

(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2010-181288

(P2010-181288A)

(43) 公開日 平成22年8月19日(2010.8.19)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G O 1 R 31/302 (2006.01)	G O 1 R 31/28 L	2 G 1 3 2
H O 1 L 21/66 (2006.01)	H O 1 L 21/66 C	4 M 1 0 6

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2009-25308 (P2009-25308)
(22) 出願日 平成21年2月5日 (2009.2.5)

(出願人による申告) 平成21年度 独立行政法人科学技術振興機構 先端計測分析技術・機器開発事業開発課題名「超 L S I 故障箇所解析装置」委託研究、産業技術力強化法19条の適用を受ける特許出願

(71) 出願人 302062931
ルネサスエレクトロニクス株式会社
神奈川県川崎市中原区下沼部1753番地
(74) 代理人 100080816
弁理士 加藤 朝道
(72) 発明者 二川 清
神奈川県川崎市中原区下沼部1753番地
N E C エレクトロニクス株式会社内
Fターム(参考) 2G132 AA00 AF14 AG00 AL11
4M106 AA10 BA05 BA08 CA49 DH01
DH18 DH32

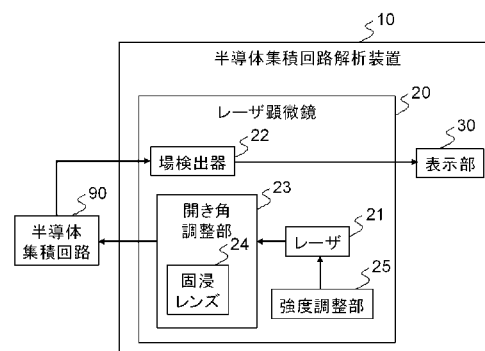
(54) 【発明の名称】 半導体集積回路の解析装置及び解析方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】組立工程前の半導体集積回路におけるレーザ光照射対象箇所に対する明瞭な画像を取得できるようにする手段を提供する。

【解決手段】半導体集積回路解析装置10は、半導体集積回路90へレーザ光を照射して発生した光誘起電流による場を場検出器によって検出するレーザ顕微鏡22を備え、レーザ21の波長は、半導体集積回路を構成する半導体を1光子励起するには不十分であって2光子励起するには十分である範囲の1.2 μm以上であって、2.3 μm以下である。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

半導体集積回路へレーザ光を照射して発生した光誘起電流による場を場検出器によって検出するレーザ顕微鏡を備え、

前記レーザ光の波長は、前記半導体集積回路を構成する半導体を 1 光子励起するには不十分であって 2 光子励起するには十分であることを特徴とする半導体集積回路解析装置。

【請求項 2】

前記レーザ光の波長は、 $1.2\text{ }\mu\text{m}$ 以上であって $2.3\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする、請求項 1 に記載の半導体集積回路解析装置。

【請求項 3】

前記レーザ顕微鏡は、前記レーザ光の開き角を調整する開き角調整部を備えることを特徴とする、請求項 1 又は 2 に記載の半導体集積回路解析装置。

【請求項 4】

前記開き角調整部は、前記半導体集積回路のレーザ光が照射される面上に配置された固浸レンズを有することを特徴とする、請求項 3 に記載の半導体集積回路解析装置。

【請求項 5】

前記レーザ顕微鏡は、前記レーザ光の強度を調整する強度調整部を備えることを特徴とする、請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の半導体集積回路解析装置。

【請求項 6】

前記場検出器により検出された場を表示する表示部をさらに備えることを特徴とする、請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の半導体集積回路解析装置。

【請求項 7】

前記場は誘導磁場であって前記場検出器は S Q U I D であることを特徴とする、請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の半導体集積回路解析装置。

【請求項 8】

前記場はテラヘルツ波であって前記場検出器はテラヘルツ波検出器であることを特徴とする、請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の半導体集積回路解析装置。

【請求項 9】

半導体集積回路へレーザ光を照射する工程と、

前記半導体集積回路において発生した光誘起電流による場を場検出器によって検出する工程と、を含み、

前記レーザ光の波長は、前記半導体集積回路を構成する半導体を 1 光子励起するには不十分であって 2 光子励起するには十分であることを特徴とする半導体集積回路解析方法。

【請求項 10】

前記場検出器により検出された場を表示する工程をさらに含むことを特徴とする、請求項 9 に記載の半導体集積回路解析方法。

【請求項 11】

前記レーザ光の開き角を調整する工程をさらに含むことを特徴とする、請求項 9 又は 10 に記載の半導体集積回路解析方法。

【請求項 12】

前記レーザ光の強度を調整する工程をさらに含むことを特徴とする、請求項 9 乃至 11 のいずれか 1 項に記載の半導体集積回路解析方法。

【請求項 13】

前記場は誘導磁場であって前記場検出器は S Q U I D であることを特徴とする、請求項 9 乃至 12 のいずれか 1 項に記載の半導体集積回路解析方法。

【請求項 14】

前記場はテラヘルツ波であって前記場検出器はテラヘルツ波検出器であることを特徴とする、請求項 9 乃至 12 のいずれか 1 項に記載の半導体集積回路解析方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】**

10

20

30

40

50

【 0 0 0 1 】

本発明は、半導体集積回路の解析装置及び解析方法に関し、特に、非破壊で半導体集積回路を検査する解析装置及び解析方法に関する。

【 背景技術 】

【 0 0 0 2 】

半導体集積回路（ＬＳＩ）検査装置及び検査方法は、ＬＳＩチップの良否を判定するため、すなわち、異常のあるＬＳＩチップを識別するために用いられる。一方、ＬＳＩ解析装置及び解析方法は、異常があるものと判定されたＬＳＩチップを対象として、ＬＳＩチップ上の故障箇所を特定し、故障の原因を解析するために用いられる。

【 0 0 0 3 】

ＬＳＩの故障解析の手順は、大きく２つの手順に分けられる。まず、ＬＳＩチップ上の故障被疑箇所を非破壊でミクロンオーダーまで絞り込む。次に、絞り込まれた箇所を物理化学的に破壊解析する。本発明は、前者の故障被疑箇所の絞り込みに用いられる技術に関する。

【 0 0 0 4 】

図９は、非特許文献１に記載のレーザＳＱＵＩＤ顕微鏡の構成を示すブロック図である。図９を参照すると、非特許文献１に記載のレーザＳＱＵＩＤ顕微鏡１２０は、パルス発生器１６３、変調用信号１７１、参照信号１７２、レーザ１６１、ロックインアンプ１６７、光ファイバ１６４、光学系１６５、変調光１７３、Ｘ－Ｙ走査可能な試料台（試料ステージ）１６６、ＳＱＵＩＤ（ＳＱＵＩＤ磁気センサ）１６２、磁場信号１７７、制御部１６８、ＰＣ（Personal Computer）１８０を備える。

【 0 0 0 5 】

半導体集積回路９０は、解析対象とされる試料であり、総誘導磁場１７６はＳＱＵＩＤ１６２により検出される磁場を示す。ＰＣ１８０は画面上に、検出された磁場の強度像１７８及び位相像１７９を表示する。

【 0 0 0 6 】

レーザ１７１は波長１０６４ｎｍ付近のレーザであって、単一光子で電子正孔対の励起（１光子励起）が可能な波長のレーザである。

【 0 0 0 7 】

図１１は、非特許文献１に記載の走査レーザＳＱＵＩＤ顕微鏡１２０の動作を示すフローチャートである。図９及び図１１を参照して、非特許文献１に記載のレーザＳＱＵＩＤ顕微鏡１２０の動作について説明する。

【 0 0 0 8 】

まず、レーザ１６１は、光学系１６５を介して半導体集積回路９０へ変調光１７３を照射する（ステップＳ１１）。ＳＱＵＩＤ１６２は、変調光１７２の照射の結果として発生した（ステップＳ１２、Ｓ１３）総誘導磁場１７６を検出する（ステップＳ１４）。ロックインアンプ１６７は、ＳＱＵＩＤ１６２から磁場信号を受信し、制御部２１へ強度信号及び位相信号を出力する。試料台１６６を走査しつつ以上の動作を行うことによって、ＰＣ１８０において磁場の強度像１７８及び位相像１７９が得られる（ステップＳ１４）。

【 0 0 0 9 】

また、特許文献１において、２光子吸収により電子を励起するのには十分であり、１光子吸収により電子を励起するのには不十分な波長のレーザによる半導体デバイスの画像化方法が記載されている。

【 0 0 1 0 】

特許文献１の図２は、特許文献１に記載の画像化方法において用いられる装置の構成を示すブロック図である。特許文献１の図２を参照すると、この装置は、半導体デバイス２０に照射されるビーム２３、および、ビーム２３を発生するためのポンプレーザ２１０を備える。半導体デバイス２０は画像化の対象とされる試料であり、導電性リード２０４、２０５は半導体デバイス２０の電極を外部に取り出すために用いられる。

【 0 0 1 1 】

10

20

30

40

50

特許文献 1 の図 1 は、特許文献 1 に記載の半導体デバイスの画像化のステップを示す。特許文献 1 の図 1 を参照すると、まず、半導体デバイス 20 に 2 光子励起のための光ビーム 23 を集光する（ステップ A ないし C）。次に、導電性リード 204、205 を介して、走査領域の電流を測定し（ステップ D）、測定された電流値に対応した走査領域の画像を形成する（ステップ E）。

【0012】

さらに、特許文献 2 において、固浸レンズを用いた半導体デバイスの観察方法が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

【0013】

【特許文献 1】特開平 10 - 332794 号公報

【特許文献 2】特開 2004 - 020404 号公報

【非特許文献】

【0014】

【非特許文献 1】二川 清ら「走査レーザ SQUID 顕微鏡の LSI 故障解析への新しい適用法」、第 28 回 LSI テスティングシンポジウム会議録、pp. 321 - 326 (2008)

【非特許文献 2】山下将嗣ら「レーザ-テラヘルツエミッション顕微鏡による MOS トランジスタの非接触評価」、第 24 回 LSI テスティングシンポジウム会議録、pp. 347 - 351 (2004)

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0015】

以下の分析は、本発明者によってなされたものである。図 9 ~ 図 11 を参照して、非特許文献 1 に記載の技術の問題点とその問題が発生するメカニズムを説明する。

【0016】

図 10 は、非特許文献 1 に記載のレーザ SQUID 顕微鏡 120 の動作を説明するための図であり、図 9 の半導体集積回路 90 を中心に拡大した図である。半導体集積回路 90 は、P 基板（P 型基板）91、N ウェル（N 型ウェル）92、及び P+ 領域（P 型高濃度拡散層）93 を備える。

30

【0017】

図 10 において細い破線で示した光誘起電流 174 は、変調光 173 の照射によって、N ウェル 92 と P+ 領域 93 との界面（pn 接合面）において発生した電流である。細い点線で示した誘導磁場 175 は、光誘起電流 174 によって生じた誘導磁場である。

【0018】

一方、太い破線で示した光誘起電流 144 は、変調光 173 の照射によって、P 基板 91 と N ウェル 92 との界面（pn 接合面）において発生した電流である。太い点線で示した誘導磁場 145 は、光誘起電流 144 によって生じた誘導磁場である。なお、光誘起電流 174 及び 144 の経路は、図 10 においては、簡単のために単純化して示しているものの、実際は、半導体集積回路 90 の基板や配線を介した複雑な経路となる。

40

【0019】

非特許文献 1 に記載の技術の問題点は、N ウェル 92 と P+ 領域 93 との界面にのみ、変調光 173 を集光して光誘起電流 174 を発生させようとしても、P 基板 91 と N ウェル 92 と界面にも変調光 173 が照射され光誘起電流 144 を生じさせてしまうことにある（ステップ S12）。

【0020】

このとき、レーザ照射の目標とされた箇所において生じた光誘起電流 174 に起因する誘導磁場 175 のみならず、目標としていない箇所において生じた光誘起電流 144 に起因する誘導磁場 145 も生じさせる結果となる（ステップ S13）。したがって、SQU

50

I D 1 6 2 によって総誘導磁場 1 7 6 を検出して、P C 1 8 0 において検出された磁場を表示した（ステップ S 1 4 ）場合に、レーザ照射の目標とされた箇所からの誘導磁場と、それ以外の箇所からの誘導磁場とが干渉して、強度像 1 7 8 や位相像 1 7 9 を不鮮明となる。

【 0 0 2 1 】

また、特許文献 1 に記載の技術は、次のような問題がある。すなわち、特許文献の図 1 及び図 2 を参照すると、レーザビーム照射により発生した電流の測定（特許文献 1 の図 1 のステップ D ）は、導電性リード 2 0 4 、 2 0 5 （特許文献 1 の図 2 ）を介して行なわれる。導電性リード 2 0 4 、 2 0 5 が必要とされるため、半導体デバイス 2 0 の観測は半導体デバイス製造の組立工程の終了後にしか実施できないという問題がある。

10

【 0 0 2 2 】

そこで、組立工程前の半導体集積回路におけるレーザ光照射対象箇所に対する明瞭な画像を取得できるようにすることが課題となる。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 2 3 】

第 1 の視点に係る半導体集積回路解析装置は、半導体集積回路へレーザ光を照射して発生した光誘起電流による場を場検出器によって検出するレーザ顕微鏡を備え、レーザ光の波長は、半導体集積回路を構成する半導体を 1 光子励起するには不十分であって 2 光子励起するには十分である。

【 0 0 2 4 】

20

第 2 の視点に係る半導体集積回路解析方法は、半導体集積回路へレーザ光を照射する工程と、半導体集積回路において発生した光誘起電流による場を場検出器によって検出する工程と、を含み、レーザ光の波長は、半導体集積回路を構成する半導体を 1 光子励起するには不十分であって 2 光子励起するには十分である。

【発明の効果】

【 0 0 2 5 】

本発明に係る半導体集積回路解析装置及び解析方法によると、組立工程前の半導体集積回路におけるレーザ光照射対象箇所に対する明瞭な画像を取得することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 6 】

30

【図 1 】本発明の実施形態に係る半導体集積回路解析装置の構成を示すブロック図である。

【図 2 】本発明の第 1 の実施例に係る半導体集積回路解析装置の構成を示すブロック図である。

【図 3 】本発明の第 1 の実施例に係る半導体集積回路解析装置の動作を説明するための図である。

【図 4 】本発明の第 1 の実施例に係る半導体集積回路解析装置の動作を示すフローチャートである。

【図 5 】 2 光子励起を選択的に生じさせる方法について説明するための図である。

【図 6 】固浸レンズによるレーザ光の開き角の調整について説明するための図である。

40

【図 7 】固浸レンズの効果について説明するための図である。

【図 8 】固浸レンズの効果について説明するための図である。

【図 9 】非特許文献 1 に記載のレーザ S Q U I D 顕微鏡の構成を示すブロック図である。

【図 1 0 】非特許文献 1 に記載のレーザ S Q U I D 顕微鏡の動作を説明するための図である。

【図 1 1 】非特許文献 1 に記載の走査レーザ S Q U I D 顕微鏡の動作を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 7 】

本発明の実施形態に係る半導体集積回路解析装置について図面を参照して説明する。図

50

1 は、本実施形態に係る半導体集積回路解析装置の構成を示すブロック図である。

【0028】

図1を参照すると、半導体集積回路解析装置10は、レーザ顕微鏡20を備える。レーザ顕微鏡20は、半導体集積回路90へレーザ光を照射して発生した光誘起電流による場を検出器22によって検出する。ここで、レーザ光の波長は、半導体集積回路90を構成する半導体を1光子励起するには不十分であって2光子励起するには十分である。

【0029】

このとき、半導体集積回路90の検査対象箇所以外に起因する場を低減し、検査対象箇所に起因する場を明瞭に観察することができる。2光子励起の発生確率は光子密度の2乗に比例するため、検査対象箇所においてのみ、2光子励起を高い確率で発生させることができる。したがって、検査対象箇所において発生した光誘起電流によって生じた場のみを明瞭に観察することができるからである。すなわち、本実施形態に係る半導体集積回路解析装置10によると、半導体集積回路90におけるレーザ光照射対象箇所に対する明瞭な画像を取得することができる。

【0030】

また、半導体集積回路解析装置10は、上記特許文献1のように電流を検出する代わりに、光誘起電流によって生じた場を検出して場の画像を取得する。したがって、本実施形態に係る半導体集積回路解析装置10によると、組立工程前の半導体集積回路に対する画像を取得することができる。

【0031】

なお、レーザ光の波長は、 $1.2\mu\text{m}$ 以上であって $2.3\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。半導体集積回路90がシリコンからなる場合において、シリコンを1光子励起するには不十分であって2光子励起するには十分な波長だからである。

【0032】

また、レーザ顕微鏡20は、レーザ光の開き角を調整する開き角調整部23を備えることが好ましい。半導体集積回路90の検査対象箇所における2光子励起の発生確率を、検査対象箇所以外における2光子励起の発生確率と比較して、さらに高くすることができるからである。

【0033】

さらに、開き角調整部23は、半導体集積回路90のレーザ光が照射される面上に配置された固浸レンズ24を有することが好ましい。レーザ光の開き角の調整が容易となるからである。

【0034】

また、レーザ顕微鏡20は、レーザ光の強度を調整する強度調整部25を備えることが好ましい。半導体集積回路90の検査対象箇所以外に起因する場を検出器22の感度以下とし、検査対象箇所に起因する場を検出器22の感度以上とすることにより、明瞭な場の画像を得ることができるからである。

【0035】

さらに、半導体集積回路解析装置10は、場検出器22により検出された場を表示する表示部30をさらに備えるようにしてもよい。表示部30は、場の強度像及び位相像を表示するようにしてもよい。

【0036】

また、場は誘導磁場であって、場検出器はSQUIDであってもよい。さらに、場はテラヘルツ波(THz波)であって、場検出器はテラヘルツ波検出器であってもよい。なお、レーザ顕微鏡20は、前者の場合にはレーザSQUID顕微鏡に相当し、後者の場合にはレーザテラヘルツエミッション顕微鏡(Laser THz Emission Microscope、LTEM)に相当する。

【実施例】

【0037】

本発明の一実施例に係る半導体集積回路解析装置について、図面を参照して説明する。

10

20

30

40

50

図 2 は、本実施例に係る半導体集積回路解析装置の構成を示すブロック図である。

【 0 0 3 8 】

(構成)

図 2 を参照すると、半導体集積回路解析装置 5 0 は、パルス発生器 6 3、変調用信号 7 1、参照信号 7 2、レーザ 6 1、ロックインアンプ 6 7、光ファイバ 6 4、光学系 6 5、変調光 7 3、X - Y 走査可能な試料台 (試料ステージ) 6 6、S Q U I D 6 2、磁場信号 7 7、制御部 6 8、P C (P e r s o n a l C o m p u t e r) 8 0 を備える。

【 0 0 3 9 】

半導体集積回路 9 0 は、解析対象とされる試料であり、総誘導磁場 7 6 は S Q U I D 6 2 により検出される磁場を示す。P C 8 0 は画面上に、検出された磁場の強度像 7 8 及び位相像 7 9 を表示する。

10

【 0 0 4 0 】

レーザ 6 1 のレーザ光の波長は、半導体集積回路 9 0 を構成する半導体の 1 光子励起には不十分であって、2 光子励起には十分な波長である。レーザ 6 1 のレーザ光は、一例として、1 . 2 μ m 程度以上かつ 2 . 3 μ m 程度以下の波長としてもよい。2 光子励起を起こすためには光子密度を大きくする必要がある。しかし、半導体集積回路 9 0 の熱損傷を防ぐために、レーザ 6 1 のレーザ光は短時間パルスかつ長周期であることが好ましい。一例として、レーザ 6 1 のレーザ光は、パルス幅 1 0 0 p s、周波数が数十 M H z のフェムト秒レーザとしてもよい。

20

【 0 0 4 1 】

(動作)

次に、本実施例に係る半導体集積回路解析装置 5 0 の動作について図面を参照して説明する。図 4 は、本実施例に係る半導体集積回路解析装置 5 0 の動作を示すフローチャートである。

【 0 0 4 2 】

半導体集積回路 9 0 に含まれる界面 (p n 接合面) であって構造が既知である箇所に対してレーザ 6 1 のレーザ光を照射し (ステップ S 1)、総誘導磁場 7 6 を検出するとともに強度像 7 8 及び位相像 7 9 を得る (ステップ S 2)。得られた磁場像にレーザ光照射目標とした p n 接合以外の p n 接合又は濃度勾配に起因する誘導磁場が混入しているか否かを判定し (ステップ S 3)、混入している場合には (ステップ S 3 の Y e s)、レーザ光の開き角、及び / 又は、パワーを調整し (ステップ S 4)、再度、ステップ S 1 ~ S 3 の工程を繰り返す。レーザ光照射目標以外の誘導磁場が混入していないものと判定された場合には (ステップ S 3 の N o)、最終的な磁場像を表示する (ステップ S 5)。

30

【 0 0 4 3 】

なお、ステップ S 4 におけるレーザ光の開き角の調整は、一例として、開き角がより大きい (すなわち、N A [開口数] のより大きい) 対物レンズへ交換することによって実現するようにしてもよい。また、レーザ光の開き角を調整する代わりに、または、レーザの開き角を調整するとともに、レーザ光のパワーを増加又は減少させてもよい。なお、固浸レンズを用いると、レーザ光の開き角の調整が容易となる。

【 0 0 4 4 】

このように、レーザ光の開き角及び / 又はパワーを調整した後、半導体集積回路 9 0 の観測を行なうことによって、半導体集積回路 9 0 の任意の箇所において、レーザ光の照射目標とした p n 接合のみに起因する誘導磁場の磁場像 (例えば、強度像及び位相像) が得られる。

40

【 0 0 4 5 】

図 5 は、2 光子励起を選択的に生じさせる方法について説明するための図である。図 5 を参照すると、ビーム断面積 A_1 はレーザ光照射目標とした p n 接合におけるレーザ光の断面積であり、ビーム断面積 A_2 はレーザ光照射目標以外の p n 接合におけるレーザ光のビーム断面積である。2 光子励起の発生確率は光子密度の 2 乗に比例する。したがって、パラメータ $X = (A_2 / A_1)^2$ (以下「調整容易度」という。) は、レーザ光照射目標

50

とした p n 接合において 2 光子励起を選択的に生じさせるための調整の容易さを表すパラメータとなる。調整容易度 X の値が大きいほど、2 光子励起を選択的に生じさせるための調整は容易となる。

【0046】

はじめに、レーザ光のパワーと磁場像との関係について検討する。レーザ光のパワーを増加（ないし減少）させることによって、レーザ光照射目標とする p n 接合に起因する誘導磁場を S Q U I D 6 2 の感度以上とし、目標以外の p n 接合に起因する誘導磁場を S Q U I D 6 2 の感度以下とすることができる。このように、レーザ光のパワーを調整することによって、レーザ光の照射目標とする p n 接合に起因する誘導磁場のみを計測することができる。

10

【0047】

次に、対物レンズの N A と、調整容易度 X との関係について検討する。ここで、 $N A = n \sin \theta$ であり、n は屈折率、 θ は開き角（開き半角）である。ビーム断面積 A_1 の最小値は回折限界によって決定される。R a y l e i g h の定義式によると、回折限界から決まるビーム径は $0.61 \lambda / N A$ である。ここで、 λ はレーザ光の波長である。したがって、対物レンズの N A を大きくするとビーム断面積 A_1 は小さくなる。また、N A を大きくすると、 θ が大きくなり、ビーム断面積 A_2 も大きくなる。ゆえに、N A を大きくすると、調整容易度 X は大きくなる。

【0048】

また、固浸レンズを用いることによって、調整容易度 X をさらに大きくし、2 光子励起を選択的に生じさせるための調整をさらに容易とすることができる。このことについて、図 6 ~ 図 8 を参照しつつ説明する。

20

【0049】

図 6 は、固浸レンズによるレーザ光の開き角の調整について説明するための図である。図 6 (A) は、固浸レンズ (S o l i d I m m e r s i o n L e n s 、 S I L) を用いない場合、図 6 (B) は、固浸レンズ 5 4 を用いる場合である。なお、図 6 においては、半導体集積回路 9 0 の裏面が上方に向くように描かれている点に留意する。

【0050】

図 6 (A) に示すように、固浸レンズが無い場合には、対物レンズ 5 3 から出る光の開き角 θ_A を大きくしても、半導体集積回路 9 0 へ入射する際、空気と半導体（例えば、S i ）の屈折率の違いによって θ_A は小さくなる。一例として、半導体が S i である場合には、空気の屈折率 1 に対して S i の屈折率は 3.5 である。対物レンズ 5 3 として $N A = 0.76$ であるものを用いた場合には、 θ_A が約 49 度であっても、S i 中における θ_A は約 13 度となる。また、回折限界から決まるビーム径は $1.0 \mu m (0.61 \times 1.3 \mu m / 3.5 / \sin (13 \text{ 度}))$ となる。

30

【0051】

一方、図 6 (B) に示すように、固浸レンズ 5 4 がある場合には、対物レンズ 5 3 から出る光の開き角は、S i 中においても広いまま保たれる（図 6 (B) においては固浸レンズ 5 4 に入射する際に、さらに開き角が大きくなるように描かれている。ここでは、計算を簡単にするためにかかる条件の下で計算する。）。また、回折限界から決まるビーム径は $0.30 \mu m (0.61 \times 1.3 \mu m / 3.5 / \sin (49 \text{ 度}))$ となる。

40

【0052】

図 7 は、固浸レンズ 5 4 の効果について説明するための図である。上記のようにビーム径（ビーム断面積）及び開き角は、固浸レンズ 5 4 の有無によって変化する。図 7 (A) は、固浸レンズ 5 4 を使用しない場合のビーム断面積及び開き角を示す。断面積 A_{1A} はレーザ光の照射目標である p n 接合におけるビーム断面積であり、断面積 A_{2A} は目標以外の p n 接合におけるビーム断面積である。開き角 θ_A は、レーザ光の開き角（開き半角）である。

【0053】

一方、図 7 (B) は固浸レンズ 5 4 を使用した場合のビーム断面積及び開き角を示す。

50

断面積 A_{1B} はレーザ光の照射目標である $p-n$ 接合におけるビーム断面積であり、断面積 A_{2B} は目標以外の $p-n$ 接合におけるビームの断面積である。開き角 θ_B は、レーザ光の開き角である。

【0054】

図8は、これらのパラメータの概算値を一例として示す。図8においては、レーザ光の波長は $1.3 \mu m$ 、対物レンズ53のNAは0.76、固浸レンズ54はSi（屈折率3.5）とし、固浸レンズ54とP基板91との間の隙間は無視することができるものと仮定とした。

【0055】

図8を参照すると、固浸レンズ54がある場合と無い場合における調整容易度Xの比、すなわち X_B / X_A は、1480倍となる。したがって、固浸レンズ54を用いることによって、レーザ光の照射目標である $p-n$ 接合において2光子励起を選択的に生じさせるための調整がはるかに容易となる。

10

【0056】

本実施例によれば、以下の効果もたらされる。レーザSQUID顕微鏡を備えた半導体集積回路解析装置において、目標以外の $p-n$ 接合に起因する誘導磁場の発生（非特許文献1）を防ぎ、目標とする $p-n$ 接合に起因する誘導磁場を明瞭に観察することができる。

【0057】

また、半導体集積回路解析装置は、電流を検出して像を取得する（特許文献1）代わりに、光誘起電流によって生じた誘導磁場を検出して磁場像を取得する。したがって、本実施例に係る半導体集積回路解析装置によると、特許文献1に記載された技術と比較して、より上流の製造工程における半導体集積回路の画像を取得することができる。

20

【0058】

以上の記載は実施例に基づいて行ったが、本発明は、上記実施例に限定されるものではない。例えば、上記の実施例におけるレーザSQUID顕微鏡を、非特許文献2に記載されたレーザーテラヘルツエミッション顕微鏡（Laser THz Emission Microscope、LTEM）に置き換えることができる。すなわち、上記の実施例指令において、レーザ誘起によって発生する誘導磁場をテラヘルツ波とし、SQUIDをテラヘルツ波検出器としてもよい。

30

【符号の説明】

【0059】

- 10、50 半導体集積回路解析装置
- 20 レーザ顕微鏡
- 21、61、161 レーザ
- 22 場検出器
- 23 開き角調整部
- 24 固浸レンズ
- 25 強度調整部
- 30 表示部
- 53 対物レンズ
- 54 固浸レンズ
- 62、162 SQUID
- 63、163 パルス発生器
- 64、164 光ファイバ
- 65、165 光学系
- 66、166 試料台
- 67、167 ロックインアンプ
- 68、168 制御部
- 71、171 変調用信号
- 72、172 参照信号

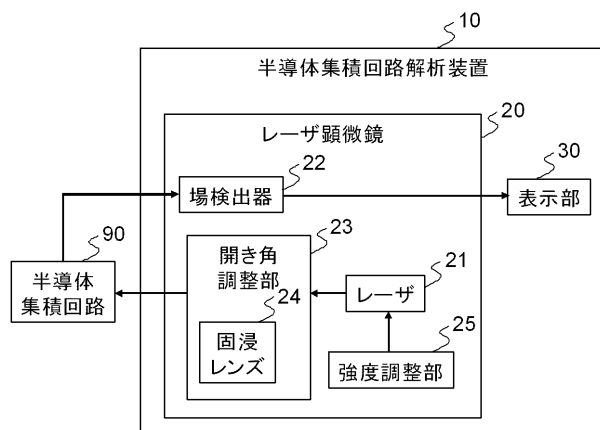
40

50

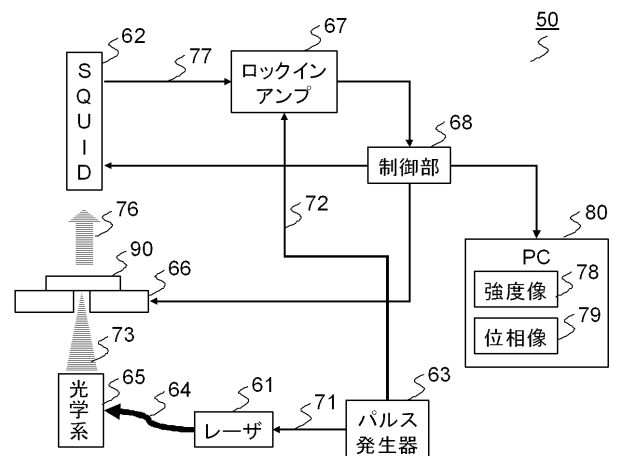
7 3、1 7 3 変調光
7 4、1 4 4、1 7 4 光誘起電流
7 5、1 4 5、1 7 5 誘導磁場
7 6、1 7 6 総誘導磁場
7 7、1 7 7 磁場信号
7 8、1 7 8 強度像
7 9、1 7 9 位相像
8 0、1 8 0 P C (P e r s o n a l C o m p u t e r)
9 0 半導体集積回路
9 1 P 基板
9 2 N ウェル
9 3 P + 領域
1 2 0 レーザ S Q U I D 顕微鏡
A₁、A₂、A₁ A、A₂ A、A₁ B、A₂ B ビーム断面積
、A、A、B、B 開き角

10

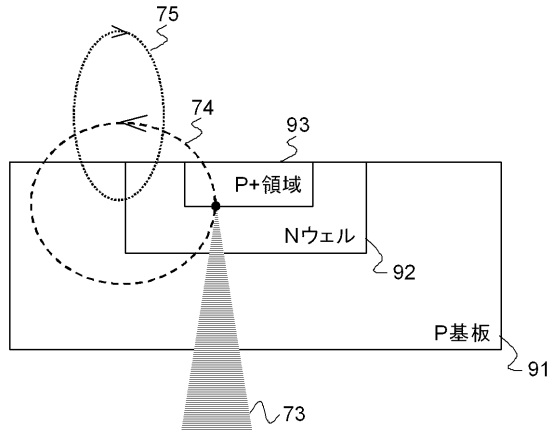
【 図 1 】



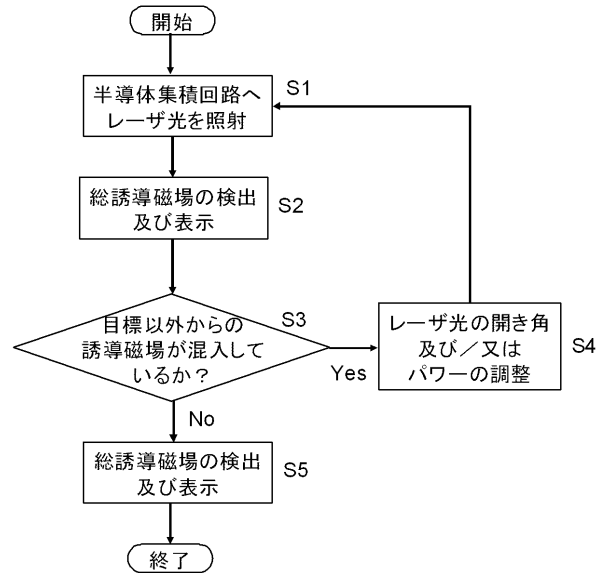
【圖 2】



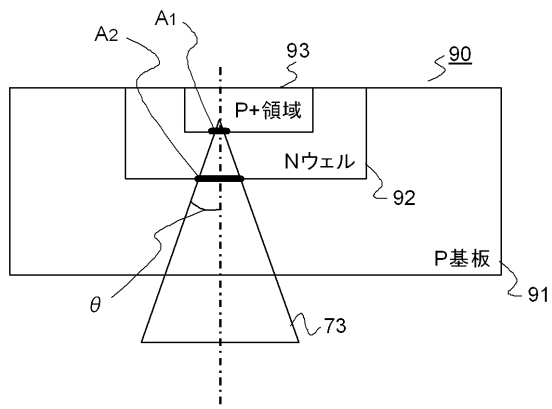
【図 3】



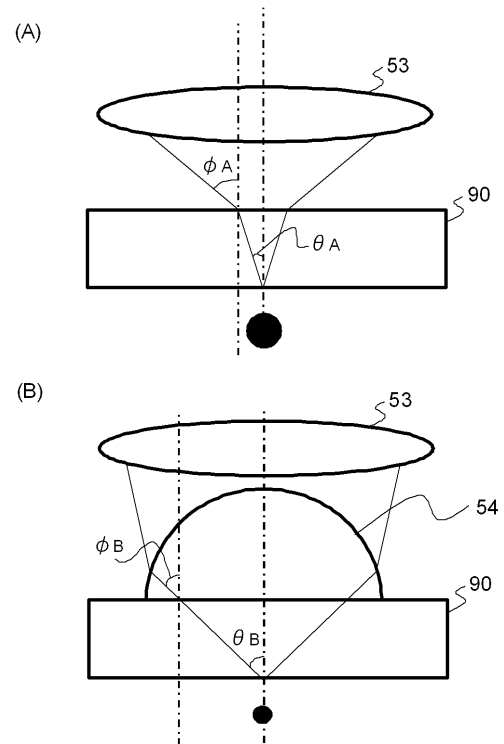
【図 4】



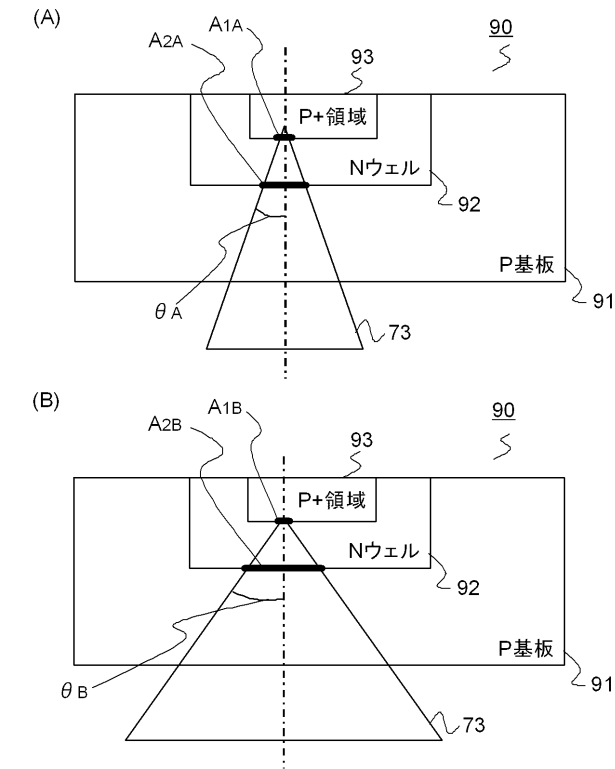
【図 5】



【図 6】



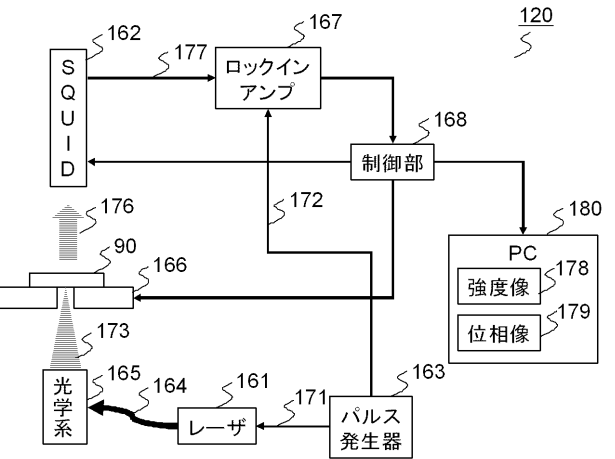
【 図 7 】



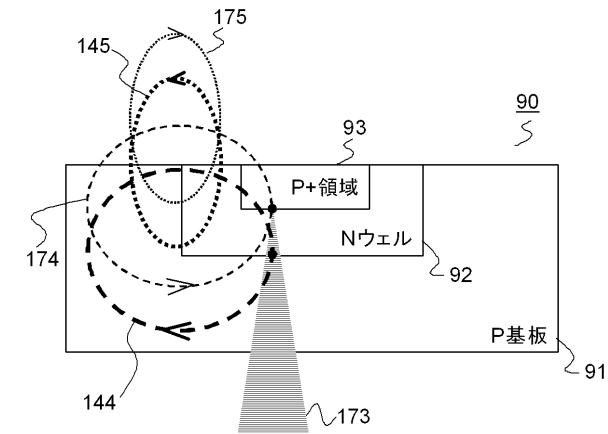
【 図 8 】

	固浸レンズ無し	固浸レンズ有り
焦点を合わせた接合面におけるビーム断面積 (μm^2)	A1A 0.86	A1B 0.07
焦点を合わせた接合面における開き角(度)	θ_A 12.5	θ_B 49.5
焦点を合わせた接合面よりも $1\mu\text{m}$ 手前におけるビーム断面積 (μm^2)	A2A 1.75	A2B 5.46
ビーム断面積の比	$A2A/A1A$ 2.03	$A2B/A1B$ 78.2
2光子励起発生確率の比 (調整容易度)	$X_A=(A2A/A1A)^2$ 4.1	$X_B=(A2B/A1B)^2$ 6120
調整容易度の比	X_B/X_A 1480	

【 図 9 】



【 図 1 0 】



【図 11】

