

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-3902

(P2004-3902A)

(43) 公開日 平成16年1月8日(2004.1.8)

(51) Int. Cl.⁷

GO1N 21/35

HO1L 21/66

F I

GO1N 21/35

HO1L 21/66

HO1L 21/66

テーマコード(参考)

2GO59

4M106

Z
C
L

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2002-161085 (P2002-161085)

(22) 出願日 平成14年6月3日(2002.6.3)

(71) 出願人 592171153

株式会社栃木ニコン

栃木県大田原市実取770番地

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(74) 代理人 100078189

弁理士 渡辺 隆男

(72) 発明者 深澤 亮一

栃木県大田原市実取770番地 株式会社

栃木ニコン内

(72) 発明者 岩本 敏志

栃木県大田原市実取770番地 株式会社

栃木ニコン内

最終頁に続く

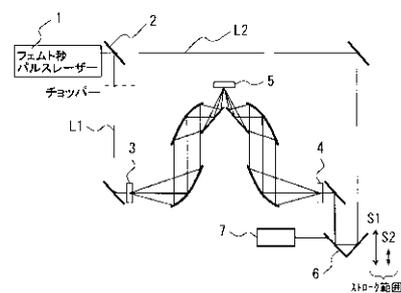
(54) 【発明の名称】 テラヘルツ光を用いた平面基板の電気特性測定方法

(57) 【要約】

【課題】半導体基板内部の多重反射の影響を受けることなく、簡便かつ正確に半導体の電気的特性パラメータを測定する方法を提供すること。

【解決手段】テラヘルツパルス光を繰り返し平面基板に照射し、平面基板からの反射光又は透過光を受光し、時間領域分光法を用いて受光された光の電場強度の時系列波形を測定し、時系列波形に基づいて求められた分光反射率又は分光透過率から平面基板の電気的特性パラメータを算出する電気特性測定方法において、平面基板の被照射面以外の面を経由して到来する光を検出しないように、前記テラヘルツパルス光の時間領域を設定する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

テラヘルツパルス光を繰り返し平面基板に照射し、該平面基板からの反射光又は透過光を受光し、時間領域分光法を用いて前記受光された光の電場強度の時系列波形を測定し、前記時系列波形に基づいて求められた分光反射率又は分光透過率から前記平面基板の電気的特性パラメータを算出する電気特性測定方法において、

前記平面基板の被照射面以外の面を経由して到来する光を検出しないように、前記テラヘルツパルス光の時間領域を設定することを特徴とする電気特性測定方法。

【請求項 2】

テラヘルツパルス光を繰り返し平面基板に照射し、該平面基板からの反射光又は透過光を受光し、時間領域分光法を用いて前記受光された光の電場強度の時系列波形を測定し、前記時系列波形に基づいて求められた分光反射率又は分光透過率から前記平面基板の電気的特性パラメータを算出する電気特性測定方法において、

前記電気的特性パラメータを算出する際に、前記時系列波形上の所定の時間範囲のみをフーリエ変換して分光反射率又は分光透過率を求めることを特徴とする電気特性測定方法。

【発明の詳細な説明】**【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明は、テラヘルツ時間領域分光法を用いた平面基板の電気特性測定方法に関する。

【0002】**【従来の技術】**

半導体デバイス産業において、半導体材料の電気特性に関わる物性値（キャリア濃度、移動度、抵抗率、電気伝導度など）は、半導体デバイスの性能を左右する重要な因子となっている。また、半導体基板上に成膜したエピタキシャル膜のキャリア濃度や移動度などの物性値も、デバイス特性を決める重要な因子となっている。光学的な厚みのある半導体基板の場合には、遠赤外領域における分光特性の解析から電気的特性パラメータを非破壊かつ非接触で評価する手法が知られている。また、特開2000-282497号公報に開示されているものは、テラヘルツ時間領域分光法を用いて時系列波形を測定し、これをフーリエ変換して半導体材料の分光透過率又は分光反射率を得て、この値に基づいて電気的特性パラメータを算出している。

【0003】**【発明が解決しようとする課題】**

しかし、基板内部での多重反射が生じると、干渉フリッジとなって反射率スペクトル上に現れるために反射率スペクトルが複雑になり解析を困難にする。また、結晶基板上に形成されたエピタキシャル膜の分光反射率特性を測定する場合にも同様に、基板裏面の反射が重畳するために、正しい分光反射率特性が得られない。さらに、基板内部の多重反射に起因する干渉フリッジは、反射率スペクトルの形状を歪ませるためにスペクトル形状から物性値を評価することを極めて難しくする。

従来は、最も強く干渉フリッジを引き起こす基板裏面からの反射の影響を取り除くために、基板を楔型にするとか、裏面を荒らして乱反射するようにして戻り光を排除するための加工をしていた。しかし、半導体製造工程において測定試料を加工することは、それが製品として使用できなくなるし、加工に手間がかかるために、望ましくない。従って、半導体デバイス作製工程において、これらの電気的特性パラメータを得る際に半導体試料を加工することなしに測定する簡便な測定法の開発が望まれている。

本発明は、基板内部の多重反射に起因する干渉フリッジの影響を全く受けることなく、簡便に半導体試料の電気的特性パラメータを測定する方法を提供することを目的とする。

【0004】**【課題を解決するための手段】**

本発明の請求項 1 に係る発明は、「テラヘルツパルス光を繰り返し平面基板に照射し、該平面基板からの反射光又は透過光を受光し、時間領域分光法を用いて前記受光された光の

10

20

30

40

50

電場強度の時系列波形を測定し、前記時系列波形に基づいて求められた分光反射率又は分光透過率から前記平面基板の電気的特性パラメータを算出する電気特性測定方法において

、前記平面基板の被照射面以外の面を經由して到来する光を検出しないように、前記テラヘルツパルス光の照射時間を設定することを特徴とする電気特性測定方法」である。

【0005】

本発明の請求項2に係る発明は、「テラヘルツパルス光を繰り返し平面基板に照射し、該平面基板からの反射光又は透過光を受光し、時間領域分光法を用いて前記受光された光の電場強度の時系列波形を測定し、前記時系列波形に基づいて求められた分光反射率又は分光透過率から前記平面基板の電気的特性パラメータを算出する電気特性測定方法において

10

、前記電気的特性パラメータを算出する際に、前記時系列波形上の所定の時間範囲のみをフーリエ変換して分光反射率又は分光透過率を求めることを特徴とする電気特性測定方法」である。

【0006】

【発明の実施の形態】

はじめに、テラヘルツパルス光の計測技術として現在確立されているテラヘルツ時間領域分光法について述べる。テラヘルツ時間領域分光は、テラヘルツパルス光の電場強度の時系列波形 $E(t)$ を計測し、時系列波形をフーリエ変換することにより反射率スペクトル又は透過率スペクトルを得る分光法である。分光反射率又は分光透過率に基づいて平面基板の電気特性、すなわちキャリア濃度、移動度、抵抗率、電気伝導度などの物性値が得られる。

20

【0007】

図1は、本発明のテラヘルツ光を用いた電気特性測定装置の概略構成図であり、時間領域分光を説明するための図でもある。

【0008】

フェムト秒パルスレーザー1から放射された光パルスは、ビームスプリッター2を経てポンプパルスL1とプローブパルスL2に分けられる。ポンプパルスL1は、テラヘルツパルス光を発生させるためにテラヘルツ光源3へと導かれる。一方、プローブパルスL2は、半導体試料(半導体基板)5を經由してきたテラヘルツパルス光を受光(検出)するためにテラヘルツ光検出器4へと導かれる。プローブパルスL2を導く光路上には可動鏡6が設けられ、可動鏡6を矢印で示される方向に移動させることにより、プローブパルスL2がテラヘルツ光検出器4へ到達する時間を変化させることができる。可動鏡6とこれを矢印方向に変位させるための駆動機構7を併せて時間遅延装置と呼んでいる。

30

【0009】

フェムト秒パルスレーザー1から放射される光パルスのパルス幅は約 $100 \text{ fs} = 1 \times 10^{-13}$ 秒)で、繰り返し周期は数十MHzである。従って、放射されるテラヘルツパルス光も数十MHzの繰り返しで放射される。現在のテラヘルツ光検出器では、このテラヘルツパルス光の波形を瞬時に、その形状のまま計測することは不可能である。

【0010】

そこで、本計測法では、同じ波形のテラヘルツパルス光が数十MHzの繰り返しでテラヘルツ光検出器4へ到来することを利用して、ポンプパルスL1とプローブパルスL2の間に時間遅延を設けて、テラヘルツパルス光の波形を計測するポンプ・プローブ法をとる。すなわち、テラヘルツ光源1を作動させるポンプパルスに対してテラヘルツ光検出器4の側を作動させるタイミングを t 秒だけ遅らせることにより、 t 秒だけ遅れた時間でのテラヘルツパルス光の電場強度が測定できる。言い換えれば、プローブパルスL2はテラヘルツ光検出器4に対してゲートをかけていることになる。また、可動鏡6を徐々に移動させることは、時間 t を徐々に変えていることにほかならない。

40

【0011】

時間遅延装置によってゲートをかけるタイミングをずらしながら繰り返し到来するテラヘ

50

ルツパルス光を継ぎ合わせて一つの波形を再現するしくみとなっている。このようにしてテラヘルツ光の電場の時系列波形 $E(t)$ を測定することができる。テラヘルツ光検出器 4 は、プローブパルス L_2 が当たった時のみキャリアを生ずるようになっており、同時にテラヘルツパルス光が当たって電場がかかっているならば、その電場に比例した光伝導電流が流れる。このとき測定される電流 $J(t)$ はテラヘルツパルス光の電場強度 $E(t)$ と光励起キャリアの光伝導度 $g(\tau - t)$ のコンボリューションの形で数 1 のように表せる。

【0012】

【数 1】

$$J(t) \propto \int E(\tau)g(\tau - t)d\tau$$

10

【0013】

光伝導度 $g(\tau - t)$ がデルタ関数に近いものならば、測定される電流値は到来するテラヘルツパルス光の電場の振幅 $E(t)$ に比例したものになる。

【0014】

図 2 は、このようにして得られたテラヘルツパルス光の電場 $E(t)$ の時系列波形である。この時系列波形は、図 1 の電気特性測定装置でテラヘルツ時間領域分光方法を用いて半導体試料 5 を実測した結果であり、縦軸が電場強度、横軸が時間である。この測定においては、時系列波形のデータのサンプリング間隔 Δt は 0.06667 ps で 1024 点測定している。

20

【0015】

図 3 は、半導体基板 5 の内部での多重反射の様子を示した模式図である。半導体基板 5 にはエピタキシャル膜 8 が形成されており、エピタキシャル膜 8 側からの入射光の一部が基板表面（つまり、エピタキシャル膜 8）で反射し、一部が基板内部を透過する。基板内部を透過した光の一部が基板裏面で反射し、それが再度基板内部を透過して基板表面から射出する光と再度基板内部に戻ってゆく光になる。このような繰り返し反射が多重反射と呼ばれるものである。

30

【0016】

再び、図 2 を参照すると、時系列波形には幾つかのピークが現れている。一番目のピーク P_1 はテラヘルツパルス光が半導体基板 5 の表面で反射されたことに起因し、二番目のピーク P_2 はテラヘルツパルス光が基板 5 の裏面で反射されたことに起因している。同様に、ピーク P_3 は基板 5 の裏面で 2 回反射、ピーク P_4 は基板 5 の裏面で 3 回反射されたことに起因している。図 3 中の多重反射の番号は、図 2 の時系列波形のピークの番号にそれぞれ対応している。

【0017】

従来の分光法では、多重反射によって反射してくる反射光のすべてを同時に観測しているが、テラヘルツ時間領域分光法では、反射光が光検出器に到来する時間を時系列波形として時間分解して観測している点が原理的に異なる。従って、基板内部における反射回数が多いほど反射に起因したピークが時間的に遅れて現れてくる。

40

【0018】

テラヘルツ時間領域分光法を用いて反射率スペクトルを得る際には、時系列波形をフーリエ変換する。基板内部で起こる光の多重反射に起因したピークは、反射率スペクトル全体の形状を複雑にする。

【0019】

図 4 は、図 2 の時系列波形をフーリエ変換することによって得られた反射率スペクトルのグラフであり、縦軸が反射率、横軸が周波数である。一見して分かることは、反射率の大小の繰り返し、すなわち激しい干渉フリッジが観測されていることである。このような干

50

渉フリンジは、反射率スペクトル全体の形状に影響を及ぼすため、スペクトルの解析を複雑にして基板上に形成されたエピタキシャル膜などの薄膜に関する正確な物性値を求めることは極めて困難となる。

本発明では、時系列波形を測定する際に、基板裏面からの反射光（図3参照）が戻ってくる手前の時間で測定を止めることにより上記問題を解決している。すなわち、図1に示すように、駆動機構7を制御して可動鏡6を矢印方向に変位させるストローク範囲をS1からS2の矢印で示される短い設定にすることによって、基板裏面からの反射光が戻ってくる手前の時間で測定を止める。このようにすれば、基板内部での多重反射による干渉フリンジの影響を受けることなく反射率スペクトルを測定し、その解析から基板上の膜の正確な物性値を得ることができる。

10

本発明は、テラヘルツ時間領域分光法の特徴を利用した測定手法であり、従来の分光法においてこのような測定は不可能であった。本測定手法は、基板上の膜の光学定数を測定する目的に対しても干渉フリンジの影響を取り除けるので極めて有効である。

【0020】

図5は、このようにして得られたテラヘルツパルス光の電場 $E(t)$ の時系列波形である。サンプルである半導体試料は、図2の時系列波形を得たときのものと同じものである。しかし、この測定においては、時系列波形のデータのサンプリング間隔 t は 0.06667ps で256点測定しており、図2における1024点測定と比較すると $1/4$ の測定時間になっている。このように、時系列波形の所定範囲の時間を選択することによっても基板内部での多重反射による干渉フリンジの影響を受けることなく反射率スペクトルを測定し、その解析から基板上の膜の正確な物性値を得ることができる。

20

【0021】

図6は、図5の時系列波形をフーリエ変換することにより得られた反射率スペクトルであり、図4に対応するグラフである。図6の反射率スペクトルを図4のそれと比較すると、明らかに基板内部の多重反射に起因した干渉フリンジの影響が取り除かれているのが分かる。

本発明の測定方法の長所は、(1)干渉フリンジに影響されないスペクトルが得られる、(2)データ点数が少なくなるので測定時間の短縮化ができる、という点にある。

続いて、本発明の測定方法を用いて、半導体基板上に成膜したエピタキシャル膜の物性値の定量測定について具体的に説明する。ここでは、エピタキシャル膜の重要な電気特性パラメータであるキャリア濃度と移動度を算出した。測定に用いた4種類のキャリア濃度を有するn型GaAs膜は、半絶縁性のGaAs基板上（厚さ $625\mu\text{m}$ ）に分子線エピタキシー結晶成長法によって成膜したものである。膜の厚みは $2\mu\text{m}$ である。成膜条件から決められたn型GaAs層のキャリア濃度の保証値は、それぞれ 3×10^{15} 、 1×10^{16} 、 4×10^{16} 、 $1 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ である。

30

図7は、多重反射による干渉フリンジの影響を含まない反射率スペクトルであり、測定により得られたものである。

図8は、基板裏面からの反射を考慮しない理論によって計算された反射率スペクトルである。図7と図8の反射率スペクトルをみると、測定値と理論値は大変良く一致しているのが分かる。

40

図9は、観測された反射率スペクトルの形状を最もよく再現するキャリア濃度を非線型最適化法により求めた結果とエピタキシャル成膜条件から決められたキャリア濃度をプロットした結果である。両者は、比例直線に大体載っており、良く一致していることが分かる。

図10は、観測された反射率スペクトルの形状を最もよく再現するキャリア濃度と移動度を、電気測定から決められたキャリア濃度と移動度の関係を示すグラフ上にプロットした結果である。テラヘルツ時間領域分光測定から得たキャリア濃度と移動度の関係を示す点（図中、三角印で表記）は、電気測定から決められたキャリア濃度と移動度の関係を示す曲線に近接している。従って、テラヘルツ時間領域分光測定から得られた値は、電気測定から得られた値とほぼ一致していることが分かる。

50

【 0 0 2 2 】

また、本実施形態では、半導体基板上の半導体薄膜の電気特性パラメータを測定する方法を述べたが、半導体基板に形成されたイオン注入層の反射率スペクトル測定についても本発明は応用可能である。更に、半導体薄膜以外でも誘電体や超伝導体などの薄膜の反射率スペクトル測定についても本発明は応用可能である。

【 0 0 2 3 】

【 発明の効果 】

上述のように、本発明によれば、平面基板の電気特性パラメータを簡便かつ正確に測定することができる。

【 図面の簡単な説明 】

10

【 図 1 】 本発明の実施形態に係る電気特性測定装置の概略構成図である。

【 図 2 】 時系列波形である。

【 図 3 】 半導体基板内部での光の多重反射の様子を示す模式図である。

【 図 4 】 図 2 時系列波形から得られた反射率スペクトルである。

【 図 5 】 本発明の実施形態に係る時系列波形である。

【 図 6 】 図 5 の時系列波形から得られた反射率スペクトルである。

【 図 7 】 本発明の実施形態に係る、干渉フリンジの影響を除いた反射率スペクトルの測定値である。

【 図 8 】 干渉フリンジの影響を除いた反射率スペクトルの計算値である。

【 図 9 】 本発明により得られたキャリア濃度と成膜条件から得られたキャリア濃度の関係を示すグラフである。 20

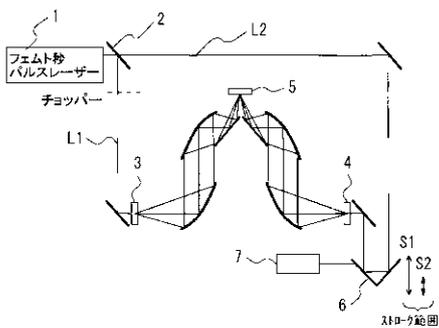
【 図 1 0 】 本発明により得られた電気特性パラメータと電気測定値の対比を示すグラフである。

【 符号の簡単な説明 】

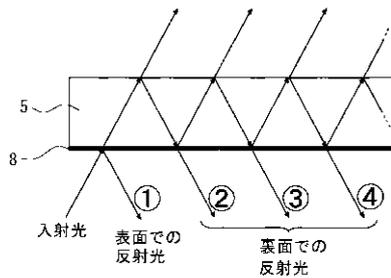
- 1・・・フェムト秒パルスレーザー
- 2・・・ビームスプリッター
- 3・・・テラヘルツ光源
- 4・・・テラヘルツ光検出器
- 5・・・半導体試料（半導体基板）
- 6・・・可動鏡
- 7・・・駆動機構

30

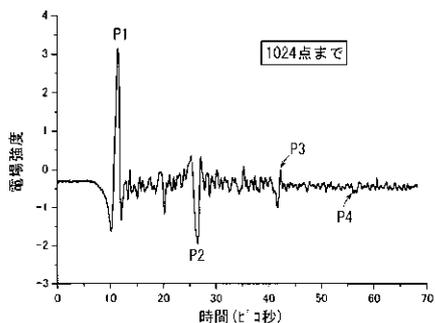
【 図 1 】



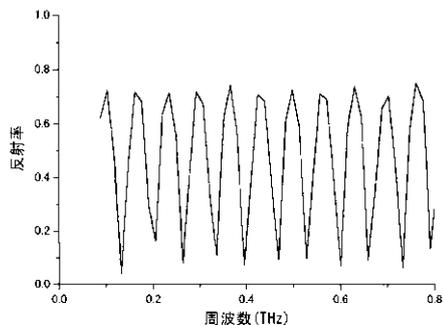
【 図 3 】



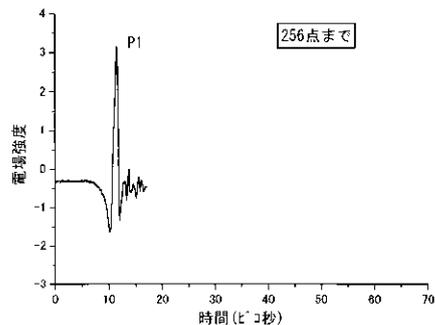
【 図 2 】



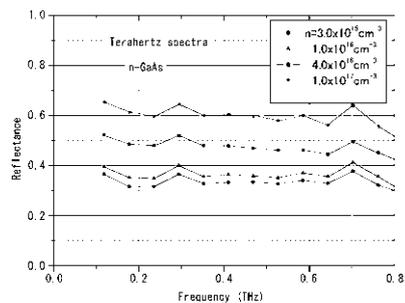
【 図 4 】



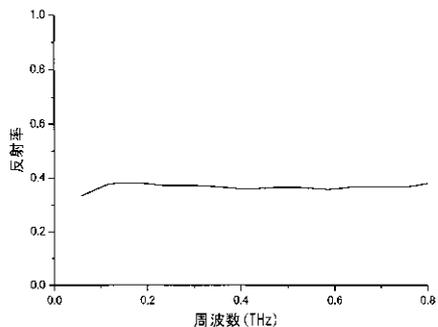
【 図 5 】



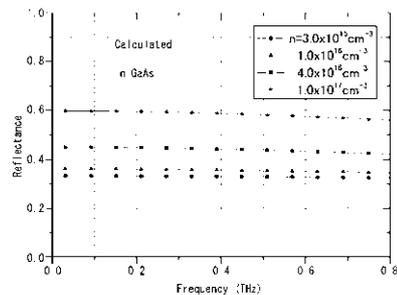
【 図 7 】



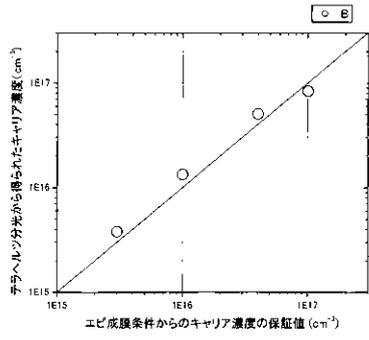
【 図 6 】



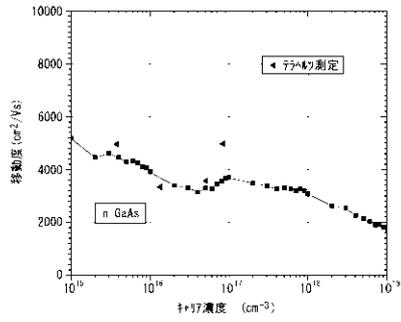
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2G059 AA03 AA05 BB10 BB16 EE01 EE02 EE12 FF04 FF09 GG01
GG08 HH01 JJ01 JJ15 JJ22 KK01 LL04 MM01
4M106 AA01 BA05 CA21 CB01 CB12 CB30 DH11 DH32 DH39