계산된다.

$$\exp\left(\frac{2\pi\overline{R_{AA'}}}{R_p}\right) - \exp\left(\frac{2\pi\overline{R_{BB'}}}{R_p}\right) = 1 \quad (4.4)$$

저항차 $\Delta R_{AA'}$, $\Delta R_{BB'}$ 및 $\Delta R_{CC'}$ 는 다음과 같은 알려진 함수로 표현된다.

$$\Delta R_{AA'} = R_H f_1(y, a, b, c) \quad (4.5)$$

$$\Delta R_{BB'} = R_H f_2(y, a, b, c) \quad (4.6)$$

$$\Delta R_{CC'} = R_H f_3(y, a, b, c) \quad (4.7)$$

따라서, 다음과 같이 거리 y 에만 좌우되는 $\Delta R_{AA'}$, $\Delta R_{BB'}$ 및 $\Delta R_{CC'}$ 의 함수를 정의할 수 있다.

$$\frac{\Delta R_{AA'} + \alpha \cdot \Delta R_{CC'}}{\Delta R_{BB'}} = f(y, a, b, c) \quad (4.8)$$

이 수학적식에서, 함수 f 는 이론적 계산 또는 수치 모의실험으로부터 얻을 수 있다. 팩터 α 를 튜닝하면, 함수 f 는 거리 검출이 프로브 위치 오차에 덜 민감할 수 있도록 최적화된다. $a=14\mu\text{m}$, $b=14\mu\text{m}$, 및 $c=35\mu\text{m}$ 인 경우, $\alpha=1$ 이 양호한 선택이고, 함수 f 는 도 5a에 도시된 바와 같이 플롯될 수 있다는 것을 알았다. 이 플롯을 이용하면, 거리 y 가 결정되고, 이어서 수학적식 4.5, 수학적식 4.6, 또는 수학적식 4.7로부터 홀 시트 저항 R_H 를 풀 수 있다.

또한, 의사 시트 저항 R_p 및 시트 저항 R_0 의 비는 다음과 같은 알려진 함수 g 로 표현될 수 있다.

$$\frac{R_p}{R_0} = g(y, a, b, c) \quad (4.9)$$

함수 g 는 이론적 계산 또는 수치 모의실험으로부터 구할 수 있고, 도 5b에 플롯된다. 마지막으로, 이 플롯 및 수학적식 4.4로부터의 의사 시트 저항 R_p 를 이용하면, 시트 저항 R_0 이 계산된다.

도 6은 테스트 샘플(30')과 접촉하는 멀티 포인트 프로브(36')를 예시한다. 테스트 샘플(30')은 전기적으로 전도성인 표면부(32') 및 테스트 샘플(30')의 상부 표면에 해당하는 표면부(32)와 테스트 샘플(30')의 측면(33') 사이의 가장자리에 의해 물리적으로 정의된 경계(34')를 갖는다. 측면(33')은 전기적으로 전도성이 아니므로 경계는 전류가 전기적으로 전도성인 표면부(32')에서 흘러나가는 것을 막아주는 전기적 경계이다.

멀티 포인트 프로브(36')는 프로브 몸체(18')를 구비하며 그 프로브 몸체에서 7개의 접촉 요소(50-62)가 연장된다. 각각의 접촉 요소(50-62)는 일단이 프로브 몸체(18')에 연결되고 타단이 접촉점(70-82)을 정의하는 플렉시블 캔틸레버이다. 도 6의 구조의 접촉점(70-82)은 전기적으로 전도성인 표면부(32')와 접촉한다. 접촉 요소(50-62)는 전기적으로 전도성이다. 따라서, 전류는 각각의 접촉 요소(50-62)를 통하여 전기적으로 전도성인 표면부(32')로 통과할 수 있다. 전기적으로 전도성인 표면부(32)에 수직인 자기장 성분(38')을 갖도록 테스트 샘플(30')에 일정한 자기장 B 가 인가된다.

접촉 요소들(50, 54, 58, 및 62)에 각각 해당하는 제1, 제2, 제3 및 제4 접촉 요소로 구성된 제1 구성의 접촉 요소가 정의된다. 접촉 요소들(56, 58, 60, 및 62)에 각각 해당하는 제5, 제6, 제7 및 제8 접촉 요소로 구성된 제2 구성의 접촉 요소가 정의된다. 여기서, 제1 및 제2 구성은 둘 다 접촉 요소(58 및 62)를 포함한다.

[0145] 접촉 요소(50-62)의 접촉점(70-82)은 모두 도 7a에 도시된 바와 같이 접촉할 때 대략 공통 라인(90) 상에 놓인다. 전기적 경계(34')는 선형 부분(42')을 갖고 있으며 접촉 요소(50-62)는 공통 라인(40')이 선형 부분(42')에 평행하도록 배향된다. 접촉점들(70-82) 간의 명목 거리 또는 간격은 대략 같고 s 로 표시된다. 공통 라인(90)과 선형 부분(42') 간의 거리 또는 간격은 y 로 표시된다. 도 7a에 도시된 대안의 실시예에서, 접촉 요소들의 접촉점들(70-82) 간의 거리 s 는 대략 $10\mu\text{m}$ 이다. 따라서, 제1 구성의 접촉 요소의 접촉점들은 $2s$ 의 유효 분리 또는 간격 s_1 을 정의하고, 즉, s_1 은 대략 $20\mu\text{m}$ 이며, 반면에 제2 구성의 접촉 요소의 접촉점들은 $1s$ 의 유효 분리 또는 간격 s_2 를 정의하고, 즉, s_2 는 대략 $10\mu\text{m}$ 이다.

[0146] 도 7b에 도시된 대안의 접촉에서, 표면부(32')는 평평하지 않으며, 이는 세 개의 접촉 요소들(70-74)이 다른 네 개의 접촉 요소들(76-82)과 다르게 표면부(32')와 결합하도록 하였다. 따라서, 제1 구성의 접촉 요소는 제2 구성의 대응하는 추가 평균 거리 y_2 와 다른 선형 부분(42')까지의 평균 거리 y_1 을 정의한다.

[0147] 도 7a의 접촉에서, 접촉점들(70-82)은 전기적 경계(34)까지의 거리 y 를 정의한다. 도 8a의 (1)에 도시된 바와 같이, 전류 I 가 제1 접촉 요소(50)를 통해 표면부에 주입되고, 그 전류의 적어도 일부가 제3 접촉 요소(58)를 통해 드레인되도록 제1 및 제3 접촉 요소(50 및 58) 양단에 전위가 인가된다. 제1 접촉 요소(50)를 통과하는 전류 I 및 제2 및 제4 접촉 요소(54 및 62) 양단의 전압 $V_{B,1}$ 가 측정되고, 전압 $V_{B,1}$ 을 전류 I 로 나눔으로써 제1 저항값($R_{B,1}$)이 계산된다. 다음에, 도 8a의 (2)에 도시된 바와 같이, 전류 I 가 제2 요소(54)를 통해 표면부에 주입되고, 그 전류의 적어도 일부가 제4 접촉 요소(62)를 통해 드레인되도록 제2 및 제4 접촉 요소(54 및 62) 양단에 전위가 인가된다. 제2 접촉 요소(54)를 통과하는 전류 I 및 제1 및 제3 접촉 요소(50 및 58) 양단의 전압 $V_{B',1}$ 가 측정되고, 전압 $V_{B',1}$ 을 전류 I 로 나눔으로써 제2 저항값($R_{B',1}$)이 계산된다. 다음에, 제1 저항값($R_{B,1}$)과 제2 저항값($R_{B',1}$) 간의 차로 정의된 제1 저항차($\Delta R_{BB',1}$)가 다음과 같이 계산된다.

$$[0148] \quad \Delta R_{BB',1} = R_{B,1} - R_{B',1} \quad (5.1)$$

[0149] 뿐만 아니라 제3 저항값($R_{B,1}$)과 제4 저항값($R_{B',1}$) 간의 제1 저항 평균($\overline{R_{BB',1}}$)도 다음과 같이 계산된다.

$$[0150] \quad \overline{R_{BB',1}} = (R_{B,1} + R_{B',1})/2 \quad (5.2)$$

[0151] 도 8a의 (3)에 도시된 바와 같이, 전류 I 가 제5 접촉 요소(56)를 통해 표면부에 주입되고, 그 전류의 적어도 일부가 제7 접촉 요소(60)를 통해 드레인되도록 제5 및 제7 접촉 요소(56 및 60) 양단에 전위가 인가된다. 제5 접촉 요소(56)를 통과하는 전류 I 및 제6 및 제8 접촉 요소(58 및 62) 양단의 전압 $V_{B,2}$ 가 측정되고, 전압 $V_{B,2}$ 를 전류 I 로 나눔으로써 제3 저항값($R_{B,2}$)이 계산된다. 다음에, 도 8a의 (4)에 도시된 바와 같이, 전류 I 가 제6 접촉 요소(58)를 통해 표면부에 주입되고, 그 전류의 적어도 일부가 제8 접촉 요소(62)를 통해 드레인되도록 제6 및 제8 접촉 요소(58 및 62) 양단에 전위가 인가된다. 제6 접촉 요소(58)를 통과하는 전류 I 및 제5 및 제7 접촉 요소(56 및 60) 양단의 전압 $V_{B',2}$ 가 측정되고, 전압 $V_{B',2}$ 를 전류 I 로 나눔으로써 제4 저항값($R_{B',2}$)이 계산된다. 다음에, 제3 저항값($R_{B,2}$)과 제4 저항값($R_{B',2}$) 간의 차로 정의된 제2 저항차($\Delta R_{BB',2}$)가 다음과 같이 계산된다.

$$[0152] \quad \Delta R_{BB',2} = R_{B,2} - R_{B',2} \quad (5.4)$$

[0153] 뿐만 아니라 제3 저항값($R_{B,2}$)과 제4 저항값($R_{B',2}$) 간의 제2 저항 평균($\overline{R_{BB',2}}$)도 다음과 같이 계산된다.

$$[0154] \quad \overline{R_{BB',2}} = (R_{B,2} + R_{B',2})/2 \quad (5.5)$$

[0155] 4 포인트 프로브의 수학적 모델에 해당하는 함수가 다음과 같이 정의된다.

$$f(s, y) = \frac{\Delta R_{BB'}}{R_H} = \frac{2}{\pi} \left(3 \arctan \frac{s}{2y} - \arctan \frac{3s}{2y} \right) \quad (5.6)$$

여기서 s 는 이웃 프로브 암들 간의 유효 간격을 나타내고, $\Delta R_{BB'}$ 는 제1 저항차를 나타내고, y 는 접촉점(70-82)과 전기적 경계(34') 간의 거리를 나타내고, $\Delta R_{CC'}$ 는 제2 저항차를 나타내며, R_H 는 4 포인트 프로브(36')에 의해 접촉이 확립되는 전기적으로 전도성인 표면부(32')의 제1 위치의 홀 시트 저항을 나타낸다. 도 9에서, 함수 $f(s, y)$ 는 간격 s_1 이 $20\mu\text{m}$ (장파선)이고 간격 s_2 이 $10\mu\text{m}$ (단파선)인 경우의 y 의 함수로 도시된다. 제1 관계식은 다음과 같이 두 개의 다른 간격에 의해 (수학식 5.6)으로부터 형성된 두 함수들 간의 비로 정의된다.

$$\frac{\Delta R_{BB',1}}{\Delta R_{BB',2}} = f_D(s_1, s_2, y) = \frac{f(s_1, y)}{f(s_2, y)} = \frac{\frac{2}{\pi} \left(3 \arctan \frac{s_1}{2y} - \arctan \frac{3s_1}{2y} \right)}{\frac{2}{\pi} \left(3 \arctan \frac{s_2}{2y} - \arctan \frac{3s_2}{2y} \right)} = \frac{3 \arctan \frac{s_1}{2y} - \arctan \frac{3s_1}{2y}}{3 \arctan \frac{s_2}{2y} - \arctan \frac{3s_2}{2y}} \quad (5.7)$$

이 관계식은 도 9의 그래프에서 거리 y 의 함수 $f_D(s_1, s_2, y)$ (실선)으로 도시된다. 다음에, 측정된 제1 및 제2 저항차($\Delta R_{BB',1}$ 및 $\Delta R_{BB',2}$)는 제1 관계식(수학식 5.4)에서 거리 y 를 도출하는데 사용된다. 예를 들면, $\Delta R_{CC'}/\Delta R_{BB'}$ 비가 1이면 거리 y 는 대략 19가 될 것이다. 다음에, 측정된 제1 저항차($\Delta R_{BB',1}$) 및 명목 간격 $s_1=20\mu\text{m}$ 와 수학식 5.6의 관계식을 병용하면 홀 시트 저항 R_H 가 얻어진다. 또한, 명목 간격 $s_2=10\mu\text{m}$ 도 유사한 방식으로 사용될 수 있다.

거리 y 의 결정 정확도를 향상시키기 위해, 추가 측정을 수행하여 도 7a의 접촉의 추가 모델에 이용한다. 도 8b의 (1)에 도시된 바와 같이, 전류 I가 제1 접촉 요소(50)를 통해 표면부에 주입되고, 그 전류의 적어도 일부가 제4 접촉 요소(62)를 통해 드레인되도록 제1 및 제4 접촉 요소(50 및 62) 양단에 전위가 인가된다. 제1 접촉 요소(50)를 통과하는 전류 I 및 제2 및 제3 접촉 요소(54 및 58) 양단의 전압 $V_{B,1}$ 가 측정되고, 전압 $V_{A,1}$ 를 전류 I로 나눈으로써 제5 저항값($R_{A,1}$)이 계산된다. 다음에, 도 8b의 (2)에 도시된 바와 같이, 전류 I가 제2 접촉 요소(54)를 통해 표면부에 주입되고, 그 전류의 적어도 일부가 제3 접촉 요소(58)를 통해 드레인되도록 제2 및 제3 접촉 요소(54 및 58) 양단에 전위가 인가된다. 제2 접촉 요소(54)를 통과하는 전류 I 및 제1 및 제4 접촉 요소(50 및 62) 양단의 전압 $V_{B',1}$ 가 측정되고, 전압 $V_{A',1}$ 를 전류 I로 나눈으로써 제6 저항값($R_{A',1}$)이 계산된다.

다음에, 제5 저항값($R_{A,1}$)과 제6 저항값($R_{A',1}$) 간의 제3 저항 평균($\overline{R_{AA',1}}$)이 다음과 같이 계산된다.

$$\overline{R_{AA',1}} = (R_{A,1} + R_{A',1})/2 \quad (5.8)$$

도 8b의 (3)에 도시된 바와 같이, 전류 I가 제5 접촉 요소(56)를 통해 표면부에 주입되고, 그 전류의 적어도 일부가 제8 접촉 요소(62)를 통해 드레인되도록 제5 및 제8 접촉 요소(56 및 62) 양단에 전위가 인가된다. 제5 접촉 요소(56)를 통과하는 전류 I 및 제6 및 제7 접촉 요소(58 및 60) 양단의 전압 $V_{B,2}$ 가 측정되고, 전압 $V_{A,2}$ 를 전류 I로 나눈으로써 제7 저항값($R_{A,2}$)이 계산된다. 다음에, 도 8b의 (4)에 도시된 바와 같이, 전류 I가 제6 접촉 요소(58)를 통해 표면부에 주입되고, 그 전류의 적어도 일부가 제7 접촉 요소(60)를 통해 드레인되도록 제6 및 제7 접촉 요소(58 및 60) 양단에 전위가 인가된다. 제6 접촉 요소(58)를 통과하는 전류 I 및 제5 및 제8 접촉 요소(56 및 62) 양단의 전압 $V_{B',2}$ 가 측정되고, 전압 $V_{A',2}$ 를 전류 I로 나눈으로써 제8 저항값($R_{A',2}$)이 계산된다.

다. 다음에, 제5 저항값($R_{A,1}$)과 제6 저항값($R_{A',1}$) 간의 제4 저항 평균($\overline{R_{AA',2}}$)이 다음과 같이 계산된다.

$$\overline{R_{AA',2}} = (R_{A,2} + R_{A',2})/2 \quad (5.9)$$

밴더 파워 수학적식이 다음과 같이 정의된다.

$$\exp\left(\frac{2\pi\overline{R_{AA'}}}{R_p}\right) - \exp\left(\frac{2\pi\overline{R_{BB'}}}{R_p}\right) = 1 \quad (5.10)$$

여기서 R_p 는 의사 시트 저항이고, 제1 및 제3 저항차($\overline{R_{BB'},1}$) 및 ($\overline{R_{AA'},1}$)(수학식 5.2 및 5.8)는 밴더 파워어 수학식(수학식 5.10)에서 제1 의사 시트 저항($R_{p,1}$)을 도출하는데 사용된다. 마찬가지로, 제2 및 제4 저항차($\overline{R_{BB'},2}$) 및 ($\overline{R_{AA'},2}$)(수학식 5.5 및 5.9)는 밴더 파워어 수학식(수학식 5.10)에서 제2 의사 시트 저항($R_{p,2}$)을 도출하는데 사용된다.

도 6과 관련하여 기술된 4 포인트 프로브의 수학적 모델에 해당하는 함수가 다음과 같이 정의된다.

$$g(s,y) = \frac{R_p(s,y)}{R_s} \quad (5.11)$$

여기서 R_p 는 이웃 프로브 압들 간의 간격 s 및 접촉점들(70-82)과 전기적 경계(34') 간의 거리 y 의 함수로 간주되는 의사 시트 저항이고, R_s 는 해당 접촉점의 시트 저항을 나타낸다. 제1 간격 $s_1=20\mu m$ 이고 제2 간격 $s_2=10\mu m$ 인 경우의 함수 $g(s,y)$ 가 도출되며, 이들에 대해서는 도 10(각각, 장파선 및 단파선)에 도시되어 있다. 다음에, 이러한 두 함수는 다음과 같이 제4 관계식을 형성하는데 사용된다.

$$\frac{R_p(s_1,y)}{R_p(s_2,y)} = g_D(s_1,s_2,y) = \frac{g(s_1,y)}{g(s_2,y)} \quad (5.12)$$

이것 역시 도 10(실선)에 도시되어 있다. 다음에, 제1 및 제2 의사 시트 저항($R_{p,1}$ 및 $R_{p,2}$)은 제4 관계식에서 거리 y 의 값을 도출하는데 사용되며, 이는 도 10에서 그래픽으로 이루어질 수 있다. 분석적으로 또는 수치적으로 도출될 수 있는 함수 $g_D(s_1,s_2,y)$ 는 단조(monotone) 함수가 아니며 특정 거리에서 피크값을 정의한다. 따라서, 이는 거리 y 를 고유하게 결정하지 않을 것이다. 제4 관계식(수학식 5.12)은 전형적으로 거리 y 를 제1 관계식(수학식 5.7)보다 더 정확하게 결정할 것이다. 따라서, 제1 관계식은 보조 거리(auxiliary distance)를 도출하는데 사용되며, 이는 제4 관계식으로부터 피크값의 거리 y 를 결정, 즉 거리 y 를 고유하게 결정하는데 사용된다.

대안의 실시예에서, 제1 관계식(수학식 5.7) 및 제4 관계식(수학식 5.12)은 도 7b와 관련하여 기술된 바와 같은, 제1 구성의 접촉 요소들과 선형 부분(42') 간의 거리 y_1 및 제2 구성의 접촉 요소들과 선형 부분(42') 간의 추가 거리 y_2 의 차를 고려하도록 수정된다. 제1 관계식(수학식 5.7)은 다음과 같이 재정의된다.

$$\frac{\Delta R_{BB',1}}{\Delta R_{BB',2}} = f_D(s_1,s_2,y_1,y_2) = \frac{f(s_1,y_1)}{f(s_2,y_2)} = \frac{\frac{2}{\pi} \left(3 \arctan \frac{s_1}{2y_1} - \arctan \frac{3s_1}{2y_1} \right)}{\frac{2}{\pi} \left(3 \arctan \frac{s_2}{2y_2} - \arctan \frac{3s_2}{2y_2} \right)} = \frac{3 \arctan \frac{s_1}{2y_1} - \arctan \frac{3s_1}{2y_1}}{3 \arctan \frac{s_2}{2y_2} - \arctan \frac{3s_2}{2y_2}} \quad (5.13)$$

그리고 제4 관계식(수학식 5.11)은 다음과 같이 재정의된다.

$$\frac{R_p(s_1,y_1)}{R_p(s_2,y_2)} = g_D(s_1,s_2,y_1,y_2) = \frac{g(s_1,y_1)}{g(s_2,y_2)} \quad (5.14)$$

두 함수 $f_D(s_1,s_2,y_1,y_2)$ 및 $g_D(s_1,s_2,y_1,y_2)$ 는 분석적으로 또는 수치적으로 도출될 수 있다. 다음에, 도출된 제1 및 제2 저항차(수학식 5.1 및 수학식 5.4)와 제1, 제2, 제3 및 제4 저항 평균(수학식 5.2, 수학식 5.5, 수학식 5.8 및 수학식 5.9)은 알려진 명목 간격 $s_1=20\mu m$ 및 $s_2=10\mu m$ 와 함께 재정의된 제1 및 제4 관계식(수학식 5.13

및 수학적식 5.14)에서, 예를 들어, 회귀 분석(regression analysis)에 의해 거리 y_1 및 추가 거리 y_2 를 동시에 도출하는데 사용된다.

- [0177] 본 발명의 특징은 다음과 같다.
- [0178] 1. 테스트 샘플의 전기적으로 전도성인 표면부 상의 제1 위치와 상기 전기적으로 전도성인 표면부의 전기적 경계 간의 거리를 제1 접촉 요소, 제2 접촉 요소, 제3 접촉 요소, 및 제4 접촉 요소를 포함하는 멀티 포인트 프로브에 의해 결정하는 방법으로서, 각 접촉 요소는 상기 테스트 샘플과의 전기적 접촉을 확립하기 위한 접촉점을 정의하며, 상기 방법은,
- [0179] (i) 상기 전기적으로 전도성인 표면부 상의 상기 제1 위치에서 상기 테스트 샘플을 상기 제1 접촉 요소, 상기 제2 접촉 요소, 상기 제3 접촉 요소, 및 상기 제4 접촉 요소와 접촉시키는 단계,
- [0180] (ii) 상기 제1 위치에서 상기 전기적으로 전도성인 표면부에 수직인 주 자기장 성분을 갖는 자기장을 인가하는 단계,
- [0181] (iii) 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단에 제1 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제1 전류를 발생시키는 단계,
- [0182] (iv) 상기 제1 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 제1 전류를 측정하는 단계,
- [0183] (v) 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단의 제1 전압을 측정하는 단계,
- [0184] (vi) 상기 제1 전류 및 상기 제1 전압에 기초하여 제1 저항값(R_B)을 계산하는 단계,
- [0185] (vii) 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단에 제2 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제2 전류를 발생시키는 단계,
- [0186] (viii) 상기 제2 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 제2 전류를 측정하는 단계,
- [0187] (ix) 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단의 제2 전압을 측정하는 단계,
- [0188] (x) 상기 제2 전류 및 상기 제2 전압에 기초하여 제2 저항값($R_{B'}$)을 계산하는 단계,
- [0189] (xi) 상기 제1 저항값과 상기 제2 저항값 간의 차에 기초하여 제1 저항차($\Delta R_{BB'}$)를 계산하는 단계,
- [0190] (xii) 상기 제1 및 제2 접촉 요소 양단에 제3 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제3 전류를 발생시키는 단계,
- [0191] (xiii) 상기 제1 또는 상기 제2 접촉 요소를 통과하는 상기 제3 전류를 측정하는 단계,
- [0192] (xiv) 상기 제3 및 제4 접촉 요소 양단의 제3 전압을 측정하는 단계,
- [0193] (xv) 상기 제3 전류 및 상기 제3 전압에 기초하여 제3 저항값(R_C)을 계산하는 단계,
- [0194] (xvi) 상기 제3 및 제4 접촉 요소 양단에 제4 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제4 전류를 발생시키는 단계,
- [0195] (xvii) 상기 제3 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 제4 전류를 측정하는 단계,
- [0196] (xviii) 상기 제1 및 제2 접촉 요소 양단의 제4 전압을 측정하는 단계,
- [0197] (xix) 상기 제4 전류 및 상기 제4 전압에 기초하여 제4 저항값($R_{C'}$)을 계산하는 단계,
- [0198] (xx) 상기 제3 저항값과 상기 제4 저항값 간의 차에 기초하여 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)를 계산하는 단계,
- [0199] (xxi) 상기 제1 저항차, 상기 제2 저항차, 및 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리를 각각 나타내는 제1, 제2, 및 제3 파라미터를 포함하는 제1 관계식(f)을 정의하는 단계,
- [0200] (xxii) 상기 제1 관계식에서 상기 제1 및 제2 저항차($\Delta R_{BB'}$, $\Delta R_{CC'}$)를 각각 상기 제1 및 상기 제2 파라미터로서 이용하여 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리(y)를 결정하는 단계를 포함하는 방법.

- [0201] 2. 제1 특징에 있어서, 상기 접촉점은 각각의 상기 접촉점을 교차하는 제1 라인을 정의하는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0202] 3. 제2 특징에 있어서, 상기 전기적 경계는 대략 선형 부분을 가지며 상기 제1 위치와 상기 선형 부분 상의 한 점 간의 거리는 상기 제1 위치와 상기 선형 부분 외부의 상기 전기적 경계 상의 어떤 점 간의 거리보다 짧은 것을 특징으로 하는 방법.
- [0203] 4. 제3 특징에 있어서,
- [0204] (xxxiv) 상기 멀티 포인트 프로브를 상기 선형 부분과 평행한 관계를 갖고 상기 제1 라인에 위치하도록 배향시키는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0205] 5. 제1 특징 내지 제4 특징 중 어느 한 특징에 있어서, 상기 제1 및 제2 접촉 요소, 상기 제2 및 제3 접촉 요소, 및 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 간격이 대략 같은 것을 특징으로 하는 방법.
- [0206] 6. 제1 특징 내지 제5 특징 중 어느 한 특징에 있어서, 상기 제1 관계식은 $\Delta R_{CC'}/\Delta R_{BB'}=f(y,s)$ 와 같고, 여기서 $\Delta R_{BB'}$ 는 상기 제1 저항차를 나타내고, $\Delta R_{CC'}$ 는 상기 제2 저항차를 나타내며, f 는 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리 y 및 상기 접촉점들 간의 상기 간격 s 를 파라미터로서 포함하는 함수인 것을 특징으로 하는 방법.
- [0207] 7. 제6 특징에 있어서, 상기 관계식 $\Delta R_{CC'}/\Delta R_{BB'}=f(y,s)$ 에서 상기 제1 저항차 $\Delta R_{BB'}$ 는 $\Delta R_{BB'} = 2R_H/\pi*(\arctan(a/2y) + \arctan(b/2y) + \arctan(c/2y) - \arctan((a+b+c)/2y))$ 와 같고, 여기서 $\Delta R_{BB'}$ 는 상기 추가적인 제1 저항차($\Delta R_{BB'}$)를 나타내고, y 는 상기 거리(y)를 나타내고, a 는 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, b 는 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, c 는 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내며, 상기 관계식 $\Delta R_{CC'}/\Delta R_{BB'}=f(y,s)$ 에서 상기 제2 저항차 $\Delta R_{CC'}$ 는 $\Delta R_{CC'} = 2R_H/\pi*(\arctan((a+b+c)/2y) + \arctan(b/2y) - \arctan((a+b)/2y) - \arctan((b+c)/2y))$ 와 같고, 여기서 $\Delta R_{CC'}$ 는 상기 추가적인 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)를 나타내고, y 는 상기 거리(y)를 나타내고, a 는 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, b 는 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내며, c 는 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0208] 8. 제1 특징 내지 제4 특징 중 어느 한 특징에 있어서,
- [0209] (xxiii) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단에 제5 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제5 전류를 발생시키는 단계,
- [0210] (xxiv) 상기 제1 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 제5 전류를 측정하는 단계,
- [0211] (xxv) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단의 제5 전압을 측정하는 단계,
- [0212] (xxvi) 상기 제5 전류 및 상기 제5 전압에 기초하여 제5 저항값(R_A)을 계산하는 단계,
- [0213] (xxvii) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단에 제6 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제6 전류를 발생시키는 단계,

- [0214] (xxviii) 상기 제2 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 제6 전류를 측정하는 단계,
- [0215] (xxix) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단의 제6 전압을 측정하는 단계,
- [0216] (xxx) 상기 제6 전류 및 상기 제6 전압에 기초하여 제6 저항값($R_{A'}$)을 계산하는 단계,
- [0217] (xxxix) 상기 제5 저항값과 상기 제6 저항값 간의 차에 기초하여 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)를 계산하는 단계,
- [0218] (xxxixii) 상기 제1 관계식(f)을 정의할 때, 상기 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)를 나타내는 제4 파라미터를 상기 제1 관계식(f)에 더 포함시키는 단계, 및
- [0219] (xxxixiii) 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리(y)를 결정할 때, 상기 제1 관계식에서 상기 제1 및 상기 제2 파라미터로 각각 이용되는 상기 제1 및 상기 제2 저항차($\Delta R_{BB'}$, $\Delta R_{CC'}$) 외에 상기 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)를 상기 제4 파라미터로서 이용하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0220] 9. 제8 특징에 있어서, 상기 접촉점들은 일렬로 배치되고, 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 간격 및 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 간격은 대략 같은 것을 특징으로 하는 방법.
- [0221] 10. 제8 특징 및 제9 특징 중 어느 한 특징에 있어서, 상기 접촉점들은 일렬로 배치되고, 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 간격은 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 간격과 다른 것을 특징으로 하는 방법.
- [0222] 11. 제10 특징에 있어서, 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 간격은 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 간격보다 범위 1.1-3.7, 1.2-3.3, 1.3-2.9, 1.4-2.5, 1.5-2.1, 및 1.6-1.7 중 하나 이상, 및/또는 범위 1.2-1.3, 1.3-1.4, 1.4-1.5, 1.5-1.6, 1.6-1.7, 1.7-1.8, 1.8-1.9, 1.9-2.0, 2.0-2.2, 2.2-2.4, 2.4-2.6, 2.6-2.8, 2.8-3.0, 3.0-3.3, 3.3-3.6, 3.6-3.9 중 하나 내의 팩터, 및/또는 대략 5를 3으로 나눈 것, 또는 범위 1.2-3.8, 1.6-3.4, 1.8-3.2, 2.0-3.0, 2.2-2.8, 및 2.4-2.6 중 하나 이상, 및/또는 범위 1.2-1.3, 1.3-1.4, 1.4-1.5, 1.5-1.6, 1.6-1.7, 1.7-1.8, 1.8-1.9, 1.9-2.0, 2.0-2.2, 2.2-2.4, 2.4-2.6, 2.6-2.8, 2.8-3.0, 3.0-3.3, 3.3-3.6, 3.6-3.9 중 하나 내의 팩터, 및/또는 대략 5를 2로 나눈 것만큼 큰 것을 특징으로 하는 방법.
- [0223] 12. 제8 특징 내지 제11 특징 중 어느 한 특징에 있어서, 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 간격은 범위 1-5 μ m, 5-10 μ m, 10-15 μ m, 15-20 μ m, 20-25 μ m, 25-30 μ m, 30-40 μ m, 40-50 μ m, 50-500 μ m 중 하나, 및/또는 범위 1-50 μ m, 5-40 μ m, 10-30 μ m, 15-25 μ m 중 하나 이상 내에 있는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0224] 13. 제8 특징 내지 제12 특징 중 어느 한 특징에 있어서, 상기 제1 관계식은 $(\Delta R_{AA'} + a \Delta R_{CC'}) / \Delta R_{BB'} = f(y, a, b, c)$ 와 같고, 여기서 $\Delta R_{BB'}$ 는 상기 제1 저항차이고, $\Delta R_{CC'}$ 는 상기 제2 저항차이고, $\Delta R_{AA'}$ 는 상기 제3 저항차이고, a는 -10부터 10까지 범위 내에 있는 튜닝 팩터(tuning factor)이며, f는 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리 y를 포함하는 함수이고, a는 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 상기 간격이고, b는 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 상기 간격이고, c는 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 상기 간격인 것을 특징으로 하는 방법.
- [0225] 14. 제13 특징에 있어서, 상기 튜닝 팩터 a는 대략 1 또는 대략 -1인 것을 특징으로 하는 방법.
- [0226] 15. 제13 특징 및 제14 특징 중 어느 한 특징에 있어서, 상기 관계식 $(\Delta R_{AA'} + a \Delta R_{CC'}) / \Delta R_{BB'} = f(y, a, b, c)$ 에서

상기 제1 저항차 $\Delta R_{BB'}$ 는 $\Delta R_{BB'} = 2R_H/\pi^*(\arctan(a/2y) + \arctan(b/2y) + \arctan(c/2y) - \arctan((a+b+c)/2y))$ 와 같고, 여기서 $\Delta R_{BB'}$ 는 상기 추가적인 제1 저항차($\Delta R_{AA'}$)를 나타내고, y는 상기 거리(y)를 나타내고, a는 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, b는 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, c는 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내며, 상기 관계식 $(\Delta R_{AA'} + a \Delta R_{CC'})/\Delta R_{BB'} = f(y, a, b, c)$ 에서

상기	제2	저항차
$\Delta R_{CC'}$ 는		

$\Delta R_{CC'} = 2R_H/\pi^*(\arctan((a+b+c)/2y) + \arctan(b/2y) - \arctan((a+b)/2y) - \arctan((b+c)/2y))$ 와 같고, 여기서 $\Delta R_{CC'}$ 는 상기 추가적인 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)를 나타내고, y는 상기 거리(y)를 나타내고, a는 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, b는 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, c는 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내며, 상기 관계식 $(\Delta R_{AA'} + a \Delta R_{CC'})/\Delta R_{BB'} = f(y, a, b, c)$ 에서

상기 제3 저항차 $\Delta R_{AA'}$ 는 $\Delta R_{AA'} = 2R_H/\pi^*(\arctan((a+b)/2y) - \arctan(a/2y) - \arctan((b+c)/2y) + \arctan(c/2y))$ 와 같고, 여기서 $\Delta R_{AA'}$ 는 상기 추가적인 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)를 나타내고, y는 상기 거리(y)를 나타내고, a는 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, b는 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내며, c는 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 상기 간격을 나타내는 것을 특징으로 하는 방법.

- [0227] 16. 제1 특징 내지 제15 특징 중 어느 한 특징에 있어서, 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 상기 간격은 범위 0.1-100 μm , 1-90 μm , 10-80 μm , 20-70 μm , 30-60 μm , 및 40-50 μm 중 하나 이상, 및/또는 범위 0.1-1 μm , 1-10 μm , 10-20 μm , 20-30 μm , 30-40 μm , 40-50 μm , 50-60 μm , 60-70 μm , 70-80 μm , 80-90 μm , 90-100 μm , 또는 100-500 μm 중 하나 내에 있는 것을 특징으로 하는 방법.

[0228] 17. 테스트 샘플의 전기적으로 전도성인 표면부 상의 제1 위치에서 전기적 특성을 결정하는 방법으로서, 상기 전기적으로 전도성인 표면부는 전기적 경계를 가지며, 상기 방법은,

[0229] (a) 특징 1 내지 특징 16 중 어느 한 특징에 따른 상기 테스트 샘플의 상기 전기적으로 전도성인 표면부 상의 상기 제1 위치와 상기 전기적으로 전도성인 표면부의 상기 전기적 경계 간의 거리(y)를 결정하는 단계,

[0230] (b) 상기 전기적 특성 및 상기 거리(y)를 나타내는 제5 파라미터를 포함하는 제2 관계식을 정의하는 단계, 및

[0231] (c) 상기 제2 관계식에서 상기 거리(y)를 상기 제5 파라미터로서 이용하여 상기 전기적 특성을 결정하는 단계를 포함하는 방법.

[0232] 18. 제17 특징에 있어서, 상기 제2 관계식은 상기 제1 접촉 요소, 상기 제2 접촉 요소, 상기 제3 접촉 요소, 및/또는 상기 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 상기 간격을 더 포함하고,

[0233] (b') 상기 제2 관계식을 정의할 때, 상기 제2 관계식은 상기 제1 접촉 요소, 상기 제2 접촉 요소, 상기 제3 접촉 요소, 및/또는 상기 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내는 제9 파라미터를 더 포함하고,

[0234] (c') 상기 전기적 특성을 결정할 때, 상기 간격은 상기 제2 관계식에서 상기 제1 거리(y) 외에 상기 제9 파라미터로 사용되는 것을 특징으로 하는 방법.

[0235] 19. 제17 특징 및 제18 특징 중 어느 한 특징에 있어서, 상기 전기적 특성은 홀 시트 저항(R_{H})이고 상기 제2 관계식(f_1, f_2)은 추가적인 제1 저항차($\Delta R_{\text{BB'}}$)를 나타내는 제6 파라미터를 더 포함하며, 상기 방법은,

[0236] (d) 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단에 추가적인 제1 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제1 전류를 발생시키는 단계,

[0237] (e) 상기 제1 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제1 전류를 측정하는 단계,

- [0238] (f) 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단의 추가적인 제1 전압을 측정하는 단계,
- [0239] (g) 상기 추가적인 제1 전류 및 상기 추가적인 제1 전압에 기초하여 추가적인 제1 저항값(R_B)을 계산하는 단계, 또는
- [0240] (g') 상기 거리를 추가적인 제1 저항값(R_B)으로 결정하는 단계로부터 상기 제1 저항값(R_B)을 보유하는 단계, 및
- [0241] (h) 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단에 추가적인 제2 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제2 전류를 발생시키는 단계,
- [0242] (i) 상기 제2 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제2 전류를 측정하는 단계,
- [0243] (j) 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단의 추가적인 제2 전압을 측정하는 단계,
- [0244] (k) 상기 추가적인 제2 전류 및 상기 추가적인 제2 전압에 기초하여 추가적인 제2 저항값($R_{B'}$)을 계산하는 단계, 또는
- [0245] (k') 상기 거리를 추가적인 제2 저항값($R_{B'}$)으로 결정하는 단계로부터 상기 제2 저항값($R_{B'}$)을 보유하는 단계, 및
- [0246] (l) 상기 추가적인 제1 저항값과 상기 추가적인 제2 저항값 간의 차에 기초하여 상기 추가적인 제1 저항차($\Delta R_{BB'}$)를 계산하는 단계, 또는
- [0247] (l') 상기 거리를 상기 추가적인 제1 저항차($\Delta R_{BB'}$)로 결정하는 단계로부터 상기 제1 저항차($R_{BB'}$)를 보유하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0248] 20. 제19 특징에 있어서, 상기 제2 관계식은 $\Delta R_{BB'} = 2R_H/\pi^*(\arctan(a/2y) + \arctan(b/2y) + \arctan(c/2y) - \arctan((a+b+c)/2y))$ 와 같고, 여기서 $\Delta R_{BB'}$ 는 상기 추가적인 제1 저항차($\Delta R_{BB'}$)를 나타내고, y는 상기 거리(y)를 나타내고, a는 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, b는 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내며, c는 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0249] 21. 제17 특징 및 제18 특징 중 어느 한 특징에 있어서, 상기 전기적 특성은 홀 시트 저항(R_H)이고 상기 제2 관계식(f_2, f_3)은 추가적인 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)를 나타내는 제6 파라미터를 더 포함하며, 상기 방법은,
- [0250] (d) 상기 제1 및 제2 접촉 요소 양단에 추가적인 제3 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제3 전류를 발생시키는 단계,
- [0251] (e) 상기 제1 또는 상기 제2 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제3 전류를 측정하는 단계,
- [0252] (f) 상기 제3 및 제4 접촉 요소 양단의 추가적인 제3 전압을 측정하는 단계,
- [0253] (g) 상기 추가적인 제3 전류 및 상기 추가적인 제3 전압에 기초하여 추가적인 제3 저항값(R_C)을 계산하는 단계, 또는
- [0254] (g') 상기 거리를 추가적인 제1 저항값(R_C)으로 결정하는 단계로부터 상기 제2 저항값(R_C)을 보유하는 단계, 및
- [0255] (h) 상기 제3 및 제4 접촉 요소 양단에 추가적인 제4 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제4 전류를 발생시키는 단계,
- [0256] (i) 상기 제3 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제4 전류를 측정하는 단계,
- [0257] (j) 상기 제1 및 제2 접촉 요소 양단의 추가적인 제4 전압을 측정하는 단계,
- [0258] (k) 상기 추가적인 제4 전류 및 상기 추가적인 제4 전압에 기초하여 추가적인 제4 저항값($R_{C'}$)을 계산하는 단계,

또는

- [0259] (k') 상기 거리를 추가적인 제1 저항값($R_{C'}$)으로 결정하는 단계로부터 상기 제2 저항값($R_{C'}$)을 보유하는 단계, 및
- [0260] (1) 상기 추가적인 제3 저항값과 상기 추가적인 제4 저항값 간의 차에 기초하여 상기 추가적인 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)를 계산하는 단계, 또는
- [0261] (1') 상기 거리를 상기 추가적인 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)로 결정하는 단계로부터 상기 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)를 보유하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0262] 22. 제21 특징에 있어서, 상기 제2 관계식은 $\Delta R_{CC'} = 2R_H/\pi^*(\arctan((a+b+c)/2y) + \arctan(b/2y) - \arctan((a+b)/2y) - \arctan((b+c)/2y))$ 와 같고, 여기서 $\Delta R_{CC'}$ 는 상기 추가적인 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)를 나타내고, y는 상기 거리(y)를 나타내고, a는 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, b는 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내며, c는 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0263] 23. 제17 특징 및 제18 특징 중 어느 한 특징에 있어서, 상기 전기적 특성은 홀 시트 저항(R_H)이고 상기 제2 관계식(f_1)은 추가적인 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)를 나타내는 제6 파라미터를 더 포함하며, 상기 방법은,
- [0264] (d) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단에 추가적인 제5 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제5 전류를 발생시키는 단계,
- [0265] (e) 상기 제1 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제5 전류를 측정하는 단계,
- [0266] (f) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단의 추가적인 제5 전압을 측정하는 단계,
- [0267] (g) 상기 추가적인 제5 전류 및 상기 추가적인 제5 전압에 기초하여 추가적인 제5 저항값(R_A)을 계산하는 단계, 또는
- [0268] (g') 상기 거리를 추가적인 제5 저항값(R_A)으로 결정하는 단계로부터 상기 제5 저항값(R_A)을 보유하는 단계, 및
- [0269] (h) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단에 추가적인 제6 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제6 전류를 발생시키는 단계,
- [0270] (i) 상기 제2 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제6 전류를 측정하는 단계,
- [0271] (j) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단의 추가적인 제6 전압을 측정하는 단계,
- [0272] (k) 상기 추가적인 제6 전류 및 상기 추가적인 제6 전압에 기초하여 추가적인 제6 저항값($R_{A'}$)을 계산하는 단계, 또는
- [0273] (k') 상기 거리를 추가적인 제5 저항값($R_{A'}$)으로 결정하는 단계로부터 상기 제6 저항값($R_{A'}$)을 보유하는 단계, 및
- [0274] (1) 상기 추가적인 제5 저항값과 상기 추가적인 제6 저항값 간의 차에 기초하여 상기 추가적인 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)를 계산하는 단계, 또는
- [0275] (1') 상기 거리를 상기 추가적인 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)로 결정하는 단계로부터 상기 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)를 보유하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0276] 24. 제23 특징에 있어서, 상기 제2 관계식은 $\Delta R_{AA'} = 2R_H/\pi^*(\arctan((a+b)/2y) - \arctan(a/2y) - \arctan((b+c)/2y) + \arctan(c/2y))$ 와 같고, 여기서 $\Delta R_{AA'}$ 는 상기 추가적인 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)를 나타내고, y는 상기 거리(y)를 나타내고, a는 상기 제1

및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, b는 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내며, c는 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내는 것을 특징으로 하는 방법.

- [0277] 25. 제17 특징 및 제18 특징 중 어느 한 특징에 있어서, 상기 전기적 특성은 시트 저항(R_0)이고 상기 제2 관계식(g)은 의사 시트 저항(R_p)을 나타내는 제6 파라미터를 더 포함하며, 상기 방법은,
- [0278] (d) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단에 추가적인 제5 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제5 전류를 발생시키는 단계,
- [0279] (e) 상기 제1 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제5 전류를 측정하는 단계,
- [0280] (f) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단의 추가적인 제5 전압을 측정하는 단계,
- [0281] (g) 상기 추가적인 제5 전류 및 상기 추가적인 제5 전압에 기초하여 추가적인 제5 저항값(R_A)을 계산하는 단계, 또는
- [0282] (g') 상기 거리를 추가적인 제5 저항값(R_A)으로 결정하는 단계로부터 상기 제5 저항값(R_A)을 보유하는 단계, 및
- [0283] (h) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단에 추가적인 제6 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제6 전류를 발생시키는 단계,
- [0284] (i) 상기 제2 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제6 전류를 측정하는 단계,
- [0285] (j) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단의 추가적인 제6 전압을 측정하는 단계,
- [0286] (k) 상기 추가적인 제6 전류 및 상기 추가적인 제6 전압에 기초하여 추가적인 제6 저항값($R_{A'}$)을 계산하는 단계, 또는
- [0287] (k') 상기 거리를 추가적인 제5 저항값($R_{A'}$)으로 결정하는 단계로부터 상기 제6 저항값($R_{A'}$)을 보유하는 단계, 및
- [0288] (l) 상기 추가적인 제5 저항값($R_{A'}$) 및 상기 추가적인 제6 저항값($R_{A'}$)의 제1 저항 평균($\overline{R_{A'}}$)을 계산하는 단계, 및
- [0289] (d'') 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단에 추가적인 제1 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제1 전류를 발생시키는 단계,
- [0290] (e'') 상기 제1 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제1 전류를 측정하는 단계,
- [0291] (f'') 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단의 추가적인 제1 전압을 측정하는 단계,
- [0292] (g'') 상기 추가적인 제1 전류 및 상기 추가적인 제1 전압에 기초하여 추가적인 제1 저항값(R_B)을 계산하는 단계, 또는
- [0293] (g''') 상기 거리를 추가적인 제1 저항값(R_B)으로 결정하는 단계로부터 상기 제1 저항값(R_B)을 보유하는 단계, 및
- [0294] (h'') 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단에 추가적인 제2 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제2 전류를 발생시키는 단계,
- [0295] (i'') 상기 제2 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제2 전류를 측정하는 단계,
- [0296] (j'') 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단의 추가적인 제2 전압을 측정하는 단계,
- [0297] (k'') 상기 추가적인 제2 전류 및 상기 추가적인 제2 전압에 기초하여 추가적인 제2 저항값($R_{B'}$)을 계산하는 단계, 또는
- [0298] (k''') 상기 거리를 추가적인 제2 저항값($R_{B'}$)으로 결정하는 단계로부터 상기 제2 저항값($R_{B'}$)을 보유하는 단계,

및

- [0299] (1") 상기 추가적인 제1 저항값(R_B) 및 상기 추가적인 제2 저항값($R_{B'}$)의 제2 저항 평균($\overline{R_{BB'}}$)을 계산하는 단계, 및
- [0300] (m) 상기 제1 저항 평균($\overline{R_{AA'}}$), 상기 제2 저항 평균($\overline{R_{BB'}}$), 및 상기 의사 시트 저항(R_P)을 각각 나타내는 제7, 제8, 및 제9 파라미터를 포함하는 제3 관계식을 정의하는 단계,
- [0301] (n) 상기 제3 관계식에서 상기 제1 저항 평균($\overline{R_{AA'}}$) 및 상기 제2 저항 평균($\overline{R_{BB'}}$)을 각각 상기 제7 파라미터 및 상기 제8 파라미터로서 이용하여 상기 의사 시트 저항(R_P)을 결정하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0302] 26. 제25 특징에 있어서, 상기 제3 관계식은 $\exp(2\pi \cdot \overline{R_{AA'}}/R_P) - \exp(2\pi \cdot \overline{R_{BB'}}/R_P) = 1$ 와 같고, 여기서 R_P 는 상기 의사 시트 저항이고, $\overline{R_{AA'}}$ 는 상기 제1 저항 평균이며, $\overline{R_{BB'}}$ 는 상기 제2 저항 평균인 것을 특징으로 하는 방법.
- [0303] 27. 테스트 샘플의 전기적으로 전도성인 표면부 상의 제1 위치와 상기 전기적으로 전도성인 표면부의 전기적 경계 간의 거리를 결정하는 장치로서,
- [0304] 제1 접촉 요소, 제2 접촉 요소, 제3 접촉 요소, 및 제4 접촉 요소를 포함하는 멀티 포인트 프로브 - 각 접촉 요소는 상기 테스트 샘플과의 전기적 접촉을 확립하기 위한 접촉점을 정의함 -, 및
- [0305] 특징 1 내지 특징 16 중 어느 한 특징에 따른 상기 거리를 결정하는 방법을 수행하도록 구성된 제어 유닛을 포함하는 장치.
- [0306] 28. 테스트 샘플의 전기적으로 전도성인 표면부 상의 제1 위치에서 전기적 특성을 결정하는 장치로서,
- [0307] 제1 접촉 요소, 제2 접촉 요소, 제3 접촉 요소, 및 제4 접촉 요소를 포함하는 멀티 포인트 프로브 - 각 접촉 요소는 상기 테스트 샘플과의 전기적 접촉을 확립하기 위한 접촉점을 정의함 -, 및
- [0308] 특징 17 내지 특징 26 중 어느 한 특징에 따른 상기 테스트 샘플의 전기적으로 전도성인 표면부 상의 제1 위치에서 전기적 특성을 결정하는 방법을 수행하도록 구성된 제어 유닛을 포함하는 장치.
- [0309] 본 발명의 추가 특징은 다음과 같다.
- [0310] 1. 테스트 샘플의 전기적으로 전도성인 표면부 상의 제1 위치와 상기 전기적으로 전도성인 표면부의 전기적 경계 간의 거리를 제1 접촉 요소, 제2 접촉 요소, 제3 접촉 요소, 및 제4 접촉 요소를 포함하는 멀티 포인트 프로브에 의해 결정하는 방법으로서, 각 접촉 요소는 상기 테스트 샘플과의 전기적 접촉을 확립하기 위한 접촉점을 정의하며, 상기 방법은,
- [0311] (i.i) 상기 전기적으로 전도성인 표면부 상의 상기 제1 위치에서 상기 테스트 샘플을 상기 제1 접촉 요소, 상기 제2 접촉 요소, 상기 제3 접촉 요소, 및 상기 제4 접촉 요소와 접촉시키는 단계,
- [0312] (i.ii) 상기 제1 위치에서 상기 전기적으로 전도성인 표면부에 수직인 주 자기장 성분을 갖는 자기장을 인가하는 단계,
- [0313] (i.iii) 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단에 제1 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제1 전류를 발생시키는 단계,

- [0314] (i.iv) 상기 제1 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 제1 전류를 측정하는 단계,
- [0315] (i.v) 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단의 제1 전압을 측정하는 단계,
- [0316] (i.vi) 상기 제1 전류 및 상기 제1 전압에 기초하여 제1 저항값(R_{B1})을 계산하는 단계,
- [0317] (i.vii) 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단에 제2 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제2 전류를 발생시키는 단계,
- [0318] (i.viii) 상기 제2 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 제2 전류를 측정하는 단계,
- [0319] (i.ix) 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단의 제2 전압을 측정하는 단계,
- [0320] (i.x) 상기 제2 전류 및 상기 제2 전압에 기초하여 제2 저항값(R_{B2})을 계산하는 단계,
- [0321] (i.xi) 상기 제1 저항값과 상기 제2 저항값 간의 차에 기초하여 제1 저항차(ΔR_{BB1})를 계산하는 단계,
- [0322] (i.xii) 상기 제1 및 제2 접촉 요소 양단에 제3 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제3 전류를 발생시키는 단계,
- [0323] (i.xiii) 상기 제1 또는 상기 제2 접촉 요소를 통과하는 상기 제3 전류를 측정하는 단계,
- [0324] (i.xiv) 상기 제3 및 제4 접촉 요소 양단의 제3 전압을 측정하는 단계,
- [0325] (i.xv) 상기 제3 전류 및 상기 제3 전압에 기초하여 제3 저항값(R_C)을 계산하는 단계,
- [0326] (i.xvi) 상기 제3 및 제4 접촉 요소 양단에 제4 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제4 전류를 발생시키는 단계,
- [0327] (i.xvii) 상기 제3 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 제4 전류를 측정하는 단계,
- [0328] (i.xviii) 상기 제1 및 제2 접촉 요소 양단의 제4 전압을 측정하는 단계,
- [0329] (i.xix) 상기 제4 전류 및 상기 제4 전압에 기초하여 제4 저항값($R_{C'}$)을 계산하는 단계, 및
- [0330] (i.xx) 상기 제3 저항값과 상기 제4 저항값 간의 차에 기초하여 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)를 계산하는 단계,
- [0331] 또는 대안예에서는, 상기 멀티 포인트 프로브는 복수의 접촉 요소를 포함하고, 각 접촉 요소는 상기 테스트 샘플과의 전기적 접촉을 확립하기 위한 접촉점을 정의하고, 상기 복수의 접촉 요소는 상기 제1 접촉 요소, 상기 제2 접촉 요소, 상기 제3 접촉 요소, 상기 제4 접촉 요소 및 하나 이상의 추가 접촉 요소를 포함하고, 단계 (i.xii) 내지 (i.xx)를 다음 단계들, 즉,
- [0332] (ii.xii) 상기 복수의 접촉 요소 중 제1 구성의 접촉 요소를 정의하는 단계 - 상기 제1 구성의 접촉 요소는 상기 제1 접촉 요소, 상기 제2 접촉 요소, 상기 제3 접촉 요소, 및 상기 제4 접촉 요소로 구성됨 -,
- [0333] (ii.xiii) 상기 복수의 접촉 요소 중 제2 구성의 접촉 요소를 정의하는 단계 - 상기 제2 구성의 접촉 요소는 제5 접촉 요소, 제6 접촉 요소, 제7 접촉 요소, 및 제8 접촉 요소로 구성되고, 상기 제2 구성의 접촉 요소 중 적어도 하나의 접촉 요소는 상기 하나 이상의 추가 접촉 요소의 접촉 요소임 -,
- [0334] (ii.xiv) 상기 전기적으로 전도성인 표면부 상의 상기 제1 위치에서 상기 테스트 샘플을 상기 제2 구성의 접촉 요소의 상기 접촉 요소와 접촉시키고 동시에 상기 테스트 샘플을 상기 제1 구성의 접촉 요소의 상기 접촉 요소와 접촉시키는 단계,
- [0335] (ii.xv) 상기 제5 및 제7 접촉 요소 양단에 제3 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제3 전류를 발생시키는 단계,
- [0336] (ii.xvi) 상기 제5 또는 상기 제7 접촉 요소를 통과하는 상기 제3 전류를 측정하는 단계,
- [0337] (ii.xvii) 상기 제6 및 제8 접촉 요소 양단의 제3 전압을 측정하는 단계,
- [0338] (ii.xviii) 상기 제3 전류 및 상기 제3 전압에 기초하여 제3 저항값($R_{B,2}$)을 계산하는 단계,
- [0339] (ii.xix) 상기 제6 및 제8 접촉 요소 양단에 제4 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제4 전류를

발생시키는 단계,

[0340] (ii.xx) 상기 제6 또는 상기 제8 접촉 요소를 통과하는 상기 제4 전류를 측정하는 단계,

[0341] (ii.xxi) 상기 제5 및 제7 접촉 요소 양단의 제4 전압을 측정하는 단계,

[0342] (ii.xxii) 상기 제4 전류 및 상기 제4 전압에 기초하여 제4 저항값($R_{B',2}$)을 계산하는 단계, 및

[0343] (ii.xxiii) 상기 제3 저항값과 상기 제4 저항값 간의 차에 기초하여 제2 저항차($\Delta R_{BB',2}$)를 계산하는 단계로 대체하며,

[0344] 상기 단계 (i.xii) 내지 (i.xx)를 포함하는 대안예 및 상기 단계 (ii.xii) 내지 (ii.xxii)를 포함하는 대안예는 모두,

[0345] (i.xxi) 상기 제1 저항차, 상기 제2 저항차, 및 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리를 각각 나타내는 제1, 제2, 및 제3 파라미터를 포함하는 제1 관계식(f)을 정의하는 단계, 및

[0346] (i.xxii) 상기 제1 관계식에서 상기 제1 및 제2 저항차($\Delta R_{BB'}$, $\Delta R_{CC'}$, $\Delta R_{BB',2}$)를 각각 상기 제1 및 제2 파라미터로서 이용하여 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리(y)를 나타내는 상기 제3 파라미터를 결정하는 단계를 더 포함하는 방법.

[0347] 2. 제1 추가 특징 및 상기 단계 (i.xii) 내지 (i.xx)를 대체하는 대안예에 있어서,

[0348] (iii.xxiv) 상기 제1 저항값(R_B) 및 상기 제2 저항값($R_{B'}$)의 제1 저항 평균($\overline{R_{BB'}}, 1$)을 계산하는 단계,

[0349] (iii.xxv) 상기 제3 저항값($R_{B,2}$) 및 상기 제4 저항값($R_{B',2}$)의 제2 저항 평균($\overline{R_{BB'}}, 2$)을 계산하는 단계,

[0350] (iii.xxvi) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단에 제5 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제5 전류를 발생시키는 단계,

[0351] (iii.xxvii) 상기 제1 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 제5 전류를 측정하는 단계,

[0352] (iii.xxviii) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단의 제5 전압을 측정하는 단계,

[0353] (iii.xxix) 상기 제5 전류 및 상기 제5 전압에 기초하여 제5 저항값($R_{A,1}$)을 계산하는 단계,

[0354] (iii.xxx) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단에 제6 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제6 전류를 발생시키는 단계,

[0355] (iii.xxxi) 상기 제2 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 제6 전류를 측정하는 단계,

[0356] (iii.xxxii) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단의 제6 전압을 측정하는 단계,

[0357] (iii.xxxiii) 상기 제6 전류 및 상기 제6 전압에 기초하여 제6 저항값($R_{A',1}$)을 계산하는 단계,

[0358] (iii.xxxiv) 상기 제5 저항값($R_{A,1}$) 및 상기 제6 저항값($R_{A',1}$)의 제3 저항 평균($\overline{R_{AA'}}, 1$)을 계산하는 단계,

[0359] (iii.xxxv) 상기 제5 및 제8 접촉 요소 양단에 제7 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제7 전류를 발생시키는 단계,

[0360] (iii.xxxvi) 상기 제5 또는 상기 제8 접촉 요소를 통과하는 상기 제7 전류를 측정하는 단계,

[0361] (iii.xxxvii) 상기 제6 및 제7 접촉 요소 양단의 제7 전압을 측정하는 단계,

[0362] (iii.xxxviii) 상기 제7 전류 및 상기 제7 전압에 기초하여 제7 저항값($R_{A,2}$)을 계산하는 단계,

[0363] (iii.xxxix) 상기 제6 및 제7 접촉 요소 양단에 제8 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제8 전

류를 발생시키는 단계,

[0364] (iii.xl) 상기 제6 또는 상기 제7 접촉 요소를 통과하는 상기 제8 전류를 측정하는 단계,

[0365] (iii.xli) 상기 제5 및 제8 접촉 요소 양단의 제8 전압을 측정하는 단계,

[0366] (iii.xlii) 상기 제8 전류 및 상기 제8 전압에 기초하여 제8 저항값($R_{A,2}$)을 계산하는 단계,

[0367] (iii.xliii) 상기 제7 저항값($R_{A,2}$) 및 상기 제8 저항값($R_{A,2}$)의 제4 저항 평균($\overline{R_{AA'}},2$)을 계산하는 단계,

[0368] (iii.xliv) 상기 제1 저항 평균($\overline{R_{BB'}},1$), 상기 제3 저항 평균($\overline{R_{AA'}},1$), 및 제1 의사 시트 저항($R_{P,1}$)을 각각 나타내는 제4, 제5, 및 제6 파라미터를 포함하는 제2 관계식을 정의하는 단계,

[0369] (iii.xlv) 상기 제2 관계식에서 상기 제1 저항 평균($\overline{R_{BB'}},1$) 및 상기 제3 저항 평균($\overline{R_{AA'}},1$)을 각각 상기 제4 파라미터 및 상기 제5 파라미터로서 이용하여 상기 제1 의사 시트 저항($R_{P,1}$)을 나타내는 상기 제6 파라미터를 결정하는 단계,

[0370] (iii.xlvi) 상기 제2 저항 평균($\overline{R_{BB'}},2$), 상기 제4 저항 평균($\overline{R_{AA'}},2$), 및 제2 의사 시트 저항($R_{P,2}$)을 각각 나타내는 제7, 제8, 및 제9 파라미터를 포함하는 제3 관계식을 정의하는 단계,

[0371] (iii.xlvii) 상기 제3 관계식에서 상기 제2 저항 평균($\overline{R_{BB'}},2$) 및 상기 제4 저항 평균($\overline{R_{AA'}},2$)을 각각 상기 제7 파라미터 및 상기 제8 파라미터로서 이용하여 상기 제2 의사 시트 저항($R_{P,2}$)을 나타내는 상기 제9 파라미터를 결정하는 단계,

[0372] (iii.xlviii) 상기 제1 의사 시트 저항($R_{P,1}$), 상기 제2 의사 시트 저항($R_{P,2}$), 및 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리를 각각 나타내는 제10, 제11, 및 제12 파라미터를 포함하는 제4 관계식(g_D)을 정의하는 단계, 및

[0373] (iv.xlix) 상기 제4 관계식(g_D)에서 상기 제1 및 상기 제2 의사 시트 저항($R_{P,1}$, $R_{P,2}$)을 각각 상기 제10 및 제11 파라미터로서 이용하여 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 추가 거리(y)를 나타내는 상기 제12 파라미터를 결정하는 단계를 포함하고,

[0374] 또는, 대안예에서는, 상기 제2 구성의 상기 접촉 요소는 상기 테스트 샘플의 상기 전기적으로 전도성인 표면부의 상기 제1 위치와 상기 전기적으로 전도성인 표면부의 상기 전기적 경계 간의 추가 거리(y_2)를 나타내고, 상기 제1 관계식(f_D)은 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 추가 거리를 나타내는 제13 파라미터를 더 포함하고, 상기 제4 관계식(g_D)은 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 추가 거리를 나타내는 제14 파라미터를 더 포함하며, 단계 (iii.xlix)를 다음의 단계, 즉,

[0375] (iv.xlix) 상기 제4 관계식(g_D)에서 상기 제1 및 상기 제2 의사 시트 저항($R_{P,1}$, $R_{P,2}$)을 각각 상기 제10 및 제11 파라미터로서 이용하여 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리(y) 및 상기 추가 거리(y_2)를 나타내는 상기 제13 파라미터 및 상기 제14 파라미터를 동시에 결정하는 단계로 대체하는 것을 특징으로 하는 방법.

[0376] 3. 제2 추가 특징 및 상기 단계 (iii.xlix)를 포함하는 대안예에 있어서, 상기 제4 관계식은 $R_{P,1}/R_{P,2}=g_D(y)$ 와 같고, 여기서 $R_{P,1}$ 는 상기 제1 의사 시트 저항을 나타내고, $R_{P,2}$ 는 상기 제2 의사 시트 저항을 나타내고, g_D 는 상기 거리 y 를 파라미터로서 포함하는 함수를 나타내며, 상기 함수 g_D 는 특정 거리에서 피크값을 정의하고, 상기 함수 g_D 는 상기 거리의 함수가 상기 특정 거리 미만일 때 증가하고 상기 거리의 함수가 상기 특정 거리 이상일

때 감소하며, 상기 방법은,

- [0377] (iii.xlx) 상기 거리와 상기 특정 거리를 비교하여 상기 제4 관계식에서 상기 추가 거리가 상기 특정 거리 미만 또는 이상인지를 판단하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0378] 4. 테스트 샘플의 전기적으로 전도성인 표면부 상의 제1 위치와 상기 전기적으로 전도성인 표면부의 전기적 경계 간의 거리를 복수의 접촉 요소를 포함하는 멀티 추가 포인트 프로브에 의해 결정하는 방법으로서, 각 접촉 요소는 상기 테스트 샘플과의 전기적 접촉을 확립하기 위한 접촉점을 정의하고, 상기 복수의 접촉 요소는 제1 접촉 요소, 제2 접촉 요소, 제3 접촉 요소, 제4 접촉 요소 및 하나 이상의 추가 접촉 요소를 포함하며, 상기 방법은,
- [0379] (v.i) 상기 복수의 접촉 요소 중 제1 구성의 접촉 요소를 정의하는 단계 - 상기 제1 구성의 접촉 요소는 상기 제1 접촉 요소, 상기 제2 접촉 요소, 상기 제3 접촉 요소, 및 상기 제4 접촉 요소로 구성됨 -,
- [0380] (v.ii) 상기 복수의 접촉 요소 중 제2 구성의 접촉 요소를 정의하는 단계 - 상기 제2 구성의 접촉 요소는 제5 접촉 요소, 제6 접촉 요소, 제7 접촉 요소, 및 제8 접촉 요소로 구성되고, 상기 제2 구성의 접촉 요소 중 적어도 하나의 접촉 요소는 상기 하나 이상의 추가 접촉 요소의 접촉 요소임 -,
- [0381] (v.iii-iv) 상기 전기적으로 전도성인 표면부 상의 상기 제1 위치에서 상기 테스트 샘플을 상기 제1 및 제2 구성의 접촉 요소의 상기 접촉 요소와 접촉시키는 단계,
- [0382] (v.v) 상기 제1 위치에서 상기 전기적으로 전도성인 표면부에 수직인 주 자기장 성분을 갖는 자기장을 인가하는 단계,
- [0383] (v.vi) 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단에 제1 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제1 전류를 발생시키는 단계,
- [0384] (v.vii) 상기 제1 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 제1 전류를 측정하는 단계,
- [0385] (v.viii) 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단의 제1 전압을 측정하는 단계,
- [0386] (v.ix) 상기 제1 전류 및 상기 제1 전압에 기초하여 제1 저항값(R_{B1})을 계산하는 단계,
- [0387] (v.x) 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단에 제2 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제2 전류를 발생시키는 단계,
- [0388] (v.xi) 상기 제2 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 제2 전류를 측정하는 단계,
- [0389] (v.xii) 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단의 제2 전압을 측정하는 단계,
- [0390] (v.xiii) 상기 제2 전류 및 상기 제2 전압에 기초하여 제2 저항값(R_{B2})을 계산하는 단계,
- [0391] (v.xiv) 상기 제1 저항값(R_{B1}) 및 상기 제2 저항값(R_{B2})의 제1 저항 평균($\overline{R_{BB1,2}}$)을 계산하는 단계,
- [0392] (v.xv) 상기 제5 및 제7 접촉 요소 양단에 제3 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제3 전류를 발생시키는 단계,
- [0393] (v.xvi) 상기 제5 또는 상기 제7 접촉 요소를 통과하는 상기 제3 전류를 측정하는 단계,
- [0394] (v.xvii) 상기 제6 및 제8 접촉 요소 양단의 제3 전압을 측정하는 단계,
- [0395] (v.xviii) 상기 제3 전류 및 상기 제3 전압에 기초하여 제3 저항값(R_{B3})을 계산하는 단계,
- [0396] (v.xix) 상기 제6 및 제8 접촉 요소 양단에 제4 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제4 전류를 발생시키는 단계,
- [0397] (v.xx) 상기 제6 또는 상기 제8 접촉 요소를 통과하는 상기 제4 전류를 측정하는 단계,
- [0398] (v.xxi) 상기 제5 및 제7 접촉 요소 양단의 제4 전압을 측정하는 단계,

- [0399] (v.xxii) 상기 제4 전류 및 상기 제4 전압에 기초하여 제4 저항값($R_{B',2}$)을 계산하는 단계,
- [0400] (v.xxv) 상기 제3 저항값($R_{B,2}$) 및 상기 제4 저항값($R_{B',2}$)의 제2 저항 평균($\overline{R_{BB',2}}$)을 계산하는 단계,
- [0401] (v.xxvi) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단에 제5 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제5 전류를 발생시키는 단계,
- [0402] (v.xxvii) 상기 제1 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 제5 전류를 측정하는 단계,
- [0403] (v.xxviii) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단의 제5 전압을 측정하는 단계,
- [0404] (v.xxix) 상기 제5 전류 및 상기 제5 전압에 기초하여 제5 저항값($R_{A,1}$)을 계산하는 단계,
- [0405] (v.xxx) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단에 제6 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제6 전류를 발생시키는 단계,
- [0406] (v.xxxi) 상기 제2 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 제6 전류를 측정하는 단계,
- [0407] (v.xxxii) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단의 제6 전압을 측정하는 단계,
- [0408] (v.xxxiii) 상기 제6 전류 및 상기 제6 전압에 기초하여 제6 저항값($R_{A',1}$)을 계산하는 단계,
- [0409] (v.xxxiv) 상기 제5 저항값($R_{A,1}$) 및 상기 제6 저항값($R_{A',1}$)의 제3 저항 평균($\overline{R_{AA',1}}$)을 계산하는 단계,
- [0410] (v.xxxv) 상기 제5 및 제8 접촉 요소 양단에 제7 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제7 전류를 발생시키는 단계,
- [0411] (v.xxxvi) 상기 제5 또는 상기 제8 접촉 요소를 통과하는 상기 제7 전류를 측정하는 단계,
- [0412] (v.xxxvii) 상기 제6 및 제7 접촉 요소 양단의 제7 전압을 측정하는 단계,
- [0413] (v.xxxviii) 상기 제7 전류 및 상기 제7 전압에 기초하여 제7 저항값($R_{A,2}$)을 계산하는 단계,
- [0414] (v.xxxix) 상기 제6 및 제7 접촉 요소 양단에 제8 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제8 전류를 발생시키는 단계,
- [0415] (v.xl) 상기 제6 또는 상기 제7 접촉 요소를 통과하는 상기 제8 전류를 측정하는 단계,
- [0416] (v.xli) 상기 제5 및 제8 접촉 요소 양단의 제8 전압을 측정하는 단계,
- [0417] (v.xlii) 상기 제8 전류 및 상기 제8 전압에 기초하여 제8 저항값($R_{A',2}$)을 계산하는 단계,
- [0418] (v.xliii) 상기 제7 저항값($R_{A,1}$) 및 상기 제8 저항값($R_{A',2}$)의 제4 저항 평균($\overline{R_{AA',2}}$)을 계산하는 단계,
- [0419] (v.xliv) 상기 제1 저항 평균($\overline{R_{BB',1}}$), 상기 제3 저항 평균($\overline{R_{AA',1}}$), 및 제1 의사 시트 저항($R_{P,1}$)을 각각 나타내는 제4, 제5, 및 제6 파라미터를 포함하는 제2 관계식을 정의하는 단계,
- [0420] (v.xlv) 상기 제2 관계식에서 상기 제1 저항 평균($\overline{R_{BB',1}}$) 및 상기 제3 저항 평균($\overline{R_{AA',1}}$)을 각각 상기 제4 파라미터 및 상기 제5 파라미터로서 이용하여 상기 제1 의사 시트 저항($R_{P,1}$)을 나타내는 상기 제6 파라미터를 결정하는 단계,
- [0421] (v.xlvi) 상기 제2 저항 평균($\overline{R_{BB',2}}$), 상기 제4 저항 평균($\overline{R_{AA',2}}$), 및 제2 의사 시트 저항($R_{P,2}$)을 각각 나타내는 제7, 제8, 및 제9 파라미터를 포함하는 제3 관계식을 정의하는 단계,

- [0422] (v.xlvii) 상기 제3 관계식에서 상기 제2 저항 평균($\overline{R_{BB'}}, 2$) 및 상기 제4 저항 평균($\overline{R_{AA'}}, 2$)을 각각 상기 제7 파라미터 및 상기 제8 파라미터로서 이용하여 상기 제2 의사 시트 저항($R_{p,2}$)을 나타내는 상기 제9 파라미터를 결정하는 단계,
- [0423] (v.xlviii) 상기 제1 의사 시트 저항($R_{p,1}$), 상기 제2 의사 시트 저항($R_{p,2}$), 및 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리를 각각 나타내는 제10, 제11, 및 제12 파라미터를 포함하는 제4 관계식(g_0)을 정의하는 단계, 및
- [0424] (v.xlix) 상기 제4 관계식(g_0)에서 상기 제1 및 상기 제2 의사 시트 저항($R_{p,1}$, $R_{p,2}$)을 각각 상기 제10 및 제11 파라미터로서 이용하여 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리(y)의 값을 나타내는 상기 제12 파라미터를 결정하는 단계를 포함하는 방법.
- [0425] 5. 제4 추가 특징에 있어서, 상기 제4 관계식은 $R_{p,1}/R_{p,2}=g_0(y)$ 와 같고, 여기서 $R_{p,1}$ 는 상기 제1 의사 시트 저항을 나타내고, $R_{p,2}$ 는 상기 제2 의사 시트 저항을 나타내고, g_0 는 상기 거리 y 를 파라미터로서 포함하는 함수를 나타내며, 상기 함수 g_0 는 특정 거리에서 피크값을 정의하고, 상기 함수 g_0 는 상기 거리의 함수가 상기 특정 거리 미만일 때 증가하고 상기 거리의 함수가 상기 특정 거리 이상일 때 감소하며, 상기 방법은,
- [0426] (v.xlx) 제1 추가 특징 내지 제3 추가 특징 중 어느 한 특징에 따른 상기 방법에 의해 보조 거리를 나타내는 거리를 결정하는 단계, 및
- [0427] (v.xlxi) 상기 보조 거리와 상기 특정 거리를 비교하여 상기 제4 관계식에서 상기 거리가 상기 특정 거리 미만 또는 이상인지를 판단하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0428] 6. 제1 추가 특징 내지 제5 추가 특징 중 어느 한 특징에 있어서, 상기 접촉점은 각각의 상기 접촉점과 교차하는 제1 라인을 정의하는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0429] 7. 제1 추가 특징 내지 제6 추가 특징 중 어느 한 특징에 있어서, 상기 접촉점이 상기 테스트 샘플과 접촉하기 전에 상기 제1 접촉 요소, 상기 제2 접촉 요소, 상기 제3 접촉 요소, 상기 제4 접촉 요소, 및 상기 하나 이상의 추가 접촉 요소의 상기 접촉점이 각각의 상기 접촉점과 교차하는 제1 라인을 정의하는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0430] 8. 제7 추가 특징에 있어서, 상기 제1 접촉 요소, 상기 제2 접촉 요소, 상기 제3 접촉 요소, 및 상기 제4 접촉 요소의 상기 접촉점은 상기 제1 라인을 따라 소정의 순서로 배치되는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0431] 9. 제8 추가 특징에 있어서, 상기 제5 접촉 요소, 상기 제6 접촉 요소, 상기 제7 접촉 요소, 및 상기 제8 접촉 요소의 상기 접촉점은 상기 제1 라인을 따라 소정의 순서로 배치되는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0432] 10. 제8 추가 특징 및 제9 추가 특징 중 어느 한 특징에 있어서, 상기 제1 및 제2 접촉 요소, 상기 제2 및 제3 접촉 요소, 및 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 상기 접촉 요소들 간의 간격은 대략 제1 간격 값(s_1)과 같은 것을 특징으로 하는 방법.
- [0433] 11. 제8 추가 특징 내지 제10 추가 특징 중 어느 한 특징에 있어서, 상기 제5 및 제6 접촉 요소, 상기 제6 및 제7 접촉 요소, 및 상기 제7 및 제8 접촉 요소의 상기 접촉 요소들 간의 간격은 대략 제2 간격 값(s_2)과 같은

것을 특징으로 하는 방법.

- [0434] 12. 제11 추가 특징 및 상기 단계 (i.xii) 내지 (i.xx)를 대체하는 대안예에 있어서, 상기 제1 관계식은 $\Delta R_{BB'}/\Delta R_{BB',2}=f_D(y,s_1,s_2)$ 와 같고, 여기서 $\Delta R_{BB'}$ 는 상기 제1 저항차를 나타내고, $\Delta R_{BB',2}$ 는 상기 제2 저항차를 나타내며, f_D 는 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리 y , 상기 제1 간격 값 s_1 , 및 상기 제2 간격 값 s_2 를 포함하는 함수인 것을 특징으로 하는 방법.
- [0435] 13. 제12 추가 특징에 있어서, 상기 제1 관계식 $\Delta R_{BB'}/\Delta R_{BB',2}=f_D(y,s_1,s_2)$ 에서 상기 함수 $f_D(y,s_1,s_2)$ 는 $(3*\arctan(s_1/2y) - \arctan(3s_1/2y)) / (3*\arctan(s_2/2y) - \arctan(3s_2/2y))$ 와 같은 것을 특징으로 하는 방법.
- [0436] 14. 제2 추가 특징 내지 제13 추가 특징 중 어느 한 특징에 있어서, 상기 제2 관계식은 $\exp(2\pi \cdot \overline{R_{AA',1}}/R_{P,1}) - \exp(2\pi \cdot \overline{R_{BB',1}}/R_{P,1}) = 1$ 과 같고, 여기서 $R_{P,1}$ 는 상기 제1 의사 시트 저항을 나타내고, $\overline{R_{BB',1}}$ 는 상기 제1 저항 평균이고, $\overline{R_{AA',1}}$ 는 상기 제3 저항 평균이며, 상기 제3 관계식은 $\exp(2\pi \cdot \overline{R_{AA',2}}/R_{P,2}) - \exp(2\pi \cdot \overline{R_{BB',2}}/R_{P,2}) = 1$ 과 같고, 여기서 $R_{P,2}$ 는 상기 제2 의사 시트 저항을 나타내고, $\overline{R_{BB',2}}$ 는 상기 제2 저항 평균이며, $\overline{R_{AA',2}}$ 는 상기 제4 저항 평균인 것을 특징으로 하는 방법.
- [0437] 15. 제2 추가 특징 내지 제14 추가 특징 중 어느 한 특징 및 상기 단계 (iii.xlix)를 포함하는 대안예에 있어서, 상기 제4 관계식은 $R_{P,1}/R_{P,2}=g_D(y,s_1,s_2)$ 와 같고, 여기서 $R_{P,1}$ 는 상기 제1 의사 시트 저항을 나타내고, $R_{P,2}$ 는 상기 제2 의사 시트 저항을 나타내며, g_D 는 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리 y , 상기 제1 간격 값 s_1 , 및 상기 제2 간격 값 s_2 를 포함하는 함수를 나타내는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0438] 16. 제2 추가 특징 내지 제14 추가 특징 중 어느 한 특징 및 상기 단계 (iii.xlix)를 대체하는 대안예에 있어서, 상기 제1 관계식은 $\Delta R_{BB'}/\Delta R_{BB',2}=f_D(y,y_2,s_1,s_2)$ 이고, 여기서 $\Delta R_{BB'}$ 는 상기 제1 저항차를 나타내고, $\Delta R_{BB',2}$ 는 상기 제2 저항차를 나타내며, f_D 는 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리 y 및 상기 추가 거리 y_2 , 상기 제1 간격 값 s_1 , 및 상기 제2 간격 값 s_2 를 포함하는 함수인 것을 특징으로 하는 방법.
- [0439] 17. 제12 추가 특징에 있어서, 상기 제1 관계식 $\Delta R_{BB'}/\Delta R_{BB',2}=f_D(y,y_2,s_1,s_2)$ 에서 상기 함수 $f_D(y,y_2,s_1,s_2)$ 는 $(3*\arctan(s_1/2y) - \arctan(3s_1/2y)) / (3*\arctan(s_2/2y_2) - \arctan(3s_2/2y_2))$ 와 같은 것을 특징으로 하는 방법.
- [0440] 18. 제2 추가 특징 내지 제14 추가 특징 중 어느 한 특징 및 상기 단계 (iii.xlix)를 대체하는 대안예에 있어서, 상기 제4 관계식은 $R_{P,1}/R_{P,2}=g_D(y,y_2,s_1,s_2)$ 와 같고, $R_{P,1}$ 는 상기 제1 의사 시트 저항을 나타내고, $R_{P,2}$ 는 상기 제2 의사 시트 저항을 나타내며, g_D 는 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리 y 및 상기 추가 거리 y_2 , 상기 제1 간격 값 s_1 , 및 상기 제2 간격 값 s_2 를 포함하는 함수를 나타내는 것을 특징으로 하는 방법.

- [0441] 19. 제6 추가 특징 내지 제18 추가 특징 중 어느 한 특징에 있어서, 상기 전기적 경계는 대략 선형 부분을 가지며 상기 제1 위치와 상기 선형 부분 상의 추가점 간의 거리는 상기 제1 위치와 상기 선형 부분 외부의 상기 전기적 경계 상의 어떤 추가점 간의 거리보다 짧은 것을 특징으로 하는 방법.
- [0442] 20. 제19 추가 특징에 있어서,
- [0443] (vi.i) 상기 멀티 추가 포인트 프로브를 상기 선형 부분과 평행한 관계를 갖고 상기 제1 라인에 위치하도록 배향시키는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0444] 21. 제1 추가 특징 내지 제20 추가 특징 중 어느 한 특징에 있어서, 상기 제1 및 제2 접촉 요소, 상기 제2 및 제3 접촉 요소, 및 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 간격은 대략 같은 것을 특징으로 하는 방법.
- [0445] 22. 제1 추가 특징 내지 제21 추가 특징 중 어느 한 특징 및 상기 단계 (i.xii) 내지 (i.xx)를 포함하는 대안에 있어서, 상기 제1 관계식은 $\Delta R_{CC'}/\Delta R_{BB'}=f(y,s)$ 와 같고, 여기서 $\Delta R_{BB'}$ 는 상기 제1 저항차를 나타내고, $\Delta R_{CC'}$ 는 상기 제2 저항차를 나타내며, f 는 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리 y 및 상기 접촉점들 간의 상기 간격 s 을 파라미터로서 포함하는 함수인 것을 특징으로 하는 방법.
- [0446] 23. 제22 추가 특징에 있어서, 상기 관계식 $\Delta R_{CC'}/\Delta R_{BB'}=f(y,s)$ 에서 상기 제1 저항차 $\Delta R_{BB'}$ 는 $\Delta R_{BB'} = 2R_H/\pi^*(\arctan(a/2y) + \arctan(b/2y) + \arctan(c/2y) - \arctan((a+b+c)/2y))$ 와 같고, 여기서 $\Delta R_{BB'}$ 는 상기 추가적인 제1 저항차($\Delta R_{BB'}$)를 나타내고, y 는 상기 거리(y)를 나타내고, a 는 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, b 는 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, c 는 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내며, 상기 관계식 $\Delta R_{CC'}/\Delta R_{BB'}=f(y,s)$ 에서 상기 제2 저항차 $\Delta R_{CC'}$ 는 $\Delta R_{CC'} = 2R_H/\pi^*(\arctan((a+b+c)/2y) + \arctan(b/2y) - \arctan((a+b)/2y) - \arctan((b+c)/2y))$ 와 같고, 여기서 $\Delta R_{CC'}$ 는 상기 추가적인 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)를 나타내고, y 는 상기 거리(y)를 나타내고, a 는 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, b 는 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내며, c 는 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0447] 24. 제1 추가 특징 내지 제23 추가 특징 중 어느 한 특징 및 상기 단계 (i.xii) 내지 (i.xx)를 포함하는 대안에 있어서,
- [0448] (i.xxiii) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단에 제5 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제5 전류를 발생시키는 단계,
- [0449] (i.xxiv) 상기 제1 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 제5 전류를 측정하는 단계,
- [0450] (i.xxv) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단의 제5 전압을 측정하는 단계,
- [0451] (i.xxvi) 상기 제5 전류 및 상기 제5 전압에 기초하여 제5 저항값(R_A)을 계산하는 단계,
- [0452] (i.xxvii) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단에 제6 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 제6 전류를 발생시키는 단계,
- [0453] (i.xxviii) 상기 제2 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 제6 전류를 측정하는 단계,
- [0454] (i.xxix) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단의 제6 전압을 측정하는 단계,

- [0455] (i.xxx) 상기 제6 전류 및 상기 제6 전압에 기초하여 제6 저항값($R_{A'}$)을 계산하는 단계,
- [0456] (i.xxxi) 상기 제5 저항값과 상기 제6 저항값 간의 차에 기초하여 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)을 계산하는 단계,
- [0457] (i.xxii) 상기 제1 관계식(f)을 정의할 때, 상기 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)를 나타내는 제4 파라미터를 상기 제1 관계식(f)에 더 포함시키는 단계, 및
- [0458] (i.xxiii) 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리(y)를 결정할 때, 상기 제1 관계식에서 상기 제1 및 상기 제2 파라미터로서 이용되는 상기 제1 및 상기 제2 저항차($\Delta R_{BB'}$, $\Delta R_{CC'}$) 외에 상기 제3 저항차 ($\Delta R_{A'}$)를 상기 제4 파라미터로서 이용하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0459] 25. 제1 추가 특징 내지 제24 추가 특징 중 어느 한 특징에 있어서, 상기 접촉점들은 일렬로 배치되고, 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 간격 및 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 간격은 대략 같은 것을 특징으로 하는 방법.
- [0460] 26. 제1 추가 특징 내지 제25 추가 특징 중 어느 한 특징에 있어서, 상기 접촉점들은 일렬로 배치되고, 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 간격은 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 간격과 다른 것을 특징으로 하는 방법.
- [0461] 27. 제26 추가 특징에 있어서, 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 간격은 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 간격보다 범위 1.1-3.7, 1.2-3.3, 1.3-2.9, 1.4-2.5, 1.5-2.1, 및 1.6-1.7 중 하나 이상, 및/또는 범위 1.2-1.3, 1.3-1.4, 1.4-1.5, 1.5-1.6, 1.6-1.7, 1.7-1.8, 1.8-1.9, 1.9-2.0, 2.0-2.2, 2.2-2.4, 2.4-2.6, 2.6-2.8, 2.8-3.0, 3.0-3.3, 3.3-3.6, 3.6-3.9 중 하나 내의 팩터, 및/또는 대략 5를 3으로 나눈 것, 또는 범위 1.2-3.8, 1.6-3.4, 1.8-3.2, 2.0-3.0, 2.2-2.8, 및 2.4-2.6 중 하나 이상, 및/또는 범위 1.2-1.3, 1.3-1.4, 1.4-1.5, 1.5-1.6, 1.6-1.7, 1.7-1.8, 1.8-1.9, 1.9-2.0, 2.0-2.2, 2.2-2.4, 2.4-2.6, 2.6-2.8, 2.8-3.0, 3.0-3.3, 3.3-3.6, 3.6-3.9 중 하나 내의 팩터, 및/또는 대략 5를 2로 나눈 것만큼 큰 것을 특징으로 하는 방법.
- [0462] 28. 제1 추가 특징 내지 제27 추가 특징 중 어느 한 특징에 있어서, 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 간격은 범위 1-5 μm , 5-10 μm , 10-15 μm , 15-20 μm , 20-25 μm , 25-30 μm , 30-40 μm , 40-50 μm , 50-500 μm 중 하나, 및/또는 범위 1-50 μm , 5-40 μm , 10-30 μm , 15-25 μm 중 하나 이상 내에 있는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0463] 29. 제24 추가 특징 내지 제28 추가 특징 중 어느 한 특징에 있어서, 상기 제1 관계식은 $(\Delta R_{AA'} + \alpha \Delta R_{CC'}) / \Delta R_{BB'} = f(y, a, b, c)$ 와 같고, 여기서 $\Delta R_{BB'}$ 는 상기 제1 저항차이고, $\Delta R_{CC'}$ 는 상기 제2 저항차이고, $\Delta R_{AA'}$ 는 상기 제3 저항차이고, α 는 -10부터 10까지 범위 내에 있는 튜닝 팩터이며, f는 상기 제1 위치와 상기 전기적 경계 간의 상기 거리 y를 포함하는 함수이고, a는 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 상기 간격이고, b는 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 상기 간격이며, c는 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 상기 간격인 것을 특징으로 하는 방법.
- [0464] 30. 제29 추가 특징에 있어서, 상기 튜닝 팩터 α 는 대략 1 또는 대략 -1인 것을 특징으로 하는 방법.
- [0465] 31. 제29 추가 특징 및 제30 추가 특징 중 어느 한 특징에 있어서, 상기 관계식 $(\Delta R_{AA'} + \alpha \Delta R_{CC'}) / \Delta R_{BB'} = f(y, a, b, c)$ 에서 상기 제1 저항차 $\Delta R_{BB'}$ 는 $\Delta R_{BB'} = 2R_H / \pi (\arctan(a/2y) + \arctan(b/2y) + \arctan(c/2y) - \arctan((a+b+c)/2y))$ 와 같

고, 여기서 $\Delta R_{BB'}$ 는 상기 추가적인 제1 저항차($\Delta R_{AA'}$)를 나타내고, y 는 상기 거리(y)를 나타내고, a 는 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, b 는 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, c 는 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내며, 상기 관계식($\Delta R_{AA'} + a \Delta R_{CC'}$)/ $\Delta R_{BB'}$ = $f(y, a, b, c)$ 에서 상기 제2 저항차 $\Delta R_{CC'}$ 는

$\Delta R_{CC'} = 2R_H/\pi^*(\arctan((a+b+c)/2y) + \arctan(b/2y) - \arctan((a+b)/2y) - \arctan((b+c)/2y))$ 와 같고, 여기서 $\Delta R_{CC'}$ 는 상기 추가적인 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)를 나타내고, y 는 상기 거리(y)를 나타내고, a 는 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, b 는 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, c 는 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내며, 상기 관계식($\Delta R_{AA'} + a \Delta R_{CC'}$)/ $\Delta R_{BB'}$ = $f(y, a, b, c)$ 에서 상기 제3 저항차 $\Delta R_{AA'}$ 는 $\Delta R_{AA'} = 2R_H/\pi^*(\arctan((a+b)/2y) - \arctan(a/2y) - \arctan((b+c)/2y) + \arctan(c/2y))$ 와 같고, 여기서 $\Delta R_{AA'}$ 는 상기 추가적인 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)를 나타내고, y 는 상기 거리(y)를 나타내고, a 는 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, b 는 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내며, c 는 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 상기 간격을 나타내는 것을 특징으로 하는 방법.

- [0466] 32. 제1 추가 특징 및 제31 추가 특징 중 어느 한 특징에 있어서, 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 상기 접촉점들 간의 상기 간격은 범위 0.1-100 μ m, 1-90 μ m, 10-80 μ m, 20-70 μ m, 30-60 μ m, 및 40-50 μ m 중 하나 이상, 및/또는 범위 0.1-1 μ m, 1-10 μ m, 10-20 μ m, 20-30 μ m, 30-40 μ m, 40-50 μ m, 50-60 μ m, 60-70 μ m, 70-80 μ m, 80-90 μ m, 90-100 μ m, 또는 100-500 μ m 중 하나 내에 있는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0467] 33. 테스트 샘플의 전기적으로 전도성인 표면부 상의 제1 위치에서 전기적 특성을 결정하는 방법으로서, 상기 전기적으로 전도성인 표면부는 전기적 경계를 가지며, 상기 방법은,
- [0468] (a) 제1 추가 특징 내지 제32 추가 특징 중 어느 한 특징에 따른 상기 테스트 샘플의 상기 전기적으로 전도성인 표면부 상의 상기 제1 위치와 상기 전기적으로 전도성인 표면부의 상기 전기적 경계 간의 거리(y)를 결정하는 단계,
- [0469] (b) 상기 전기적 특성 및 상기 거리(y)를 나타내는 제15 파라미터를 포함하는 제5 관계식을 정의하는 단계, 및
- [0470] (c) 상기 제5 관계식에서 상기 추가 거리(y)를 상기 제15 파라미터로서 이용하여 상기 전기적 특성을 결정하는 단계를 포함하고,
- [0471] 또는 대안으로 상기 방법은,
- [0472] (a) 제2 추가 특징 내지 제32 추가 특징 중 어느 한 특징에 따른 상기 테스트 샘플의 상기 전기적으로 전도성인 표면부 상의 상기 제1 위치와 상기 전기적으로 전도성인 표면부의 상기 전기적 경계 간의 추가 거리(y_2)를 결정하는 단계,
- [0473] (b) 상기 전기적 특성 및 상기 추가 거리(y_2)를 나타내는 제15 파라미터를 포함하는 제5 관계식을 정의하는 단계, 및
- [0474] (c) 상기 제5 관계식에서 상기 거리(y_2)를 상기 제15 파라미터로서 이용하여 상기 전기적 특성을 결정하는 단계를 포함하는 방법.
- [0475] 34. 제33 추가 특징에 있어서, 상기 제5 관계식은 상기 제1 접촉 요소, 상기 제2 접촉 요소, 상기 제3 접촉 요소, 및/또는 상기 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 상기 간격을 더 포함하고,
- [0476] (b') 상기 제5 관계식을 정의할 때, 상기 제5 관계식은 상기 제1 접촉 요소, 상기 제2 접촉 요소, 상기 제3 접촉 요소, 및/또는 상기 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내는 제16 파라미터를 더 포함하고,
- [0477] (c') 상기 전기적 특성을 결정할 때, 상기 제5 관계식에서 상기 제1 거리(y) 또는 상기 추가 거리(y_2) 외에 상

기 간격이 상기 제16 파라미터로 사용되는 것을 특징으로 하는 방법.

- [0478] 35. 제33 추가 특징 및 제34 추가 특징 중 어느 한 특징에 있어서, 상기 전기적 특성은 홀 시트 저항(R_H)이고 상기 제5 관계식(f_1, f_2)은 추가적인 제1 저항차($\Delta R_{BB'}$)를 나타내는 제17 파라미터를 더 포함하며, 상기 방법은,
- [0479] (d) 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단에 추가적인 제1 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제1 전류를 발생시키는 단계,
- [0480] (e) 상기 제1 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제1 전류를 측정하는 단계,
- [0481] (f) 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단의 추가적인 제1 전압을 측정하는 단계, 및
- [0482] (g) 상기 추가적인 제1 전류 및 상기 추가적인 제1 전압에 기초하여 추가적인 제1 저항값(R_B)을 계산하는 단계, 또는
- [0483] (g') 상기 거리를 추가적인 제1 저항값(R_B)으로 결정하는 단계로부터 상기 제1 저항값(R_B)을 보유하는 단계, 및
- [0484] (h) 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단에 추가적인 제2 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제2 전류를 발생시키는 단계,
- [0485] (i) 상기 제2 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제2 전류를 측정하는 단계,
- [0486] (j) 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단의 추가적인 제2 전압을 측정하는 단계, 및
- [0487] (k) 상기 추가적인 제2 전류 및 상기 추가적인 제2 전압에 기초하여 추가적인 제2 저항값($R_{B'}$)을 계산하는 단계, 또는
- [0488] (k') 상기 거리를 추가적인 제2 저항값($R_{B'}$)으로 결정하는 단계로부터 상기 제2 저항값($R_{B'}$)을 보유하는 단계, 및
- [0489] (l) 상기 추가적인 제1 저항값과 상기 추가적인 제2 저항값 간의 차에 기초하여 상기 추가적인 제1 저항차($\Delta R_{BB'}$)를 계산하는 단계, 또는
- [0490] (l') 상기 거리를 상기 추가적인 제1 저항차($\Delta R_{BB'}$)로 결정하는 단계로부터 상기 제1 저항차($R_{BB'}$)를 보유하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0491] 36. 제35 추가 특징에 있어서, 상기 제5 관계식은 $\Delta R_{BB'} = 2R_H/\pi * (\arctan(a/2y) + \arctan(b/2y) + \arctan(c/2y) - \arctan((a+b+c)/2y))$ 와 같고, 여기서 $\Delta R_{BB'}$ 는 상기 추가적인 제1 저항차($\Delta R_{BB'}$)를 나타내고, y 는 상기 거리(y) 또는 상기 추가 거리를 나타내고, a 는 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, b 는 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내며, c 는 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0492] 37. 제35 추가 특징 및 제36 추가 특징 중 어느 한 특징에 있어서, 상기 전기적 특성은 홀 시트 저항(R_H)이고 상기 제5 관계식(f_2, f_3)은 추가적인 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)를 나타내는 제17 파라미터를 더 포함하며, 상기 방법은,
- [0493] (d) 상기 제1 및 제2 접촉 요소 양단에 추가적인 제3 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제3 전류를 발생시키는 단계,
- [0494] (e) 상기 제1 또는 상기 제2 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제3 전류를 측정하는 단계,
- [0495] (f) 상기 제3 및 제4 접촉 요소 양단의 추가적인 제3 전압을 측정하는 단계,
- [0496] (g) 상기 추가적인 제3 전류 및 상기 추가적인 제3 전압에 기초하여 추가적인 제3 저항값(R_C)을 계산하는 단계,

또는 상기 단계 (i.xii) 내지 (i.xx)를 포함하는 대안예에서,

- [0497] (g') 상기 거리를 추가적인 제3 저항값(R_C)으로 결정하는 단계로부터 상기 제3 저항값(R_C)을 보유하는 단계,
- [0498] (h) 상기 제3 및 제4 접촉 요소 양단에 추가적인 제4 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제4 전류를 발생시키는 단계,
- [0499] (i) 상기 제3 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제4 전류를 측정하는 단계,
- [0500] (j) 상기 제1 및 제2 접촉 요소 양단의 추가적인 제4 전압을 측정하는 단계, 및
- [0501] (k) 상기 추가적인 제4 전류 및 상기 추가적인 제4 전압에 기초하여 추가적인 제4 저항값($R_{C'}$)을 계산하는 단계, 또는 상기 단계 (i.xii) 내지 (i.xx)를 포함하는 대안예에서,
- [0502] (k') 상기 거리를 추가적인 제4 저항값($R_{C'}$)으로 결정하는 단계로부터 상기 제4 저항값($R_{C'}$)을 보유하는 단계, 및
- [0503] (l) 상기 추가적인 제3 저항값과 상기 추가적인 제4 저항값 간의 차에 기초하여 상기 추가적인 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)를 계산하는 단계, 또는 상기 단계 (i.xii) 내지 (i.xx)를 포함하는 대안예에서,
- [0504] (l') 상기 거리를 상기 추가적인 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)로 결정하는 단계로부터 상기 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)를 보유하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0505] 38. 제37 추가 특징에 있어서, 상기 제5 관계식은
$$\Delta R_{CC'} = 2R_H/\pi^*(\arctan((a+b+c)/2y) + \arctan(b/2y) - \arctan((a+b)/2y) - \arctan((b+c)/2y))$$
 와 같고, 여기서 $\Delta R_{CC'}$ 는 상기 추가적인 제2 저항차($\Delta R_{CC'}$)를 나타내고, y는 상기 거리(y) 또는 상기 추가 거리를 나타내고, a는 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, b는 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내며, c는 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0506] 39. 제33 추가 특징 및 제34 추가 특징 중 어느 한 특징에 있어서, 상기 전기적 특성은 홀 시트 저항(R_H)이고 상기 제5 관계식(f_1)은 추가적인 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)를 나타내는 제17 파라미터를 더 포함하며, 상기 방법은,
- [0507] (d) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단에 추가적인 제5 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제5 전류를 발생시키는 단계,
- [0508] (e) 상기 제1 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제5 전류를 측정하는 단계,
- [0509] (f) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단의 추가적인 제5 전압을 측정하는 단계, 및
- [0510] (g) 상기 추가적인 제5 전류 및 상기 추가적인 제5 전압에 기초하여 추가적인 제5 저항값(R_A)을 계산하는 단계, 또는
- [0511] (g') 상기 거리를 추가적인 제5 저항값(R_A)으로 결정하는 단계로부터 상기 제5 저항값(R_A)을 보유하는 단계, 및
- [0512] (h) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단에 추가적인 제6 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제6 전류를 발생시키는 단계,
- [0513] (i) 상기 제2 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제6 전류를 측정하는 단계,
- [0514] (j) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단의 추가적인 제6 전압을 측정하는 단계, 및
- [0515] (k) 상기 추가적인 제6 전류 및 상기 추가적인 제6 전압에 기초하여 추가적인 제6 저항값($R_{A'}$)을 계산하는 단계, 또는
- [0516] (k') 상기 거리를 추가적인 제5 저항값($R_{A'}$)으로 결정하는 단계로부터 상기 제6 저항값($R_{A'}$)을 보유하는 단계,

및

- [0517] (1) 상기 추가적인 제5 저항값과 상기 추가적인 제6 저항값 간의 차에 기초하여 상기 추가적인 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)를 계산하는 단계, 또는
- [0518] (1') 상기 거리를 상기 추가적인 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)로 결정하는 단계로부터 상기 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)를 보유하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0519] 40. 제39 추가 특징에 있어서, 상기 제5 관계식은
$$\Delta R_{AA'} = 2R_H/\pi * (\arctan((a+b)/2y) - \arctan(a/2y) - \arctan((b+c)/2y) + \arctan(c/2y))$$
 같고, 여기서 $\Delta R_{AA'}$ 는 상기 추가적인 제3 저항차($\Delta R_{AA'}$)를 나타내고, y는 상기 거리(y) 또는 상기 추가 거리를 나타내고, a는 상기 제1 및 제2 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내고, b는 상기 제2 및 제3 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내며, c는 상기 제3 및 제4 접촉 요소의 접촉점들 간의 간격을 나타내는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0520] 41. 제33 추가 특징 및 제34 추가 특징 중 어느 한 특징에 있어서, 상기 전기적 특성은 시트 저항(R_0)이고 상기 제5 관계식(g)은 의사 시트 저항(R_p)을 나타내는 제17 파라미터를 더 포함하며, 상기 방법은,
- [0521] (d) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단에 추가적인 제5 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제5 전류를 발생시키는 단계,
- [0522] (e) 상기 제1 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제5 전류를 측정하는 단계,
- [0523] (f) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단의 추가적인 제5 전압을 측정하는 단계,
- [0524] (g) 상기 추가적인 제5 전류 및 상기 추가적인 제5 전압에 기초하여 추가적인 제5 저항값(R_A)을 계산하는 단계, 또는
- [0525] (g') 상기 거리를 추가적인 제5 저항값(R_A)으로 결정하는 단계로부터 상기 제5 저항값(R_A)을 보유하는 단계, 및
- [0526] (h) 상기 제2 및 제3 접촉 요소 양단에 추가적인 제6 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제6 전류를 발생시키는 단계,
- [0527] (i) 상기 제2 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제6 전류를 측정하는 단계,
- [0528] (j) 상기 제1 및 제4 접촉 요소 양단의 추가적인 제6 전압을 측정하는 단계,
- [0529] (k) 상기 추가적인 제6 전류 및 상기 추가적인 제6 전압에 기초하여 추가적인 제6 저항값($R_{A'}$)을 계산하는 단계, 또는
- [0530] (k') 상기 거리를 추가적인 제5 저항값($R_{A'}$)으로 결정하는 단계로부터 상기 제6 저항값($R_{A'}$)을 보유하는 단계, 및
- [0531] (l) 상기 추가적인 제5 저항값(R_A) 및 상기 추가적인 제6 저항값($R_{A'}$)의 제5 저항 평균($\overline{R_{AA'}}$)을 계산하는 단계,
- [0532] (d'') 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단에 추가적인 제1 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제1 전류를 발생시키는 단계,
- [0533] (e'') 상기 제1 또는 상기 제3 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제1 전류를 측정하는 단계,
- [0534] (f'') 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단의 추가적인 제1 전압을 측정하는 단계,
- [0535] (g'') 상기 추가적인 제1 전류 및 상기 추가적인 제1 전압에 기초하여 추가적인 제1 저항값(R_B)을 계산하는 단계, 또는

- [0536] (g''') 상기 거리를 추가적인 제1 저항값(R_B)으로 결정하는 단계로부터 상기 제1 저항값(R_B)을 보유하는 단계, 및
- [0537] (h'') 상기 제2 및 제4 접촉 요소 양단에 추가적인 제2 전위를 인가하여 상기 제1 위치에서 상기 표면부에 추가적인 제2 전류를 발생시키는 단계,
- [0538] (i'') 상기 제2 또는 상기 제4 접촉 요소를 통과하는 상기 추가적인 제2 전류를 측정하는 단계,
- [0539] (j'') 상기 제1 및 제3 접촉 요소 양단의 추가적인 제2 전압을 측정하는 단계,
- [0540] (k'') 상기 추가적인 제2 전류 및 상기 추가적인 제2 전압에 기초하여 추가적인 제2 저항값($R_{B'}$)을 계산하는 단계, 또는
- [0541] (k''') 상기 거리를 추가적인 제2 저항값($R_{B'}$)으로 결정하는 단계로부터 상기 제2 저항값($R_{B'}$)을 보유하는 단계, 및
- [0542] (l'') 상기 추가적인 제1 저항값(R_B) 및 상기 추가적인 제2 저항값($R_{B'}$)의 제6 저항 평균($\overline{R_{BB'}}$)을 계산하는 단계, 및
- [0543] (m) 상기 제5 저항 평균($\overline{R_{AA'}}$), 상기 제6 저항 평균($\overline{R_{BB'}}$), 및 상기 의사 시트 저항(R_P)을 각각 나타내는 제18, 제19, 및 제20 파라미터를 포함하는 제6 관계식을 정의하는 단계,
- [0544] (n) 상기 제6 관계식에서 상기 제5 저항 평균($\overline{R_{AA'}}$) 및 상기 제6 저항 평균($\overline{R_{BB'}}$)을 각각 상기 제18 파라미터 및 상기 제19 파라미터로서 이용하여 상기 의사 시트 저항(R_P)을 결정하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.
- [0545] 42. 제41 추가 특징에 있어서, 상기 제6 관계식은 $\exp(2\pi \cdot \overline{R_{AA'}}/R_P) - \exp(2\pi \cdot \overline{R_{BB'}}/R_P) = 1$ 와 같고, 여기서 R_P 는 상기 의사 시트 저항이고, $\overline{R_{AA'}}$ 는 상기 제1 저항 평균이며, $\overline{R_{BB'}}$ 는 상기 제2 저항 평균인 것을 특징으로 하는 방법.
- [0546] 43. 테스트 샘플의 전기적으로 전도성인 표면부 상의 제1 위치와 상기 전기적으로 전도성인 표면부의 전기적 관계 간의 거리를 결정하는 장치로서,
- [0547] 제1 접촉 요소, 제2 접촉 요소, 제3 접촉 요소, 및 제4 접촉 요소를 포함하는 멀티 추가 포인트 프로브 - 각 접촉 요소는 상기 테스트 샘플과의 전기적 접촉을 확립하기 위한 접촉점을 정의함 -, 및
- [0548] 제1 추가 특징 내지 제32 추가 특징 중 어느 한 특징에 따른 상기 거리 또는 추가 거리를 결정하는 방법을 수행하도록 구성된 제어 유닛
- [0549] 을 포함하는 장치.
- [0550] 44. 테스트 샘플의 전기적으로 전도성인 표면부 상의 제1 위치에서 전기적 특성을 결정하는 장치로서,
- [0551] 제1 접촉 요소, 제2 접촉 요소, 제3 접촉 요소, 및 제4 접촉 요소를 포함하는 멀티 추가 포인트 프로브 - 각 접촉 요소는 상기 테스트 샘플과의 전기적 접촉을 확립하기 위한 접촉점을 정의함 -, 및
- [0552] 제33 추가 특징 내지 제42 추가 특징 중 어느 한 특징에 따른 상기 테스트 샘플의 전기적으로 전도성인 표면부 상의 제1 위치에서 전기적 특성을 결정하는 방법을 수행하도록 구성된 제어 유닛을 포함하는 장치.

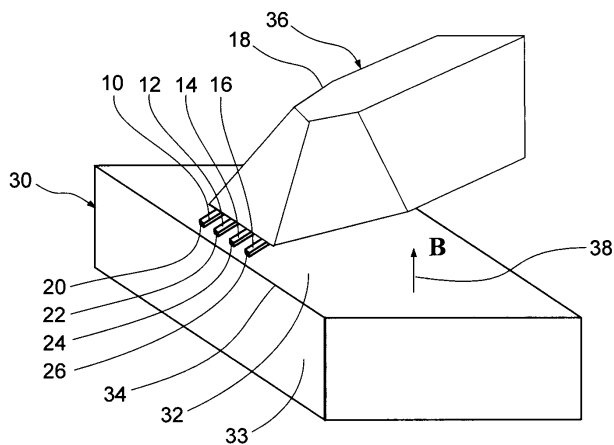
부호의 설명

[0553]

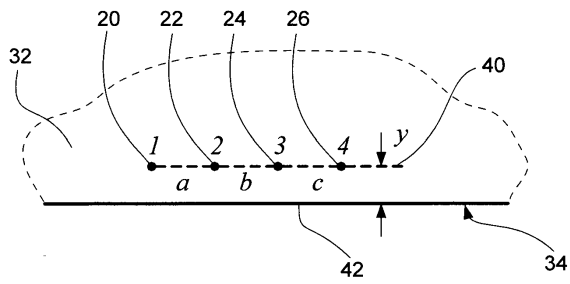
- 12: 제2 접촉 요소
- 14: 제3 접촉 요소
- 16: 제4 접촉 요소
- 18: 프로브 몸체
- 20: 제1 접촉 요소의 접촉점
- 22: 제2 접촉 요소의 접촉점
- 24: 제3 접촉 요소의 접촉점
- 26: 제4 접촉 요소의 접촉점
- 30: 테스트 샘플
- 32: 표면부
- 33: 측면
- 34: 전기적 경계
- 36: 멀티 포인트 프로브
- 40: 공통 라인
- 42: 선형 부분
- 44: 전기적으로 비전도성인 표면부
- 50-62: 접촉 요소
- 70-82: 접촉점
- 90: 공통 라인

도면

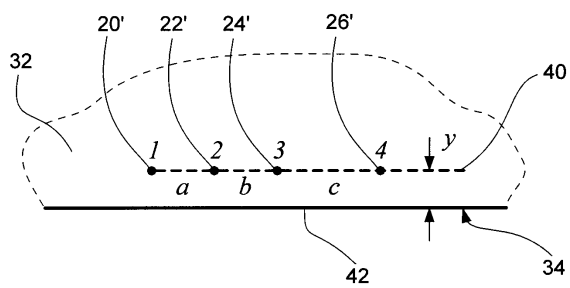
도면1



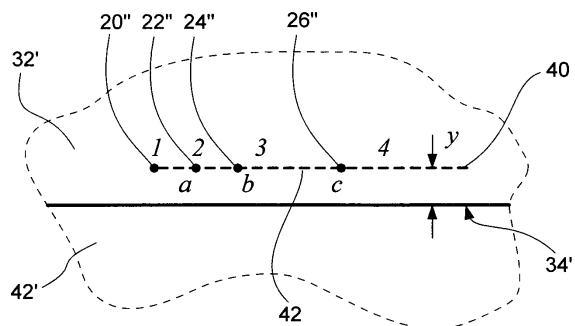
도면2a



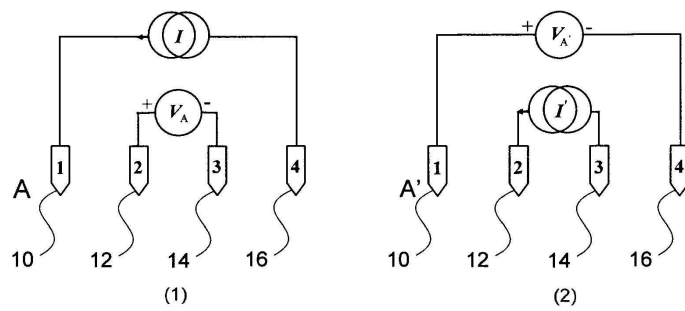
도면2b



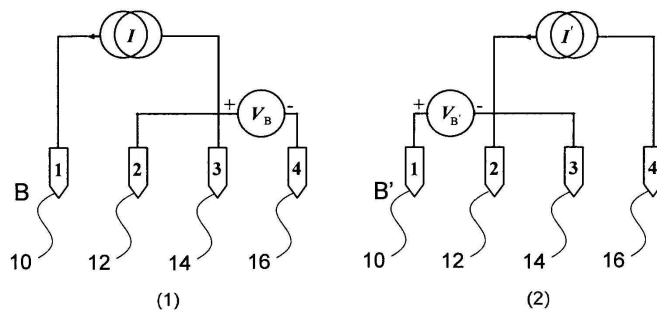
도면2c



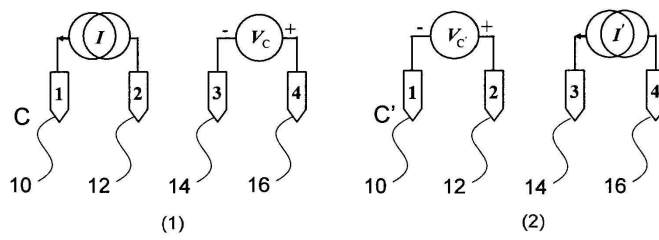
도면3a



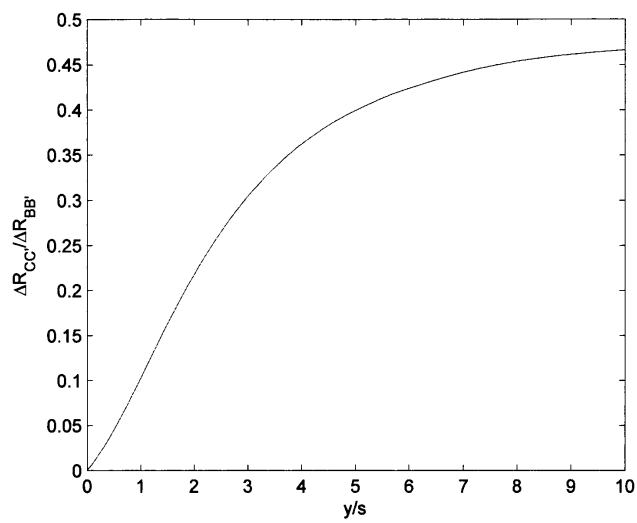
도면3b



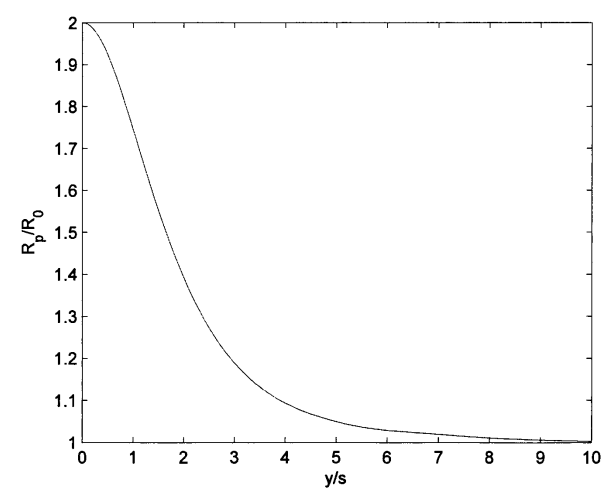
도면3c



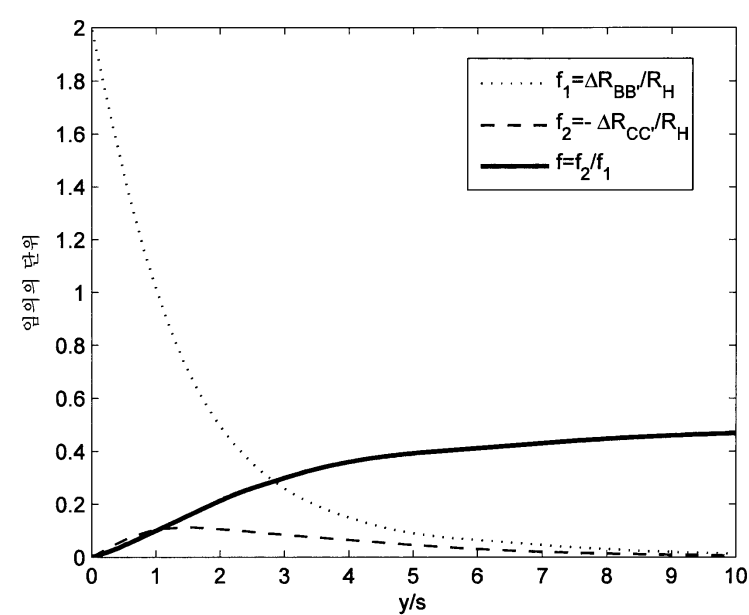
도면4a



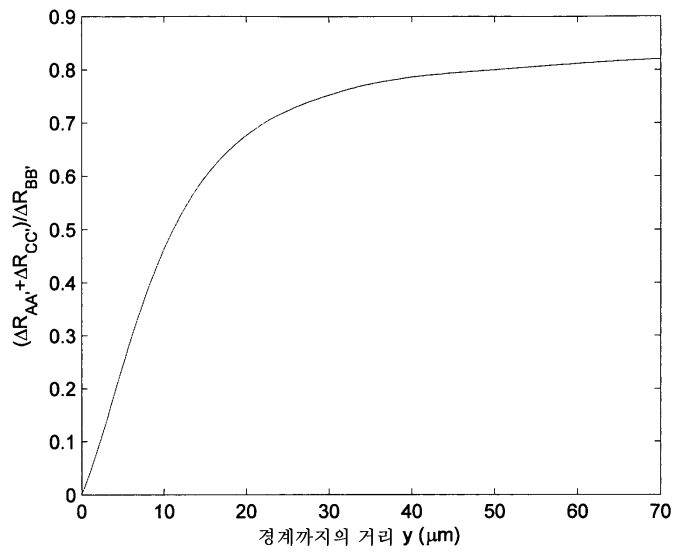
도면4b



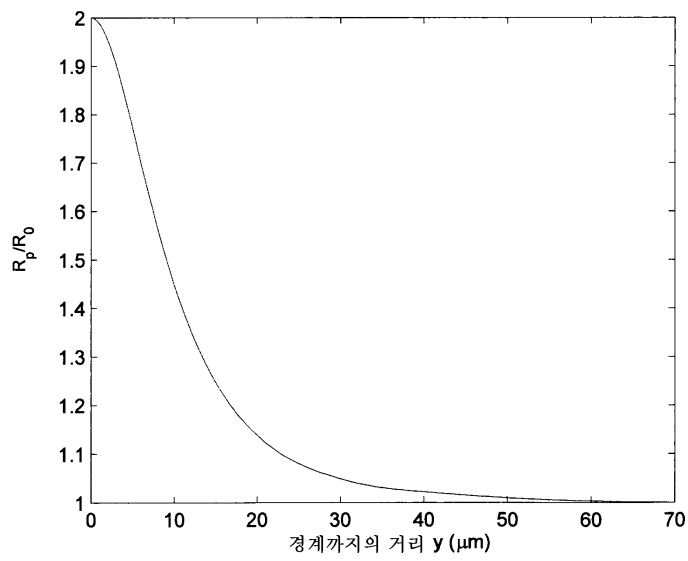
도면4c



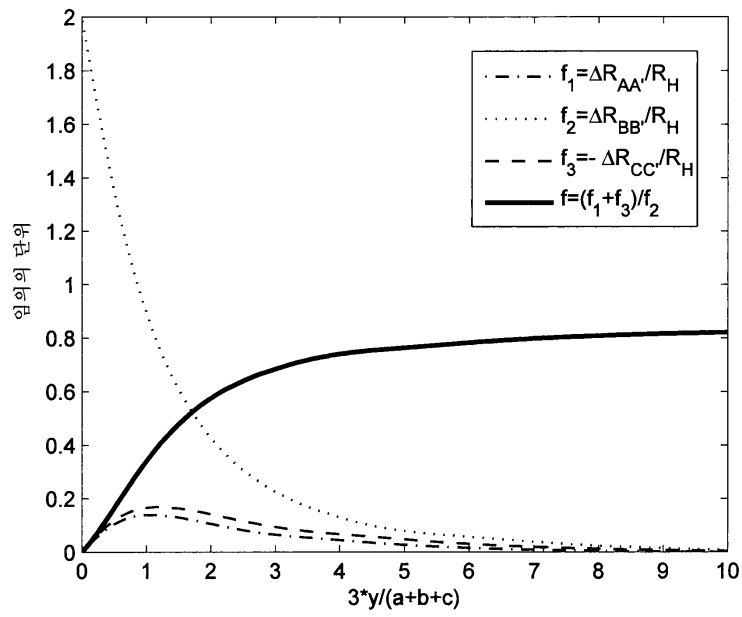
도면5a



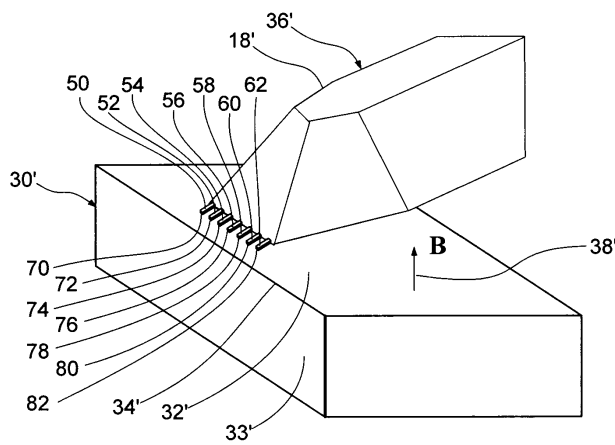
도면5b



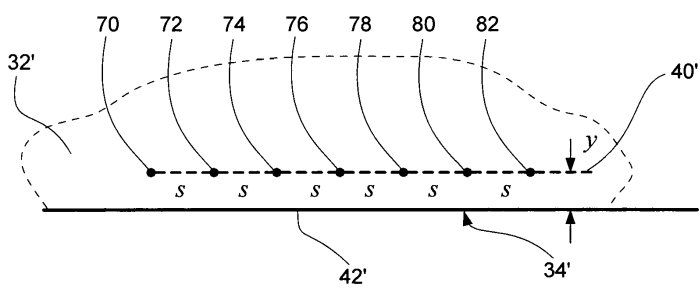
도면5c



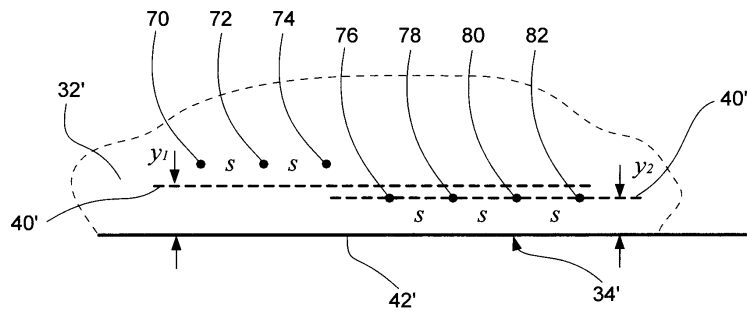
도면6



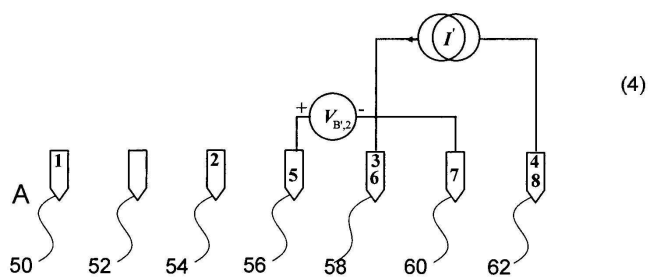
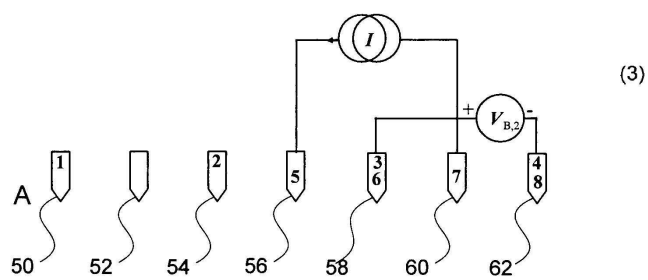
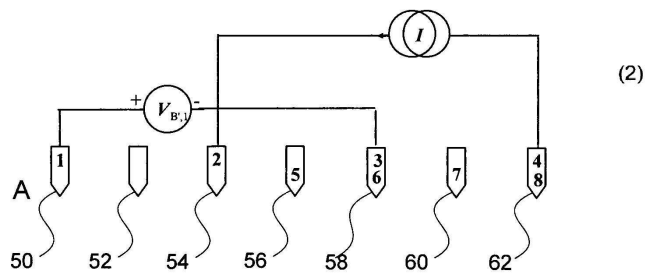
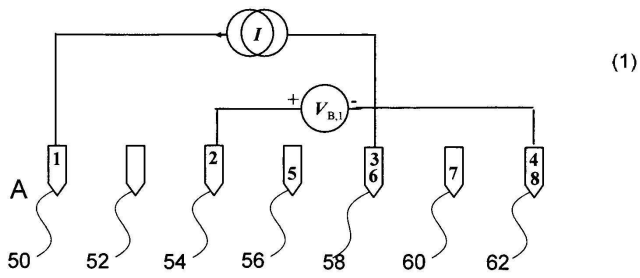
도면7a



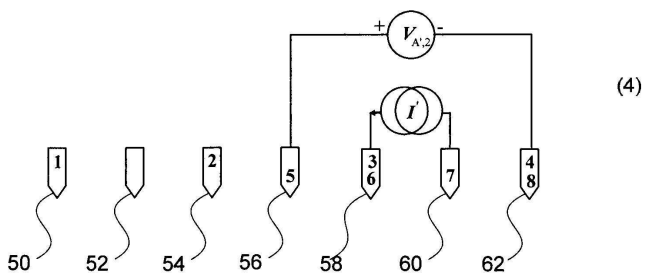
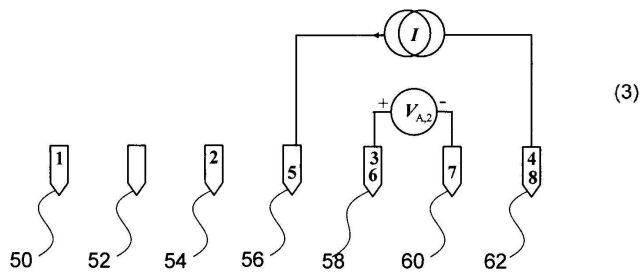
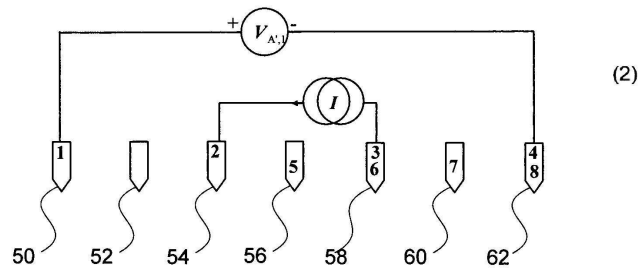
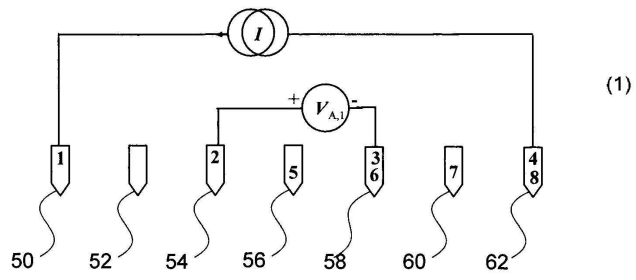
도면7b



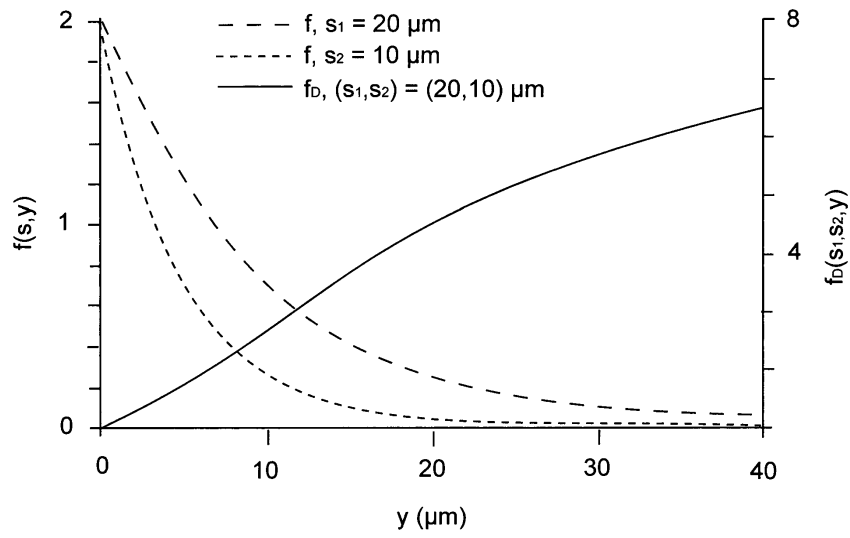
도면8a



도면8b



도면9



도면10

