(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2010 年 4 月 22 日(22.04.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/044279 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 21/322 (2006.01) *H01L 27/148* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2009/005428

(22) 国際出願日: 2009 年 10 月 16 日(16.10.2009)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2008-267341 2008 年 10 月 16 日(16.10.2008) JP
特願 2008-267342 2008 年 10 月 16 日(16.10.2008) JP
特願 2008-267343 2008 年 10 月 16 日(16.10.2008) JP
特願 2009-069601 2009 年 3 月 23 日(23.03.2009) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社ＳＵＭＣＯ (SUMCO CORPORATION) [JP/JP]; 〒1058634 東京都港区芝浦一丁目２番１号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 栗田一成 (KURITA, Kazunari) [JP/JP]; 〒1058634 東京都港区芝浦一丁目２番１号　株式会社ＳＵＭＣＯ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 志賀正武, 外 (SHIGA, Masatake et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目９番２号 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

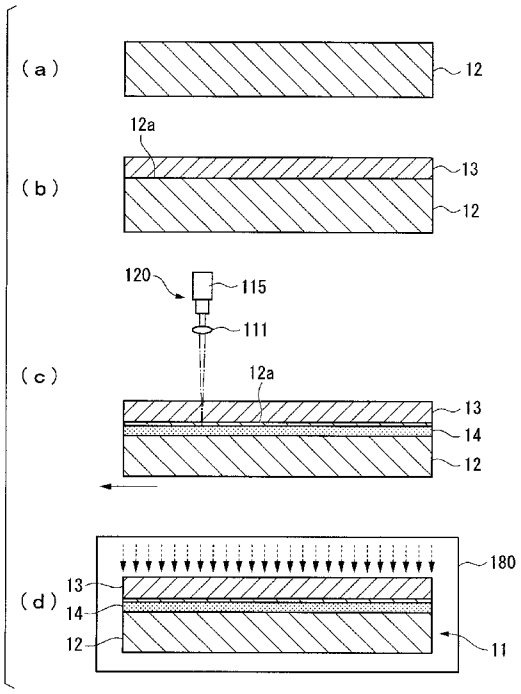
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,

[続葉有]

(54) **Title**: EPITAXIAL SUBSTRATE FOR SOLID-STATE IMAGING DEVICE WITH GETTERING SINK, SEMICONDUCTOR DEVICE, BACKLIGHT-TYPE SOLID-STATE IMAGING DEVICE AND MANUFACTURING METHOD THEREOF

(54) 発明の名称 : ゲッタリングシンクを有する固体撮像素子用エピタキシャル基板、半導体デバイス、裏面照射型固体撮像素子およびそれらの製造方法

[図3]



(57) **Abstract**: A semiconductor wafer is set on a laser irradiation device, and while being moved, the semiconductor wafer is irradiated with a laser beam. At this time, the laser beam emitted from the laser generator is focused by a condenser lens such that the convergence point (focal point) is at a position several 10s of μm deeper than the surface of the semiconductor wafer. Thus, the crystalline structure of the semiconductor wafer at said depth is modified, and a gettering sink is formed.

(57) 要約: 半導体ウェーハをレーザー照射装置にセットし、半導体ウェーハを移動させつつレーザービームを照射する。この時、レーザー発生装置から出射されたレーザービームは、集光用レンズによって集光点（焦点）が半導体ウェーハの一面から数十μｍ程度深い位置になるように集光される。これにより、その深さ位置における半導体ウェーハの結晶構造が改質され、ゲッタリングシンクが形成される。

WO 2010/044279 A1

GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

明　細　書

発明の名称 ：

ゲッタリングシンクを有する固体撮像素子用エピタキシャル基板、半導体デバイス、裏面照射型固体撮像素子およびそれらの製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、固体撮像素子用エピタキシャル基板、半導体デバイス、裏面照射型固体撮像素子およびそれらの製造方法に関し、ゲッタリングシンクを短時間で容易に形成することが可能な技術に関する。

本願は、２００８年１０月１６日に日本で出願された特願２００８－２６７３４１号、特願２００８－２６７３４２号、および特願２００８－２６７３４３号、並びに２００９年３月２３日に日本で出願された特願２００９－０６９６０１号のそれぞれに基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 近年、携帯電話、デジタルビデオカメラ等に、半導体を用いた高性能な固体撮像素子が搭載され、画素数や感度等の性能が飛躍的に向上しつつある。固体撮像素子は、例えば、半導体基板の一面にエピタキシャル層を成長させたエピタキシャル基板を用いて、このエピタキシャル層にフォトダイオード等からなる回路を形成することにより製造される。

[0003] 近年、固体撮像素子の小型、高解像度化の進行に伴って、フォトダイオードの配置密度が大幅に高まっている。このため、個々のフォトダイオードのサイズが極めて小さくなり、それぞれのフォトダイオードに入射可能な光の光量が低下しつつある。固体撮像素子の小型、高解像度化の進行による入射光量の低下を回避するために、回路層などの構成物が少ない裏面側から光を入射させる構造の裏面照射型固体撮像素子も、一般に知られつつある。

[0004] ところで、固体撮像素子の撮像特性を低下させる要因として、フォトダイオードの暗時リーク電流が問題となっている。暗時リーク電流の原因は、製

造工程における基板（ウェーハ）の重金属汚染とされている。

基板の重金属汚染を抑制するために、従来から、半導体ウェーハの内部あるいは裏面に重金属のゲッタリングシンクを形成し、ゲッタリングシンクに重金属を集める事によって、フォトダイオードの形成部分における重金属濃度を低減させることが行われてきた。

[0005] また、近年、携帯電話、デジタルビデオカメラ等の大幅な薄型化に伴って、これらの機器へ内蔵する半導体デバイス、例えば半導体メモリの薄型化が進んでいる。半導体メモリは、例えばシリコン単結晶からなるシリコン基板（シリコンウェーハ）の一面にデバイスを形成することにより製造される。半導体メモリを薄型化するためには、シリコン基板の表面側にデバイスを形成した後、シリコン基板の裏面側を削って、例えば５０μｍ程度まで厚みを薄厚化する。

[0006] このような、半導体デバイスの薄厚化工程において、シリコン基板への重金属の混入が懸念されている。シリコン基板に重金属などの不純物が混入すると、リーク電流などにより、デバイス特性が著しく劣化する。このため、シリコン基板の薄厚化工程後におけるデバイス形成領域の重金属の分散を抑制することが重要になっている。

[0007] シリコン基板から重金属を除去する方法として、従来から、ゲッタリング法が一般的に知られている。これは、シリコン基板にゲッタリングサイトと呼ばれる重金属の捕捉領域を形成し、アニール処理などによってゲッタリングサイトに重金属を集めることによって、素子形成領域の重金属を低減させるものである。ゲッタリングサイトをシリコン基板に形成する方法として、例えば、シリコン基板に酸素析出物を形成するＩＧ（イントリンシックゲッタリング）法（例えば、特許文献１）、シリコン基板の裏面側にバックサイドダメージなどのゲッタリングサイトを形成するＥＧ（エキシントリックゲッタリング）法（例えば、特許文献２）などが知られている。

特許文献1：特開平６－３３８５０７号公報

特許文献2：特開２００６－３１３９２２号公報

[0008] 半導体基板に熱処理を施すことにより、基板内部に酸素析出部を形成し、酸素析出部をゲッタリングシンクとする方法も知られている（例えば、非特許文献１）。

非特許文献1：M.Sano, S.Sumita, T.Shigematsu and N. Fujino, SemiconductorSilicon 1994.eds. H.R.Huff et al.(Electrochem. Soc., Pennington 1994)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] しかしながら、半導体基板に熱処理を施して基板内部に酸素析出部を形成する方法では、重金属を充分に捕捉可能なサイズの酸素析出部を形成するためには、長時間の熱処理を必要とし、製造工程が長期化して製造コストが増大するという課題がある。また、熱処理工程において、加熱装置などから更なる重金属汚染が生じる懸念もある。

[0010] ＩＧ法は、シリコン基板にデバイスを形成する前工程で用いられるものであり、シリコン基板に拡散した重金属を除去するために、６００℃以上の熱処理温度が必要である。しかしながら、シリコン基板にデバイスを形成した後に行われる熱処理温度は４００℃以下が殆どであり、デバイス形成後の薄厚化工程において混入した重金属を充分に捕捉できないという課題があった。

[0011] また、近年の半導体デバイスの薄厚化の進行によって、半導体デバイスの厚みは５０～４０μｍ以下、更には３０μｍ程度が要求される。このようなレベルの厚みでは、薄厚化工程において、シリコン基板に形成したゲッタリングシンクの大部分が削り取られてしまうため、充分なゲッタリング能力が得られない。

[0012] シリコン基板の裏面側にバックサイドダメージなどのゲッタリングサイトを形成するＥＧ法では、近年主流となりつつある３００ｍｍウェーハなどの大口径基板の場合、両面研磨されているために、裏面側にゲッタリングシンクを形成すること自体が困難である。

[0013] 本発明の一態様は上記課題を解決するためになされたものであり、ゲッタリングシンクを短時間で容易に形成できるとともに、ゲッタリングシンクの形成時に重金属汚染の懸念がない固体撮像素子用エピタキシャル基板の製造方法を提供する。

[0014] また、本発明の一態様は、重金属汚染が少なく、かつ低コストに製造可能な固体撮像素子用エピタキシャル基板を提供する。

[0015] また、本発明の一態様は、半導体デバイスの形成後に汚染された重金属を簡便かつ確実にデバイスの形成領域から除去可能な半導体デバイスの製造方法を提供する。

[0016] また、本発明の一態様は、薄厚化しても重金属による特性劣化の懸念が無い半導体デバイスを提供する。

課題を解決するための手段

[0017] 本発明の一態様に係る固体撮像素子用エピタキシャル基板の製造方法は、半導体基板の一面にエピタキシャル層を成長させ、エピタキシャル基板を形成する工程と、前記エピタキシャル基板に向けて集光手段を介してレーザービームを入射し、前記半導体基板の任意の微小領域に前記レーザービームを集光させることにより、前記微小領域に多光子吸収過程を生じさせ、前記微小領域の結晶構造を変化させたゲッタリングシンクを形成する工程と、前記エピタキシャル基板を所定の温度でアニールし、前記ゲッタリングシンクに重金属を捕獲させる工程と、を備えた。

[0018] 前記レーザービームは、前記エピタキシャル基板を透過可能な波長域であり、前記集光手段は、前記半導体基板の厚み方向における任意の位置に、前記レーザービームを集光させるのが好ましい。前記レーザービームは、パルス幅１．０×１０$^{-15}$～１．０×１０$^{-8}$秒、波長３００～１２００ｎｍの範囲の超短パルスレーザービームであるのが好ましい。

[0019] 前記半導体基板は単結晶シリコンからなり、前記ゲッタリングシンクはアモルファス構造のシリコンを含むのが好ましい。前記ゲッタリングシンクは、前記固体撮像素子の形成領域に重なる位置に形成されるのが好ましい。

[0020] 本発明の固体撮像素子用エピタキシャル基板は、前記固体撮像素子用エピタキシャル基板の製造方法により製造された固体撮像素子用エピタキシャル基板であって、前記ゲッタリングシンクは、少なくとも前記固体撮像素子を成す埋込み型フォトダイオードの形成位置と重なる領域に、直径５０～１５０μｍ、厚み１０～１５０μｍの範囲のサイズで設けられている。

[0021] 前記ゲッタリングシンクは、密度１．０×１０^{5}～１．０×１０^{7}個／ｃｍ^{2}の範囲で形成されているのが好ましい。

[0022] 本発明の固体撮像素子用エピタキシャル基板の製造方法によれば、エピタキシャル基板に向けて集光手段を介してレーザービームを入射させ、半導体基板の内部における任意の微小領域にレーザービームを集光させることによって、半導体基板の内部の微小領域に多光子吸収過程を生じさせ、前記微小領域の結晶構造だけを変化させたゲッタリングシンクを容易に、かつ短時間で形成することが可能になる。

[0023] これによって、従来のようにゲッタリングシンクを形成するために、長時間の熱処理が不要となり、固体撮像素子用エピタキシャル基板の製造工程を簡略化し、製造コストを低減できる。３００ｍｍウェーハなどに代表される両面研磨基板であっても、半導体基板の内部に容易にゲッタリングシンクを形成することが可能となる。

[0024] 本発明の固体撮像素子用エピタキシャル基板によれば、重金属のゲッタリング能力に優れ、暗時リーク電流の少ない、優れた撮像特性をもつ固体撮像素子を実現することが可能な固体撮像素子用エピタキシャル基板を提供できる。

[0025] [半導体デバイス]

本発明の半導体デバイスの製造方法は、半導体基板の一面に絶縁膜を形成する工程と、前記半導体基板の他面から集光手段を介してレーザービームを入射させ、前記半導体基板の任意の微小領域に前記レーザービームを集光させることにより、前記微小領域に多光子吸収過程を生じさせ、前記微小領域の結晶構造を変化させたゲッタリングシンクを形成する工程と、前記半導体

基板を所定の温度でアニールし、前記ゲッタリングシンクに重金属を捕獲させる工程とを少なくとも備えた。

[0026] 前記レーザービームは、前記半導体基板を透過可能な波長域であり、前記集光手段は、前記半導体基板の厚み方向における任意の位置に、前記レーザービームを集光させることが好ましい。前記レーザービームは、パルス幅１．０×１０$^{-15}$～１．０×１０$^{-8}$秒、波長３００～１２００ｎｍの範囲の超短パルスレーザービームであることが好ましい。

[0027] 前記半導体基板は単結晶シリコンからなり、前記ゲッタリングシンクは少なくともその一部にアモルファス構造のシリコンを含むことが好ましい。前記ゲッタリングシンクは、デバイスの形成領域と重なる位置に少なくとも形成されていることが好ましい。

[0028] 本発明の半導体デバイスは、前記半導体デバイスの製造方法により製造される。前記ゲッタリングシンクは、密度１．０×１０^{5}～１．０×１０^{6}個／ｃｍ^{2}の範囲で形成されていることが好ましい。

[0029] 本発明の半導体デバイスの製造方法によれば、半導体基板に向けて集光手段を介してレーザービームを入射させ、半導体基板の内部における任意の微小領域にレーザービームを集光させることによって、半導体基板の内部の微小領域に多光子吸収過程を生じさせ、前記微小領域の結晶構造だけを変化させたゲッタリングシンクを容易に、かつ短時間で形成することが可能になる。

[0030] これによって、従来のようにゲッタリングシンクを形成するために、長時間の熱処理が不要となり、半導体デバイスの製造工程を簡略化し、製造コストを低減できる。３００ｍｍウェーハなどに代表される両面研磨基板であっても、半導体基板の内部に容易にゲッタリングシンクを形成することが可能となる。

[0031] 本発明の半導体デバイスによれば、薄厚化しても重金属のゲッタリング能力に優れ、リーク電流の少ない優れた特性をもつ半導体デバイスを提供できる。

[0032] [裏面照射型固体撮像素子]

本発明の裏面照射型固体撮像素子の製造方法は、半導体基板の一面にエピタキシャル層を成長させ、エピタキシャル基板を形成する工程と、前記エピタキシャル基板に向けて集光手段を介してレーザービームを入射し、前記半導体基板の任意の微小領域に前記レーザービームを集光させることにより、前記微小領域に多光子吸収過程を生じさせ、前記微小領域の結晶構造を変化させたゲッタリングシンクを形成する工程と、前記エピタキシャル基板に複数のフォトダイオードを形成する工程と、前記エピタキシャル基板を所定の温度でアニールし、前記ゲッタリングシンクに重金属を捕獲させる工程と、前記半導体基板の厚みを減じて、前記ゲッタリングシンクを含む領域を除去する工程とを少なくとも備えた。

[0033] 前記レーザービームは、前記エピタキシャル基板を透過可能な波長域であり、前記集光手段は、前記半導体基板の厚み方向における任意の位置に、前記レーザービームを集光させるのが好ましい。前記レーザービームは、パルス幅１．０×１０$^{-15}$～１．０×１０$^{-8}$秒、波長３００～１２００ｎｍの範囲の超短パルスレーザービームであることが好ましい。

[0034] 前記半導体基板は単結晶シリコンからなり、前記ゲッタリングシンクはアモルファス構造のシリコンを含むことが好ましい。前記ゲッタリングシンクは、前記フォトダイオードの形成領域と重なる位置に少なくとも形成されることが好ましい。前記ゲッタリングシンクと前記エピタキシャル層との間には、更にＳＯＩ構造の埋込酸化膜が形成されることが好ましい。

[0035] 本発明の固体撮像素子用エピタキシャル基板は、半導体基板と、前記半導体基板の一面に形成されたエピタキシャル層と、前記半導体基板に向けて集光手段を介してレーザービームを入射し、前記半導体基板の任意の微小領域に前記レーザービームを集光させることにより、前記微小領域に多光子吸収過程を生じさせ、前記微小領域の結晶構造を変化させて形成したゲッタリングシンクと、前記ゲッタリングシンクと前記エピタキシャル層との間に形成されたＳＯＩ構造の埋込酸化膜とを備えた。

[0036] 前記ゲッタリングシンクは、少なくとも前記フォトダイオードの形成位置と重なる領域に、直径５０～１５０μｍ、厚み１０～１５０μｍの範囲のサイズで設けられていることが好ましい。前記ゲッタリングシンクは、密度１．０×１０^{5}～１．０×１０^{7}個／ｃｍ^{2}の範囲で形成されてなることが好ましい。

[0037] 本発明の裏面照射型固体撮像素子の製造方法によれば、エピタキシャル基板に向けて集光手段を介してレーザービームを入射させ、半導体基板の内部における任意の微小領域にレーザービームを集光させることによって、半導体基板の内部の微小領域に多光子吸収過程を生じさせ、前記微小領域の結晶構造だけを変化させたゲッタリングシンクを容易に、かつ短時間で形成することが可能になる。

[0038] これによって、エピタキシャル層に含まれる重金属がゲッタリングシンクに確実に捕捉されるため、裏面照射型固体撮像素子の撮像特性を低下させる要因であるフォトダイオードの暗時リーク電流を抑制できる。よって、優れた撮像特性を持つ裏面照射型固体撮像素子を実現することがが可能となる。

[0039] 本発明の固体撮像素子用エピタキシャル基板によれば、重金属のゲッタリング能力に優れ、暗時リーク電流の少ない、優れた撮像特性をもつ裏面照射型固体撮像素子を実現することが可能な、固体撮像素子用エピタキシャル基板を提供できる。

[0040] [シリコンウェーハ]

本発明の一態様に係るシリコンウェーハの製造方法は、シリコン単結晶インゴットをスライスしてシリコンウェーハを得るスライス工程と、前記シリコンウェーハに向けて集光手段を介してレーザービームを入射し、任意の微小領域に前記レーザービームを集光させることにより、前記微小領域に多光子吸収過程を生じさせ、前記微小領域の結晶構造を変化させたゲッタリングシンクを形成する多光子吸収工程と、前記多光子吸収工程を経たシリコンウェーハを鏡面研磨するポリッシング工程とを少なくとも備えた。

[0041] 前記スライス工程と前記多光子吸収工程との間には、シリコンウェーハを

研磨するラッピング工程を更に備えていてもよい。前記スライス工程と前記多光子吸収工程との間には、シリコンウェーハをエッチングするエッチング工程を更に備えていてもよい。

[0042] 前記レーザービームは、前記エピタキシャルウェーハを透過可能な波長域であり、前記集光手段は、前記シリコンウェーハの厚み方向における任意の位置に、前記レーザービームを集光させるのが好ましい。前記レーザービームは、パルス幅１．０×１０$^{-15}$～１．０×１０$^{-8}$秒、波長３００～１２００ｎｍの範囲の超短パルスレーザービームであることが好ましい。前記ゲッタリングシンクはアモルファス構造のシリコンを含むことが好ましい。

[0043] 本発明のエピタキシャルウェーハの製造方法は、前記シリコンウェーハの製造方法によって得たシリコンウェーハの一面にシリコン単結晶のエピタキシャル層を成長させるエピタキシャル工程を少なくとも備えた。

[0044] 本発明の固体撮像素子の製造方法は、前記エピタキシャルウェーハの製造方法によって得たエピタキシャルウェーハの一面に埋込み型フォトダイオードを形成する素子形成工程を少なくとも備えた。

[0045] 前記エピタキシャルウェーハを所定の温度でアニールし、前記ゲッタリングシンクに重金属を捕獲させるアニール工程を更に備えるのが好ましい。前記ゲッタリングシンクは、少なくとも前記埋込み型フォトダイオードの形成位置と重なる領域に、直径５０～１５０μｍ、厚み１０～１５０μｍの範囲のサイズで形成すればよい。前記ゲッタリングシンクは、密度が１．０×１０^{5}～１．０×１０^{7}個／ｃｍ^{2}の範囲となるように形成すればよい。

[0046] 本発明のシリコンウェーハの製造方法によれば、多光子吸収工程でレーザー光を照射してゲッタリングシンクを形成した後で、シリコンウェーハを鏡面研磨（ポリッシング工程）することにより、レーザー光の照射により生じたシリコンウェーハの表面の微細な傷（アブレーション）を完全に除去できる。これにより、表面にレーザー照射による微細な傷が無く、かつ、内部に多光子吸収工程によって形成したゲッタリングシンクを備えたシリコンウェーハを得ることができる。

[0047] また、本発明のエピタキシャルウェーハの製造方法によれば、重金属のゲッタリング能力に優れたエピタキシャルウェーハを得ることができる。、

[0048] 更に、本発明の固体撮像素子の製造方法によれば、暗時リーク電流の少ない、優れた撮像特性をもつ固体撮像素子を実現することが可能となる。

[0049] また、本発明の固体撮像素子の製造方法によれば、重金属のゲッタリング能力に優れ、暗時リーク電流の少ない、優れた撮像特性をもつ固体撮像素子を実現できる。

図面の簡単な説明

[0050] [図1]本発明の固体撮像素子用エピタキシャル基板の一実施形態を示す断面拡大図である。

[図2]同実施形態を適用した固体撮像素子の一例の断面拡大図である。

[図3]本発明の固体撮像素子用エピタキシャル基板の製造方法の一実施形態を説明する断面拡大図である。

[図4]同製造方法の一実施形態を行うためのレーザー照射装置のブロック図である。

[図5]同装置の作用を示す断面拡大図である。

[図6]本発明の製造方法の一実施形態を説明する斜視図である。

[図7]本発明の半導体デバイスの一実施形態を示した断面図である。

[図8]本発明の半導体デバイスの製造方法の一実施形態を示す断面図である。

[図9]ゲッタリングシンクの形成に用いられるレーザー照射装置の一例を示す模式図である。

[図10]本発明の固体撮像素子用エピタキシャル基板の一例を示した断面図である。

[図11]裏面照射型固体撮像素子の一例を示した断面図である。

[図12]本発明の裏面照射型固体撮像素子の製造方法の一例を示す断面図である。

[図13]本発明の裏面照射型固体撮像素子の製造方法の一例を示す断面図である。

[図14]本発明の裏面照射型固体撮像素子の製造方法の一例を示す断面図である。

[図15]ゲッタリングシンクの形成に用いられるレーザー照射装置の一例を示す模式図である。

[図16]半導体基板にゲッタリングシンクを形成する様子を示した断面図である。

[図17]本発明の一実施形態に係るエピタキシャルウェーハを示す断面図である。

[図18]同ウェーハを用いた固体撮像素子の一例を示す断面図である。

[図19]本発明の一実施形態に係るシリコンウェーハの製造方法、エピタキシャルウェーハの製造方法を示す断面図である。

[図20]本発明の一実施形態に係るシリコンウェーハの製造方法、エピタキシャルウェーハの製造方法を示す断面図である。

[図21]ゲッタリングシンクの形成に用いられるレーザー照射装置の一例を示す模式図である。

[図22]シリコンウェーハにゲッタリングシンクを形成する様子を示した断面図である。

発明を実施するための形態

[0051] 以下、本発明の種々の実施形態について、図面に基づき説明する。以下の実施形態は発明の趣旨をより良く理解させるために具体的に説明するものであり、特に指定のない限り、本発明を限定するものではない。以下の説明で用いる図面は、本発明の特徴をわかりやすくするために、便宜上、要部となる部分を拡大して示している場合があり、各構成要素の寸法比率などが実際と同じであるとは限らない。

[0052] [固体撮像素子用エピタキシャル基板]

図１は、本発明の一実施形態に係る固体撮像素子用エピタキシャル基板を示す拡大断面図である。エピタキシャル基板（固体撮像素子用エピタキシャル基板）１１は、半導体基板１２と、半導体基板１２の一面１２ａに形成さ

れたエピタキシャル層１３とを備える。半導体基板１２の一面１２ａ近傍付近には、エピタキシャル基板１１の重金属を捕捉するゲッタリングシンク１４，１４・・が形成されている。

[0053] このようなエピタキシャル基板１１は、固体撮像素子向けの基板として好適に用いることができる。半導体基板１２は、例えば、シリコン単結晶ウェーハであればよい。エピタキシャル層１３は、半導体基板１２の一面１２ａから成長させたシリコンのエピタキシャル成長膜であればよい。

[0054] ゲッタリングシンク１４は、シリコン単結晶の一部をアモルファス化させた（アモルファスライク）構造であればよい。ゲッタリングシンク１４は、その結晶構造中に僅かな歪みが存在するだけで重金属を捕捉する能力があり、ごく一部をアモルファス化するだけでゲッタリングシンクとしての役割を果たすことができる。ゲッタリングシンク１４は、レーザービームの集光により、半導体基板１２の一部に多光子吸収過程を生じさせて結晶構造を改質する事によって形成される。このようなゲッタリングシンク１４の形成方法は、後ほど固体撮像素子用エピタキシャル基板の製造方法にて詳述する。

[0055] ゲッタリングシンク１４は、エピタキシャル基板１１を用いて固体撮像素子を形成する際に、少なくともそれぞれの固体撮像素子の形成領域Ｓ１と重なる位置に形成されていればよい。例えば、１つのゲッタリングシンク１４は、直径Ｒ１が５０～１５０μｍ、より好ましくは７５～１２５μｍ、厚みＴ１が１０～１５０μｍ、より好ましくは１０～１００μｍの大きさの円盤状に形成されていればよい。ゲッタリングシンク１４の形成深さＤ１は、半導体基板１２の一面１２ａから０．５～２μｍ程度が好ましい。Ｄ１はより好ましくは０．８～１．５μｍである。

[0056] 図２は、本発明の固体撮像素子用エピタキシャル基板を用いて作成した固体撮像素子の一例を示す断面図である。固体撮像素子１６０は、p^+型の半導体基板（シリコン基板）１２の上にｐ型のエピタキシャル層１３を形成し、更に、半導体基板１２にゲッタリングシンク１４を形成したエピタキシャル基板１１を用いる。エピタキシャル層１２の所定位置には、第１のｎ型ウエ

ル領域１６１が形成される。第１のｎ型ウエル領域１６１の内部に、垂直転送レジスタを構成するｐ型の転送チャネル領域１６３、ｎ型のチャネルストップ領域１６４および第２のｎ型ウエル領域１６５がそれぞれ形成されている。

[0057] ゲート絶縁膜１６２の所定位置には転送電極１６６が形成されている。ｐ型の転送チャネル領域１６３と第２のｎ型ウエル領域１６５との間に、ｎ型の正電荷蓄積領域１６７とｐ型の不純物拡散領域１６８とを積層させたフォトダイオード１６９が形成される。これらを覆う層間絶縁膜１７１、およびフォトダイオード１６９の直上方を除いた表面を覆う遮光膜１７２を備えている。

[0058] このような構成の固体撮像素子１６０は、半導体基板１２に形成されたゲッタリングシンク１４によって、エピタキシャル基板１１に含まれる重金属が確実に捕捉されているため、固体撮像素子１６０の撮像特性を低下させる要因であるフォトダイオード１６９の暗時リーク電流を抑制できる。よって、本発明のエピタキシャル基板１１を用いて固体撮像素子１６０を形成することによって、暗時リーク電流の少ない、優れた撮像特性を持つ固体撮像素子１６０を実現できる。

[0059] 次に、本発明の固体撮像素子用エピタキシャル基板の製造方法について説明する。図３は、固体撮像素子用エピタキシャル基板の製造方法の概要を示した断面図である。エピタキシャル基板（固体撮像素子用エピタキシャル基板）を製造するにあたっては、まず半導体ウェーハ１２を用意する（図３（ａ）参照）。半導体ウェーハ１２は、例えば、シリコン単結晶インゴットをスライスして製造されたシリコン単結晶ウェーハであればよい。

[0060] 次に、半導体ウェーハ１２の一面１２ａにエピタキシャル層１３を形成する（図３（ｂ）参照）。エピタキシャル層１３の形成にあたっては、例えば、エピタキシャル成長装置を用いて、半導体ウェーハ１２を所定温度まで加熱しつつ原料ガスを導入し、一面１２ａにシリコン単結晶からなるエピタキシャル層１３を成長させれば良い。

[0061] 次に、エピタキシャル層１３を形成した半導体ウェーハ１２をレーザー照射装置１２０にセットし、半導体ウェーハ１２を移動させつつ、エピタキシャル層１３側からレーザービームを照射する（図３（ｃ）参照）。この時、レーザー発生装置１１５から出射されたレーザービームは、集光用レンズ（集光手段）１１１によって、集光点（焦点）が半導体ウェーハ１２の一面１２ａから数十μｍ程度深い位置になるように集光される。これにより、この深さ領域において、半導体ウェーハ１２の結晶構造が改質され、ゲッタリングシンク１４が形成される。ゲッタリングシンク１４とエピタキシャル層１３との間には、改質されていない層がほぼ一定の厚さとなって全面に亘って残存する。このゲッタリングシンク１４の形成工程は後ほど詳述する。

[0062] エピタキシャル層１３とゲッタリングシンク１４が形成された半導体ウェーハ１２は、更にアニール装置１８０によって所定の温度まで加熱される（図３（ｄ）参照）。これにより、半導体ウェーハ１２内に拡散している重金属がゲッタリングシンク１４に集められ、素子形成部分に重金属が極めて少ない固体撮像素子用エピタキシャル基板１１が得られる。

[0063] 図４は、半導体ウェーハにゲッタリングシンクを形成するためのレーザー照射装置の一例を示す模式図である。レーザー照射装置１２０は、レーザービームＱ１１をパルス発振するレーザー発生装置１１５、レーザービームＱ１１のパルス等を制御するパルス制御回路（Ｑスイッチ）１１６、レーザービームＱ１１を反射してレーザービームＱ１１の進行方向を半導体ウェーハ１２に向けて９０°変換させるビームスプリッタ（ハーフミラー）１１７ａ、ビームスプリッタ１１７ａで反射されたレーザービームＱ１１を集光する集光用レンズ（集光手段）１１１を備えている。

[0064] この装置は、エピタキシャル層１３を形成した半導体ウェーハ１２を載置するステージ１４０を備える。ステージ１４０は、集光されたレーザービームＱ２１を半導体ウェーハ１２の任意の位置で集光させて焦点を合わせるために、ステージ制御回路１４５によって、鉛直方向Ｙおよび水平方向Ｘに移動可能に制御される。

[0065] レーザー発生装置１１５およびパルス制御回路１１６は、特に限定はされないが、半導体ウェーハの内部における任意の位置の結晶構造を改質してゲッタリングシンクを形成できるレーザービームを照射できれば良い。特に、半導体ウェーハを透過可能な波長域で、かつ短パルス周期での発振が可能なチタンサファイヤレーザーが好適である。表１に、一般的な半導体ウェーハ、およびシリコンウェーハのそれぞれにおいて、好適なレーザー照射条件の具体例を示す。

[0066] [表1]

	レーザ照射条件	
ウェーハ種類	半導体ウェーハ	シリコンウェーハ
ビーム波長	300～1200nm	1000～1200nm
ビーム径	0.1～100μm	0.5～1.0μm
繰返し周波数	0.001～100MHz	10～100MHz
パルス幅	1.0×10^{-15}～1.0×10^{-8}秒	1.0×10^{-15}～1.0×10^{-9}秒
出力	1～1000mJ/パルス	1～100mJ/パルス

[0067] レーザー発生装置１１５で発生させたレーザービームＱ１１は、集光用レンズ１１１により光路幅を収束され、収束されたレーザービームＱ２１が半導体ウェーハ１２の任意の深さ位置Ｇ１で焦点を結像する（集光される）ように、ステージ１４０が鉛直方向Ｙで制御される。集光用レンズ１１１は、例えば倍率が１０～３００倍、Ｎ．Ａが０．３～０．９、レーザービームの波長に対する透過率が３０～６０%の範囲が好ましい。

[0068] レーザー照射装置１２０は、さらに可視光レーザー発生装置１１９、ビームスプリッタ（ハーフミラー）１１７ｂ、ＣＣＤカメラ１３０、ＣＣＤカメラ制御回路１３５、結像用レンズ１１２、中央制御回路１５０、および表示手段１５１とを備えている。

[0069] 可視光レーザー発生装置１１９で発生させた可視光レーザービームＱ３１は、ビームスプリッタ（ハーフミラー）１１７ｂで反射されて９０°方向を転換し、半導体ウェーハ１２のエピタキシャル層１３に達する。エピタキシ

ャル層１３の表面で反射され、集光用レンズ１１１およびビームスプリッタ１１７ａおよび１１７ｂを透過して結像用レンズ１１２に到達する。結像用レンズ１１２に到達した可視光レーザーＱ３１は、半導体ウェーハ１２の表面画像としてＣＣＤカメラ１３０で撮像され、撮像データがＣＣＤカメラ制御回路１３５に入力される。入力された撮像データに基づいて、ステージ制御回路１４５はステージ１４０の水平方向Ｘの移動量を制御する。

[0070] 次に、エピタキシャル層１３を形成した半導体ウェーハ１２にゲッタリングシンクを形成する方法を詳述する。図５は、レーザービームによって半導体ウェーハにゲッタリングシンクを形成する様子を示した模式図である。半導体ウェーハ１２にゲッタリングシンクを形成する際には、レーザー発生装置１１５から出射されたレーザービームＱ１１を集光用レンズ（集光手段）１１１によって収束させる。収束されたレーザービームＱ２１は、シリコンに対して透過可能な波長域であるため、エピタキシャル層１３の表面に達した後、反射せずにそのまま入射する。

[0071] エピタキシャル層１３を形成した半導体ウェーハ１２は、レーザービームＱ２１の集光点（焦点）が半導体ウェーハ１２の一面１２ａから所定の深さＤ１になるように位置決めされる。これにより、レーザービームＱ２１の集光点（焦点）だけ、半導体ウェーハ１２は多光子吸収過程が生じる。

[0072] 多光子吸収過程は、周知のように、ごく短時間に多量の光子が特定の部位（照射領域）に照射することによって、照射領域だけに選択的に多量のエネルギーが吸収され、これにより、照射領域の結晶結合が変化するなどの反応を引き起こすものである。本発明においては、半導体ウェーハ１２の内部の任意の領域にレーザービームを集光させることによって、集光点（焦点）において、単結晶構造の半導体ウェーハを改質し、部分的にアモルファスライクな結晶構造を生じさせる。結晶構造の改質は、重金属の捕捉作用が生じる程度、即ち、結晶構造に僅かな歪を生じさせる程度で良い。

[0073] 以上のように、半導体ウェーハ１２の内部の任意の微小領域にレーザービームＱ１１を収束させたレーザービームＱ２１の集光点（焦点）を設定し、

微小領域の結晶構造を改質することによって、半導体ウェーハ１２の任意の微小領域にゲッタリングシンク１４を形成できる。

[0074] ゲッタリングシンク１４を形成するためのレーザービームは、レーザービームが集光点（焦点）に至るよりも前の光路においては、エピタキシャル層１３や半導体ウェーハ１２の結晶構造を改質することなく、レーザービームが確実に透過可能な条件とすることが重要である。レーザービームの照射条件は、半導体材料の基礎物性値である禁制帯（エネルギーバンドギャップ）により決定される。例えば、シリコン半導体の禁制帯は、１．１ｅＶであるため入射波長が１０００ｎｍ以上の場合、透過性が顕著となる。このようにしてレーザービームの波長は、半導体材料の禁制帯を考慮して決定できる。

[0075] レーザービームの発生装置としては、ＹＡＧレーザーのような高出力レーザーでは、所定の深さ位置だけではなく、その周辺領域にも熱エネルギーが伝達する虞があるため、低出力レーザーを用いることが好ましい。低出力レーザーとしては、例えば、フェムト秒レーザーのような超短パルスレーザーが好適である。

[0076] 超短パルスレーザーは、半導体レーザーなどを用いてチタンサファイヤ結晶（固体レーザー結晶）を励起することによって、レーザービームの波長を任意の範囲に設定できる。超短パルスレーザーは、励起レーザービームのパルス幅を１．０×１０$^{-15}$フェムト秒以下にできるため、その他のレーザーと比較して励起によって生じる熱エネルギーの拡散を抑制でき、レーザービームの集光点（焦点）のみに光エネルギーを集中させることができる。

[0077] 多光子吸収過程により結晶構造を改質して形成したゲッタリングシンク１４は、おそらくアモルファスライクな結晶構造になっているものと推定される。このようなアモルファスライクの結晶構造を得るには、レーザービームが集光点（焦点）Ｇ１を局部的に急速加熱・急速冷却する必要がある。表１に示したような特性を持つ超短パルスレーザーは、エネルギー量の小さいレーザーであるが、集光用レンズ１１１を用い集光することによって、半導体基板１２０を局部的に急速加熱するのに十分なエネルギーとなる。レーザー

ビームの集光点（焦点）Ｇの温度は９９００～１００００Ｋの高温に達する。集光されているために入熱範囲が大変狭く、半導体ウェーハ１２を載置したステージの移動、あるいはレーザービームの走査によって集光点（焦点）が移動すると、移動前の集光点（焦点）における入熱量は急激に減少し、急速冷却効果が得られる。１照射点当たりの照射パルス数は、１０～１０００パルスであることが好ましく、より好ましくは１０～１００パルスである。

[0078] 表１に示した超短パルスレーザーのように、波長を１０００ｎｍとすることによって、エピタキシャル層１３や半導体ウェーハ１２に対する透過性が高められ、エピタキシャル層１３などの結晶組織に影響を与えることなく、レーザービームの集光点（焦点）である微小領域だけを改質できる。結晶構造の改質部分が半導体基板１２のゲッタリングシンク１４として好適に利用できる。レーザービームの波長が１２００ｎｍを超えると、長波長領域であるために光子エネルギー（レーザービームエネルギー）が低くなる。このため、レーザービームを集光させても半導体基板内部の改質に十分な光子エネルギーを得ることができない虞があり、レーザービームの波長は１２００ｎｍ以下とすることが好ましい。

[0079] レーザービームの集光点（焦点）Ｇ１の位置、すなわち半導体基板１２にゲッタリングシンク１４を形成する位置は、ステージを上下動させることによって制御できる。ステージを上下動させること以外にも、集光手段（集光用レンズの）位置を制御することでもレーザービームの集光点（焦点）Ｇ１の位置を制御できる。

[0080] 一例として、半導体基板１２の表面１２ａから深さ２μｍの位置を改質してゲッタリングシンク１４を形成する場合には、レーザービームの波長を１０８０ｎｍに設定し、透過率が６０％の集光用レンズ（倍率５０倍）を用いて表面から２μｍの位置にレーザービームを結像（集光）させ、多光子吸収過程を生じさせることにより改質部分（ゲッタリングシンク）を形成できる。

[0081] このように、半導体基板１２の微小領域の結晶構造を改質して得られるゲ

ッタリングシンク１４は、例えば、直径Ｒ１が５０～１５０μｍ、厚みＴ１が１０～１５０μｍの大きさの円盤状に形成されればよい。ゲッタリングシンク１４の形成深さＤ１は、半導体基板１２の一面１２ａから０．５～２μｍ程度が好ましい。

[0082] それぞれのゲッタリングシンク１４は、エピタキシャル基板１１に固体撮像素子の形成領域Ｓ１と重なる位置に少なくとも形成されていればよい。ゲッタリングシンク１４は、例えば、形成ピッチＰ１が０．１～１０μｍの間隔で形成されればよい。ゲッタリングシンク１４は、上述したように間欠的に形成されている以外にも、例えば、半導体基板に対して所定の深さで、半導体基板全体に均一に形成されていてもよい。

[0083] 図６は、エピタキシャル基板におけるゲッタリングシンクの形成の様子を示した模式図である。ゲッタリングシンク１４は、エピタキシャル基板１１における固体撮像素子の形成領域Ｓ１の下部にそれぞれ形成されればよい。例えば、レーザービームＱ１がエピタキシャル基板１１の全域に渡って走査されるように、エピタキシャル基板11を周縁部でＹ方向にずらしつつＸ方向に沿って走査させ、レーザービームＱ１を所定の条件で照射していけば、エピタキシャル基板１１の全体にゲッタリングシンク１４，１４・・を形成できる。

[0084] エピタキシャル基板１１の全体におけるゲッタリングシンク１４の形成密度は、レーザービームＱ１の走査ピッチＢ１によって設定できる。ゲッタリングシンク４の形成密度は、例えば、１．０×10^5～１．０×10^7個／cm^2の範囲が好適である。ゲッタリングシンク１４の形成密度は、断面ＴＥＭ（透過型電子顕微鏡）による観察で得られた酸素析出物の個数によって検証できる。

[0085] 以上のように、本発明の固体撮像素子用エピタキシャル基板の製造方法によれば、エピタキシャル基板に向けて集光手段を介してレーザービームを入射させ、半導体基板の内部における任意の微小領域にレーザービームを集光させることによって、半導体基板の内部の微小領域に多光子吸収過程を生じ

させ、前記微小領域の結晶構造だけを変化させたゲッタリングシンクを容易に、かつ短時間で形成することが可能になる。

[0086] これによって、従来のようにゲッタリングシンクを形成するために、長時間の熱処理が不要となり、固体撮像素子用エピタキシャル基板の製造工程を簡略化し、製造コストを低減できる。３００ｍｍウェーハなどに代表される両面研磨基板であっても、半導体基板の内部に容易にゲッタリングシンクを形成することが可能となる。

[0087] [半導体デバイス]

次に、本発明に係る半導体デバイス、およびその製造方法の最良の実施形態について、半導体デバイスの一例としてＮＡＮＤ型フラッシュメモリを挙げ、図面に基づき説明する。

[0088] 図７は、本発明の半導体デバイスの一例であるＮＡＮＤ型フラッシュメモリを示す拡大断面図である。ＮＡＮＤ型フラッシュメモリ（半導体デバイス）２１は、p^+型の半導体基板２２と、半導体基板２２の一面２２ａに形成された第一の絶縁膜２３とを備える。第一の絶縁膜２３の一面２３ａには、フローティングゲート２５、第二の絶縁膜２６、コントロールゲート２７が、順に重ねて形成されている。

[0089] 半導体基板２の一面２２ａ側における、フローティングゲート２５の形成領域の周囲には、n^+型のソース領域２８、ドレイン領域２９がそれぞれ形成される。半導体基板２２におけるデバイスの形成領域Ｓ２と重なる位置、例えば、フローティングゲート２５、第二の絶縁膜２６、コントロールゲート２７等が積層された領域に重なる位置に、半導体基板２２の重金属を捕捉するゲッタリングシンク２４が形成されている。

[0090] 半導体基板２２は、例えば、シリコン単結晶ウェーハであればよい。第一の絶縁膜２３は、シリコン単結晶ウェーハの表面を酸化させたSiO_2膜であればよい。第二の絶縁膜２６は、例えば、窒化シリコン（ＳｉＮ）膜であればよい。

[0091] ゲッタリングシンク２４は、シリコン単結晶の一部をアモルファス化させ

た（アモルファスライク）構造であればよい。ゲッタリングシンク２４は、その結晶構造中に僅かな歪みが存在するだけで重金属を捕捉する能力があり、ごく一部をアモルファス化するだけでゲッタリングシンクとしての役割を果たすことができる。ゲッタリングシンク２４は、レーザービームの集光により、半導体基板２２の一部に多光子吸収過程を生じさせて結晶構造を改質する事によって形成される。このようなゲッタリングシンク２４の形成方法は、後ほど半導体デバイスの製造方法にて詳述する。

[0092] ゲッタリングシンク２４は、少なくとも個々のデバイスの形成領域Ｓ２と重なる位置に形成されていればよい。例えば、１つのゲッタリングシンク２４は、直径Ｒ２が５０～１５０μｍ、より好ましくは７５～１２５μｍ、厚みＴ２が１０～１５０μｍ、より好ましくは１０～１００μｍの大きさの円盤状に形成されていればよい。ゲッタリングシンク２４の形成深さＤ２は、半導体基板２の一面２ａから０．５～２μｍ程度が好ましい。Ｄ２はより好ましくは０．８～１．５μｍである。

[0093] 以上のような構成のＮＡＮＤ型フラッシュメモリ２１は、コントロールゲート２７に制御電圧が印加されると、p^+型の半導体基板２２から第一の絶縁膜２３をトンネルしてフローティングゲート２５に向けて電子が注入される。これによって、データの書込状態となる。フローティングゲート２５は、第一の絶縁膜２３や第二の絶縁膜２６などの絶縁体に囲まれているため、電源が切断されても記憶状態が保持される。

[0094] 一方、p^+型の半導体基板２２に所定の電圧を印加することによって、フローティングゲート２５に保持されていた電子は、絶縁膜２３をトンネルして半導体基板２２に向けて移動する。これによって、データの消去状態となり、電子が注入される。

[0095] このようなＮＡＮＤ型フラッシュメモリ２１は、半導体基板２２に形成されたゲッタリングシンク２４によって、重金属が確実に捕捉されているため、ＮＡＮＤ型フラッシュメモリ２１の特性を低下させる要因であるリーク電流を抑制できる。よって、リーク電流の少ない、優れた記憶特性を持つＮＡ

ＮＤ型フラッシュメモリ２１を実現できる。

[0096] 本発明の半導体デバイスは、上述したようなＮＡＮＤ型フラッシュメモリに限定されるものではなく、例えばＮＯＲ型フラッシュメモリなどのフラッシュメモリ、あるいはＤＲＡＭなどの半導体メモリに代表される各種の半導体デバイスにも同様に適用できる。

[0097] 次に、本発明の半導体デバイスの製造方法について、上述したＮＡＮＤ型フラッシュメモリを一例として挙げて説明する。図８は、半導体デバイスの製造方法の概要を段階的に示した断面図である。ＮＡＮＤ型フラッシュメモリ（半導体デバイス）を製造するにあたっては、まず半導体基板２２を用意する（図８（ａ）参照）。半導体基板２２は、例えば、シリコン単結晶インゴットをスライスして製造されたシリコン単結晶ウェーハであればよい。

[0098] 次に、半導体基板２２の一面２２ａに第一の絶縁膜２３を形成する（図８（ｂ）参照）。第一の絶縁膜２３は、例えばシリコン単結晶ウェーハの一面を酸化させたシリコン酸化膜（SiO_2）であればよい。シリコン酸化膜２３の形成にあたっては、例えば、アニール装置を用いて、半導体基板２２を所定温度まで加熱して、その表面を酸化させれば良い。

[0099] 次に、例えば、フォトリソグラフィ等によって、半導体基板２２の一面２２ａにフローティングゲート２５、第二の絶縁膜２６、コントロールゲート２７、およびソース領域２８、ドレイン領域２９などからなるデバイス（ＮＡＮＤメモリ素子）を形成する（図８（ｃ）参照）。

[0100] 次に、デバイス（ＮＡＮＤメモリ素子）を形成した半導体基板２の他面（裏面）２２ｂ側からレーザービームを照射して、ゲッタリングシンク２４を形成する（図８（ｄ）参照）。図９は、半導体基板にゲッタリングシンクを形成するためのレーザー照射装置１２０の一例を示す模式図である。レーザー照射装置１２０は、先に述べた実施形態で使用した物と同様でよい。好適なレーザー照射条件は、前述した表1と同様でよい。

[0101] レーザー発生装置１１５で発生させたレーザービームＱ１１は、集光用レンズ１１１により光路幅を収束され、この収束されたレーザービームＱ２１

が半導体基板２２の任意の深さ位置Ｇ２で焦点を結像する（集光される）ように、ステージ１４０が鉛直方向Ｙで制御される。集光用レンズ１１１は、例えば倍率が１０～３００倍、Ｎ．Ａが０．３～０．９、レーザービームの波長に対する透過率が３０～６０％の範囲が好ましい。

[0102] 可視光レーザー発生装置１１９で発生させた可視光レーザービームＱ３１は、ビームスプリッタ（ハーフミラー）１１７ｂで反射されて９０°方向を転換し、半導体基板２２に達する。可視光レーザービームＱ３１は、半導体基板２２の表面（他面２２ｂ側）で反射され、集光用レンズ１１１およびビームスプリッタ１１７ａおよび１１７ｂを透過して結像用レンズ１１２に到達する。結像用レンズ１１２に到達した可視光レーザーＱ３１は、半導体基板２２の表面画像としてＣＣＤカメラ１３０で撮像され、撮像データがＣＣＤカメラ制御回路１３５に入力される。入力された撮像データに基づいて、ステージ制御回路１４５はステージ１４０の水平方向Ｘの移動量を制御する。

[0103] 次に、デバイスを形成した半導体基板２２にゲッタリングシンクを形成する方法を詳述する。半導体基板２２の内部にゲッタリングシンクを形成する際には、まず、ステージ１４０に対して他面２２ｂ側が上面（レーザー入射面）になるように半導体基板２２を載置する。レーザー発生装置１１５から出射されたレーザービームＱ１１を集光用レンズ（集光手段）１１１によって収束させる。収束されたレーザービームＱ２１は、シリコンに対して透過可能な波長域であるため、半導体基板２２の他面２２ｂに達した後、反射せずにそのまま入射する。

[0104] 半導体基板２２は、レーザービームＱ２１の集光点（焦点）が半導体基板２２の一面２２ａから所定の深さＤ２になるように位置決めされる。これにより、レーザービームＱ２１の集光点（焦点）だけ、半導体基板２２は多光子吸収過程が生じる。

[0105] 本発明においては、半導体基板２２の内部の任意の領域にレーザービームを集光させることによって、集光点（焦点）において、単結晶構造の半導体

ウェーハを改質し、部分的にアモルファスライクな結晶構造を生じさせる。結晶構造の改質は、重金属の捕捉作用が生じる程度、即ち、結晶構造に僅かな歪を生じさせる程度で良い。

[0106] 以上のように、半導体基板２２の内部の任意の微小領域にレーザービームＱ１１を収束させたレーザービームＱ２１の集光点（焦点）を設定し、微小領域の結晶構造を改質することによって、半導体基板２２の任意の微小領域にゲッタリングシンク２４を形成できる。

[0107] ゲッタリングシンク２４を形成するためのレーザービームは、レーザービームが集光点（焦点）に至る前の光路においては、半導体基板２２の結晶構造を改質するだけのエネルギーを持たず、かつ、レーザービームが確実に透過可能な条件とすることが重要である。レーザービームの照射条件は、半導体材料の基礎物性値である禁制帯（エネルギーバンドギャップ）により決定される。例えば、シリコン半導体の禁制帯は、１．１ｅＶであるため入射波長が１０００ｎｍ以上の場合、透過性が顕著となる。このようにしてレーザービームの波長は、半導体材料の禁制帯を考慮して決定できる。

[0108] レーザービームの発生装置としては、ＹＡＧレーザーのような高出力レーザーでは、所定の深さ位置だけではなく、その周辺領域にも熱エネルギーが伝達する虞があるため、低出力レーザーを用いることが好ましい。低出力レーザーとしては、例えば、フェムト秒レーザーのような超短パルスレーザーが好適である。

[0109] 超短パルスレーザーは、半導体レーザーなどを用いてチタンサファイヤ結晶（固体レーザー結晶）を励起することによって、レーザービームの波長を任意の範囲に設定できる。超短パルスレーザーは、励起レーザービームのパルス幅を１．０×１０$^{-15}$フェムト秒以下にできるため、その他のレーザーと比較して励起によって生じる熱エネルギーの拡散を抑制でき、レーザービームの集光点（焦点）のみに光エネルギーを集中させることができる。

[0110] 多光子吸収過程により結晶構造を改質して形成したゲッタリングシンク２４は、おそらくアモルファスライクな結晶構造になっているものと推定され

る。このようなアモルファスライクの結晶構造を得るには、レーザービームが集光点（焦点）Ｇ２を局部的に急速加熱・急速冷却する必要がある。表１に示したような特性を持つ超短パルスレーザーは、エネルギー量の小さいレーザーであるが、集光用レンズ１１１を用い集光することによって、半導体基板２２を局部的に急速加熱するのに十分なエネルギーとなる。レーザービームの集光点（焦点）Ｇ２の温度は９９００～１００００Ｋの高温に達する。集光されているために入熱範囲が大変狭く、半導体基板２２を載置したステージの移動、あるいはレーザービームの走査によって集光点（焦点）が移動すると、移動前の集光点（焦点）における入熱量は急激に減少し、急速冷却効果が得られる。

[0111] 表１に示した超短パルスレーザーのように、波長を１０００ｎｍとすることによって、半導体基板２２に対する透過性が高められ、ゲッタリングシンク２４を形成したい領域以外の結晶組織に影響を与えることなく、レーザービームの集光点（焦点）である微小領域だけを改質できる。結晶構造の改質部分が半導体基板２２のゲッタリングシンク２４として好適に利用できる。レーザービームの波長が１２００ｎｍを超えると、長波長領域であるために光子エネルギー（レーザービームエネルギー）が低くなる。このため、レーザービームを集光させても半導体基板内部の改質に十分な光子エネルギーを得ることができない虞があり、レーザービームの波長は１２００ｎｍ以下とすることが好ましい。

[0112] レーザービームの集光点（焦点）Ｇ２の位置、すなわち半導体基板２２にゲッタリングシンク２４を形成する位置は、ステージを上下動させることによって制御できる。ステージを上下動させること以外にも、集光手段（集光用レンズの）位置を制御することでもレーザービームの集光点（焦点）Ｇ２の位置を制御できる。

[0113] 一例として、半導体基板の表面から２μｍの位置を改質してゲッタリングシンク２４を形成する場合には、レーザービームの波長を１０８０ｎｍに設定し、透過率が６０％の集光用レンズ（倍率５０倍）を用いて表面から２μｍ

の位置にレーザービームを結像（集光）させ、多光子吸収過程を生じさせることにより改質部分（ゲッタリングシンク）を形成できる。

[0114] 半導体基板２２の微小領域の結晶構造を改質して得られるゲッタリングシンク２４は、例えば、直径Ｒ２が５０～１５０μｍ、厚みＴ２が１０～１５０μｍの大きさの円盤状に形成されればよい。ゲッタリングシンク２４の形成深さＤ２は、半導体基板２２の一面２２ａから０．５～２μｍ程度が好ましい。

[0115] 各ゲッタリングシンク２４は、半導体基板２２の素子形成領域Ｓ２と重なる位置に少なくとも形成されていればよい。ゲッタリングシンク２４は、例えば、隣接するゲッタリングシンク２４との間の形成ピッチが０．１～１０μｍの間隔で形成されればよい。ゲッタリングシンク４は、上述したように間欠的に形成されている以外にも、例えば、半導体基板に対して所定の深さで、半導体基板全体に均一に形成されているのも好ましい。

[0116] 半導体基板におけるゲッタリングシンクの形成の様子は、先に説明した図６と同様でよいから説明を省略する。図６において、ゲッタリングシンク１４（２４）は、半導体基板における素子形成領域の下部に形成されればよい。例えば、レーザービームＱ１がデバイスを形成した半導体基板１１（２２）の他面（裏面）の全域に渡って走査されるように、周縁部でＹ方向にずらしつつＸ方向に沿って走査させ、レーザービームＱ１を所定の条件で照射していけば、半導体基板２２の全体にゲッタリングシンク２４，２４・・を形成できる。

[0117] ゲッタリングシンク２４の形成密度は、レーザービームＱ１の走査ピッチＢ１によって設定できる。ゲッタリングシンク２４の形成密度は、例えば、１．０×10^5～１．０×10^6個／cm^2の範囲が好適である。ゲッタリングシンク２４の形成密度は、断面ＴＥＭ（透過型電子顕微鏡）による観察で得られた酸素析出物の個数によって検証できる。

[0118] 以上のようにしてゲッタリングシンク２４が形成された半導体基板２２は、更にアニール装置２８０によって所定の温度まで加熱される（図８（ｅ）

参照）。これにより、半導体基板２２内に拡散している重金属がゲッタリングシンク２４に集められ、素子形成部分に重金属が極めて少ないＮＡＮＤ型フラッシュメモリ（半導体デバイス）を得ることができる。

[0119] アニール装置によるゲッタリングシンク２４への重金属の捕捉は、半導体基板２２を他面２２ｂ側から研削して薄厚化した後に行うのが好ましい。これによって、薄厚化工程で重金属に汚染されても、デバイスの形成領域の重金属を確実に取り除き、薄厚化しても重金属によるリークなどの特性劣化のない半導体デバイスを提供できる。

[0120] 以上のように、本発明の半導体デバイスの製造方法によれば、半導体基板に向けて集光手段を介してレーザービームを入射させ、半導体基板の内部における任意の微小領域にレーザービームを集光させることによって、半導体基板の内部の微小領域に多光子吸収過程を生じさせ、前記微小領域の結晶構造だけを変化させたゲッタリングシンクを容易に、かつ短時間で形成することが可能になる。

[0121] これによって、従来のようにゲッタリングシンクを形成するために、長時間の熱処理が不要となり、薄厚化しても重金属を確実に取り除くことができる。３００ｍｍウェーハなどに代表される両面研磨基板であっても、半導体基板の内部に容易にゲッタリングシンクを形成することが可能となる。

[0122] [固体撮像素子用エピタキシャル基板]

図１０は、本発明の他の態様に係る固体撮像素子用エピタキシャル基板を示す拡大断面図である。エピタキシャル基板（固体撮像素子用エピタキシャル基板）３１は、裏面照射型固体撮像素子の製造に好適な基板（ウェーハ）であり、半導体基板３２と、半導体基板３２の一面３２ａ寄りに形成されたＳＯＩ構造の埋込酸化膜３５と、半導体基板３２の一面３２ａに重ねて形成されたエピタキシャル層３３とを備える。埋込酸化膜３５の下部には、エピタキシャル基板３１の重金属を捕捉するゲッタリングシンク３４，３４・・が形成されている。

[0123] このようなエピタキシャル基板３１は、裏面照射型固体撮像素子の基板と

して好適に用いることができる。半導体基板３２は、例えば、シリコン単結晶ウェーハであればよい。エピタキシャル層３３は、半導体基板３２の一面３２ａから成長させたシリコンのエピタキシャル成長膜であればよい。埋込酸化膜３５は、例えば、酸化膜を形成した基板と半導体基板とを貼り合わせる方法や、酸素をイオン注入により半導体基板の一面から打ち込み、加熱して酸化させることにより、半導体基板の内部に埋込酸化膜（ＢＯＸ層）３５を形成する方法を用いれば良い。

[0124] ゲッタリングシンク３４は、シリコン単結晶の一部をアモルファス化させた（アモルファスライク）構造であればよい。ゲッタリングシンク３４は、その結晶構造中に僅かな歪みが存在するだけで重金属を捕捉する能力があり、ごく一部をアモルファス化するだけでゲッタリングシンクとしての役割を果たすことができる。ゲッタリングシンク３４は、レーザービームの集光により、半導体基板３２の一部に多光子吸収過程を生じさせて結晶構造を改質する事によって形成される。このようなゲッタリングシンク３４の形成方法は、後ほど裏面照射型固体撮像素子の製造方法にて詳述する。

[0125] ゲッタリングシンク３４は、エピタキシャル基板３１を用いて裏面照射型固体撮像素子を形成する際に、少なくともそれぞれの裏面照射型固体撮像素子の形成領域Ｓ３と重なる位置に形成されていればよい。例えば、１つのゲッタリングシンク３４は、直径Ｒ３が５０～１５０μｍ、より好ましくは７５～１２５μｍ、厚みＴ３が１０～１５０μｍ、より好ましくは１０～１００μｍの大きさの円盤状に形成されていればよい。ゲッタリングシンク３４の形成深さＤ３は、半導体基板２の一面２ａから０．５～２μｍ程度が好ましい。深さＤ３はより好ましくは０．８～１．５μｍである。

[0126] 図１１は、本発明の固体撮像素子用エピタキシャル基板を用いて作成した裏面照射型固体撮像素子の一例を示す断面図である。裏面照射型固体撮像素子３６０は、エピタキシャル層３３に形成されたフォトダイオード３６１と、エピタキシャル層３３の一面（表面）３３ａ側に形成された絶縁層３６２と、絶縁層３６２の内部に形成された配線３６３とを備えている。裏面照射

型固体撮像素子３６０は、形成時に半導体基板が研削によって除去され、薄厚化されている。入射光Ｆ３はエピタキシャル層３３の他面（裏面）３３ｂ側から入射し、フォトダイオード３６１で検出される。

[0127] このような構成の裏面照射型固体撮像素子３６０は、製造に用いるエピタキシャル基板３１（図１０参照）の半導体基板３２に形成されたゲッタリングシンク３４によって、エピタキシャル層３３に含まれる重金属が確実に捕捉されているため、裏面照射型固体撮像素子３６０の撮像特性を低下させる要因であるフォトダイオード３６１の暗時リーク電流を抑制できる。よって、優れた撮像特性を持つ裏面照射型固体撮像素子３６０を実現できる。

[0128] 次に、本発明の裏面照射型固体撮像素子の製造方法について説明する。図１２～１４は、裏面照射型固体撮像素子の製造方法の概要を示した断面図である。裏面照射型固体撮像素子を製造するにあたっては、まず半導体基板３２を用意する（図１２（ａ）参照）。半導体基板３２は、例えば、シリコン単結晶インゴットをスライスして製造されたシリコン単結晶ウェーハであればよい。

[0129] 次に、半導体基板３２の一面３２ａにエピタキシャル層３３を形成する（図１２（ｂ）参照）。エピタキシャル層３３の形成にあたっては、例えば、エピタキシャル成長装置を用いて、半導体基板３２を所定温度まで加熱しつつ原料ガスを導入し、一面３２ａにシリコン単結晶からなるエピタキシャル層３３を成長させれば良い。必要に応じて、半導体基板３２の内部に埋込酸化膜（ＢＯＸ層）３５を形成するのが好ましい。

[0130] 次に、エピタキシャル層３３を形成した半導体基板３２をレーザー照射装置１２０にセットし、半導体基板３２を移動させつつレーザービームを照射する（図１２（ｃ）参照）。この時、レーザー発生装置１１５から出射されたレーザービームは、集光用レンズ（集光手段）１１１によって集光点（焦点）が半導体基板３２の一面３２ａから数十μｍ程度深い位置になるように集光される。これにより、半導体基板３２の結晶構造が改質され、ゲッタリングシンク３４が形成される。

[0131] 図１５は、半導体基板にゲッタリングシンクを形成する工程で用いられるレーザー照射装置の一例を示す模式図である。レーザー照射装置１２０は、レーザー照射装置１２０は、先に述べた実施形態で使用した物と同様でよいので説明を省略する。好適なレーザー照射条件は、前述した表1と同様でよい。

[0132] レーザー発生装置１１５で発生させたレーザービームＱ１１は、集光用レンズ１１１により光路幅を収束され、収束されたレーザービームＱ２１が半導体基板３２の任意の深さ位置Ｇ３で焦点を結像する（集光される）ように、ステージ１４０が鉛直方向Ｙで制御される。集光用レンズ１１１は、例えば倍率が１０～３００倍、Ｎ．Ａが０．３～０．９、レーザービームの波長に対する透過率が３０～６０％の範囲が好ましい。

[0133] 可視光レーザ発生装置１１９で発生させた可視光レーザービームＱ３１は、ビームスプリッタ（ハーフミラー）１１７ｂで反射されて９０°方向を転換し、半導体基板３２のエピタキシャル層３３に達する。エピタキシャル層３３の表面で反射され、集光用レンズ１１１およびビームスプリッタ１１７ａおよび１１７ｂを透過して結像用レンズ１１２に到達する。結像用レンズ１１２に到達した可視光レーザーＱ３１は、半導体基板２の表面画像としてＣＣＤカメラ１３０で撮像され、撮像データがＣＣＤカメラ制御回路１３５に入力される。入力された撮像データに基づいて、ステージ制御回路１４５はステージ１４０の水平方向Ｘの移動量を制御する。

[0134] 次に、エピタキシャル層３３を形成した半導体基板３２にゲッタリングシンクを形成する方法を詳述する。図１６は、レーザービームによって半導体基板にゲッタリングシンクを形成する様子を示した模式図である。半導体基板３２にゲッタリングシンクを形成する際には、レーザー発生装置１１５から出射されたレーザービームＱ１１を集光用レンズ（集光手段）１１１によって収束させる。収束されたレーザービームＱ２１は、シリコンに対して透過可能な波長域であるため、半導体基板３２の裏面に達した後、反射せずにそのまま入射する。

[0135] エピタキシャル層３３を形成した半導体基板３２は、レーザービームＱ２１の集光点（焦点）が半導体基板３２の一面３２ａから所定の深さＤ３になるように位置決めされる。これにより、レーザービームＱ２１の集光点（焦点）だけ、半導体基板３２は多光子吸収過程が生じる。

[0136] 本発明においては、半導体基板３２の内部の任意の領域にレーザービームを集光させることによって、集光点（焦点）において、単結晶構造の半導体基板を改質し、部分的にアモルファスライクな結晶構造を生じさせる。結晶構造の改質は、重金属の捕捉作用が生じる程度、即ち、結晶構造に僅かな歪を生じさせる程度で良い。

[0137] 以上のように、半導体基板３２の内部の任意の微小領域にレーザービームＱ１１を収束させたレーザービームＱ２１の集光点（焦点）を設定し、微小領域の結晶構造を改質することによって、半導体基板３２の任意の微小領域にゲッタリングシンク３４を形成できる。

[0138] ゲッタリングシンク３４を形成するためのレーザービームは、レーザービームが集光点（焦点）に至るよりも前の光路においては、エピタキシャル層３３や半導体基板３２の結晶構造を改質することなく、レーザービームが確実に透過可能な条件とすることが重要である。レーザービームの照射条件は、半導体材料の基礎物性値である禁制帯（エネルギーバンドギャップ）により決定される。例えば、シリコン半導体の禁制帯は、１．１ｅＶであるため入射波長が１０００ｎｍ以上の場合、透過性が顕著となる。このようにしてレーザービームの波長は、半導体材料の禁制帯を考慮して決定できる。

[0139] レーザービームの発生装置としては、ＹＡＧレーザーのような高出力レーザーでは、所定の深さ位置だけではなく、その周辺領域にも熱エネルギーが伝達する虞があるため、低出力レーザーを用いることが好ましい。低出力レーザーとしては、例えば、フェムト秒レーザーのような超短パルスレーザーが好適である。

[0140] 超短パルスレーザーは、半導体レーザーなどを用いてチタンサファイヤ結晶（固体レーザー結晶）を励起することによって、レーザービームの波長を

任意の範囲に設定できる。超短パルスレーザーは、励起レーザービームのパルス幅を１．０×１０$^{-15}$フェムト秒以下にできるため、その他のレーザーと比較して励起によって生じる熱エネルギーの拡散を抑制でき、レーザービームの集光点（焦点）のみに光エネルギーを集中させることができる。

[0141] 多光子吸収過程により結晶構造を改質して形成したゲッタリングシンク３４は、おそらくアモルファスライクな結晶構造になっているものと推定される。このようなアモルファスライクの結晶構造を得るには、レーザービームが集光点（焦点）Ｇ３を局部的に急速加熱・急速冷却する必要がある。表１に示したような特性を持つ超短パルスレーザーは、エネルギー量の小さいレーザーであるが、集光用レンズ１１１を用い集光することによって、半導体基板３２を局部的に急速加熱するのに十分なエネルギーとなる。レーザービームの集光点（焦点）Ｇの温度は９９００～１００００Ｋの高温に達する。集光されているために入熱範囲が大変狭く、半導体基板３２を載置したステージの移動、あるいはレーザービームの走査によって集光点（焦点）が移動すると、移動前の集光点（焦点）における入熱量は急激に減少し、急速冷却効果が得られる。

[0142] 表１に示した超短パルスレーザーのように、波長を１０００ｎｍとすることによって、エピタキシャル層３３や半導体基板３２に対する透過性が高められ、エピタキシャル層３３などの結晶組織に影響を与えることなく、レーザービームの集光点（焦点）である微小領域だけを改質できる。結晶構造の改質部分が半導体基板３２のゲッタリングシンク３４として好適に利用できる。レーザービームの波長が１２００ｎｍを超えると、長波長領域であるために光子エネルギー（レーザービームエネルギー）が低くなる。このため、レーザービームを集光させても半導体基板内部の改質に十分な光子エネルギーを得ることができない虞があり、レーザービームの波長は１２００ｎｍ以下とすることが好ましい。

[0143] レーザービームの集光点（焦点）Ｇ３の位置、すなわち半導体基板３２にゲッタリングシンク３４を形成する位置は、ステージを上下動させることに

よって制御できる。ステージを上下動させること以外にも、集光手段（集光用レンズの）位置を制御することでもレーザービームの集光点（焦点）Ｇ３の位置を制御できる。

[0144] 一例として、半導体基板の表面から２μｍの位置を改質してゲッタリングシンク３４を形成する場合には、レーザービームの波長を１０８０ｎｍに設定し、透過率が６０%の集光用レンズ（倍率５０倍）を用いて表面から２μｍの位置にレーザービームを結像（集光）させ、多光子吸収過程を生じさせることにより改質部分（ゲッタリングシンク）を形成できる。

[0145] このように、半導体基板３２の微小領域の結晶構造を改質して得られるゲッタリングシンク３４は、例えば、直径Ｒ３が５０～１５０μｍ、厚みＴ３が１０～１５０μｍの大きさの円盤状に形成されればよい。ゲッタリングシンク３４の形成深さＤ３は、半導体基板３２の一面３２ａから０．５～２μｍ程度が好ましい。

[0146] それぞれのゲッタリングシンク３４は、エピタキシャル基板３６０に裏面照射型固体撮像素子の形成領域Ｓ３と重なる位置に少なくとも形成されていればよい。ゲッタリングシンク３４は、例えば、形成ピッチＰが０．１～１０μｍの間隔で形成されればよい。ゲッタリングシンク３４は、上述したように間欠的に形成されている以外にも、例えば、半導体基板に対して所定の深さで、半導体基板全体に均一に形成されていてもよい。

[0147] エピタキシャル基板におけるゲッタリングシンクの形成の様子は、先に説明した図６と同様である。ゲッタリングシンク３４（図６中の１４）は、エピタキシャル基板３１（図６中の１１）における裏面照射型固体撮像素子の形成領域の下部にそれぞれ形成されればよい。例えば、レーザービームＱ１がエピタキシャル基板３１の全域に渡って走査されるように、エピタキシャル基板３１を周縁部でＹ方向にずらしつつＸ方向に沿って走査させ、レーザービームＱ１を所定の条件で照射していけば、エピタキシャル基板３１の全体にゲッタリングシンク３４，３４・・を形成できる。

[0148] エピタキシャル基板３１の全体におけるゲッタリングシンク３４の形成密

度は、レーザービームＱ１の走査ピッチＢ１によって設定できる。ゲッタリングシンク３４の形成密度は、例えば、１．０×１０^{5}～１．０×１０^{7}個／ｃｍ^{2}の範囲が好適である。ゲッタリングシンク３４の形成密度は、断面ＴＥＭ（透過型電子顕微鏡）による観察で得られた酸素析出物の個数によって検証できる。

[0149] 以上、詳細に述べた工程によって、エピタキシャル基板３１にゲッタリングシンク３４が形成される（図１２（ｄ）参照）。次に、ゲッタリングシンク３４を形成したエピタキシャル基板３１を用いて、エピタキシャル層３３に多数のフォトダイオード３６１を形成する。エピタキシャル層３３の一面３３ａ側に、絶縁層３６２や配線３６３を形成する（図１３（ａ）参照）。絶縁層３６２の表面を平坦化する。

[0150] 続いて、フォトダイオード３６１や配線３６３が形成されたエピタキシャル基板３１をアニール装置３８０によって所定の温度まで加熱する（図１３（ｂ）参照）。これにより、半導体基板３２内に拡散している重金属がゲッタリングシンク３４に集められ、素子形成部分、即ちフォトダイオード３６１が形成された領域の重金属濃度が極めて低い状態にできる。

[0151] 次に、絶縁層３６２の一面３６２ａ側に支持基板３９０を貼りつける（図１３（ｃ）参照）。支持基板３９０の貼り付けは、後工程での薄厚化におけるエピタキシャル基板３１の破損を防止するためである。支持基板３９０としては、例えば、シリコンウェーハが用いられれば良い。

[0152] 続いて、支持基板３９０を貼り付けたエピタキシャル基板１３１を研削装置などを用いて、半導体基板３２の他面（裏面）３２ａ側から研削する。研削によって、例えば、半導体基板３２の全てと、エピタキシャル層３３の一部まで削り取って、薄厚化させれば良い（図１４（ａ）参照）。

[0153] 以上、述べたような工程を経て、裏面照射型固体撮像素子３６０が完成する（図１４（ｂ）参照）。裏面照射型固体撮像素子３６０は、入射光Ｆ３がエピタキシャル層３３の他面（裏面）３３ｂ側から入射し、フォトダイオード３６１で検出される。

[0154] 以上のように、本発明の裏面照射型固体撮像素子の製造方法によれば、エピタキシャル基板に向けて集光手段を介してレーザービームを入射させ、半導体基板の内部における任意の微小領域にレーザービームを集光させることによって、半導体基板の内部の微小領域に多光子吸収過程を生じさせ、前記微小領域の結晶構造だけを変化させたゲッタリングシンクを容易に、かつ短時間で形成することが可能になる。

[0155] これによって、従来のようにゲッタリングシンクを形成するために、長時間の熱処理が不要となり、裏面照射型固体撮像素子の製造工程を簡略化し、製造コストを低減できる。３００ｍｍウェーハなどに代表される両面研磨基板であっても、半導体基板の内部に容易にゲッタリングシンクを形成することが可能となる。

[0156] 製造に用いるエピタキシャル基板の半導体基板に形成されたゲッタリングシンクによって、エピタキシャル層に含まれる重金属が確実に捕捉されているため、裏面照射型固体撮像素子の撮像特性を低下させる要因であるフォトダイオードの暗時リーク電流を抑制できる。よって、優れた撮像特性を持つ裏面照射型固体撮像素子を実現できる。

[0157] [シリコンウェーハ]

図１７は、例えば固体撮像素子の製造に好適なエピタキシャルウェーハを示す拡大断面図である。エピタキシャルウェーハ４１は、シリコンウェーハ４２と、シリコンウェーハ４２の一面４２ａに形成されたエピタキシャル層４３とを備える。シリコンウェーハ４２の一面４２ａ近傍付近には、エピタキシャルウェーハ４１の重金属を捕捉するゲッタリングシンク４４，４４・・が形成されている。

[0158] このエピタキシャルウェーハ４１は、固体撮像素子向けの基板として好適に用いることができる。シリコンウェーハ４２は、例えば、シリコン単結晶基板であればよい。エピタキシャル層４３は、シリコンウェーハ４２の一面４２ａから成長させたシリコンのエピタキシャル成長膜であればよい。

[0159] ゲッタリングシンク４４は、シリコン単結晶の一部をアモルファス化させ

た（アモルファスライク）構造であればよい。ゲッタリングシンク４４は、その結晶構造中に僅かな歪みが存在するだけで重金属を捕捉する能力があり、ごく一部をアモルファス化するだけでゲッタリングシンクとしての役割を果たすことができる。ゲッタリングシンク４４は、レーザービームの集光により、シリコンウェーハ４２の一部に多光子吸収過程を生じさせて結晶構造を改質する事によって形成される。このようなゲッタリングシンク４４の形成方法は、後ほどエピタキシャルウェーハの製造方法にて詳述する。

[0160] ゲッタリングシンク４４は、エピタキシャルウェーハ４１を用いて、例えは固体撮像素子を形成する際に、少なくともそれぞれの固体撮像素子の形成領域Ｓ４と重なる位置に形成されていればよい。例えば、１つのゲッタリングシンク４４は、直径Ｒ４が５０～１５０μｍ、より好ましくは７５～１２５μｍ、厚みＴ４が１０～１５０μｍ、より好ましくは１０～１００μｍの大きさの円盤状に形成されていればよい。ゲッタリングシンク４４の形成深さＤ４は、シリコンウェーハ４２の一面４２ａから０．５～２μｍ程度が好ましい。より好ましい深さＤ４は０．８～１．５μｍである。

[0161] 図１８は、本発明のエピタキシャルウェーハの製造方法よって得られたエピタキシャルウェーハを用いて作成した固体撮像素子の一例を示す断面図である。固体撮像素子６０は、p^+型のシリコンウェーハ（シリコン基板）４２の上にｐ型のエピタキシャル層４３を形成し、更に、シリコンウェーハ４２にゲッタリングシンク４４を形成したエピタキシャルウェーハ４１を用いる。エピタキシャル層４３の所定位置には、第１のｎ型ウエル領域４６１が形成される。第１のｎ型ウエル領域４６１の内部に、垂直転送レジスタを構成するｐ型の転送チャネル領域４６３、ｎ型のチャネルストップ領域４６４および第２のｎ型ウエル領域４６５がそれぞれ形成されている。

[0162] 更に、ゲート絶縁膜４６２の所定位置には転送電極４６６が形成されている。ｐ型の転送チャネル領域４６３と第２のｎ型ウエル領域４６５との間に、ｎ型の正電荷蓄積領域４６７とｐ型の不純物拡散領域４６８とを積層させたフォトダイオード４６９が形成される。これらを覆う層間絶縁膜４７１、

およびフォトダイオード４６９の直上方を除いた表面を覆う遮光膜４７２を備えている。

[0163] このような構成の固体撮像素子４６０は、シリコンウェーハ４２に形成されたゲッタリングシンク４４によって、エピタキシャルウェーハ４１に含まれる重金属が確実に捕捉されているため、固体撮像素子４６０の撮像特性を低下させる要因であるフォトダイオード４６９の暗時リーク電流を抑制できる。よって、本発明の製造方法によって得られたエピタキシャルウェーハ４１を用いて固体撮像素子４６０を形成することによって、暗時リーク電流の少ない、優れた撮像特性を持つ固体撮像素子４６０を実現できる。

[0164] 次に、本発明のシリコンウェーハの製造方法、およびこのシリコンウェーハを用いたエピタキシャルウェーハの製造方法について説明する。図１９，図２０は、シリコンウェーハの製造方法およびエピタキシャルウェーハの製造方法を段階的に示した断面図である。まず、シリコンウェーハを製造するにあたっては、例えば、チョクラルスキー法（ＣＺ法）によって育成したシリコン単結晶インゴット８をスライスし（スライス工程：図１９（ａ）参照）、シリコンウェーハ（スライスウェーハ）２を得る（図１９（ｂ）参照）。

[0165] 次に、シリコンウェーハ４２の表面を、砥粒等を用いてラッピングを行う（ラッピング工程：図１９（ｃ）参照）。次に、ラッピングを施したシリコンウェーハ（ラッピングウェーハ）２をエッチングし、スライス工程やラッピング工程でなどで生じたシリコンウェーハの結晶歪みを除去する（エッチング工程：図１９（ｄ）参照）。エッチング工程では、例えば、フッ酸、硝酸、および酢酸の混合液、あるいは水酸化ナトリウム等のアルカリ溶液をエッチング液として用いればよい。

[0166] ラッピング工程やエッチング工程は、必要に応じて行えばよく、必ずしも必須の工程ではない。ラッピング工程の前に、研削機によってシリコンウェーハ４２の表面を研削するグラインディング工程を更に備えていてもよい。

[0167] 次に、シリコンウェーハ４２をレーザー照射装置２０にセットし、シリコ

ンウェーハ４２を移動させつつ、一面４２ａに向けてレーザービームを照射する（多光子吸収工程：図２０（ａ）参照）。多光子吸収工程では、レーザー発生装置１１５から出射されたレーザービームは、集光用レンズ（集光手段）１１１によって集光点（焦点）がシリコンウェーハ４２の一面４２ａから数十μｍ程度深い位置になるように集光される。これにより、シリコンウェーハ４２の結晶構造が改質され、ゲッタリングシンク４４が形成される。

[0168] 図２１は、シリコンウェーハにゲッタリングシンクを形成するためのレーザー照射装置１２０の一例を示す模式図である。これは、先に述べた実施形態で使用した物と同様でよい。好適なレーザー照射条件は、前述した表1と同様でよい。

[0169] レーザー発生装置１１５で発生させたレーザービームＱ１１は、集光用レンズ１１１により光路幅を収束され、収束されたレーザービームＱ２１がシリコンウェーハ４２の任意の深さ位置Ｇで焦点を結像する（集光される）ように、ステージ４０が鉛直方向Ｙで制御される。集光用レンズ１１１は、例えば倍率が１０～３００倍、Ｎ．Ａが０．３～０．９、レーザービームの波長に対する透過率が３０～６０%の範囲が好ましい。

[0170] 可視光レーザー発生装置１１９で発生させた可視光レーザービームＱ３１は、ビームスプリッタ（ハーフミラー）１１７ｂで反射されて９０°方向を転換し、シリコンウェーハ４２のエピタキシャル層４３に達する。エピタキシャル層４３の表面で反射され、集光用レンズ１１１およびビームスプリッタ１１７ａおよび１１７ｂを透過して結像用レンズ１１２に到達する。結像用レンズ１１２に到達した可視光レーザーＱ３１は、シリコンウェーハ４２の表面画像としてＣＣＤカメラ１３０で撮像され、撮像データがＣＣＤカメラ制御回路１３５に入力される。入力された撮像データに基づいて、ステージ制御回路１４５はステージ１４０の水平方向Ｘの移動量を制御する。

[0171] 次に、シリコンウェーハ４２にゲッタリングシンクを形成する方法を詳述する。図２２は、レーザービームによってシリコンウェーハにゲッタリングシンクを形成する様子を示した模式図である。シリコンウェーハ４２にゲッ

タリングシンクを形成する際には、レーザー発生装置１１５から出射されたレーザービームＱ１１を集光用レンズ（集光手段）１１１によって収束させる。収束されたレーザービームＱ２１は、シリコンに対して透過可能な波長域であるため、エピタキシャル層４３の表面に達した後、反射せずにそのまま入射する。

[0172] シリコンウェーハ４２は、レーザービームＱ２１の集光点（焦点）がシリコンウェーハ４２の一面４２ａから所定の深さＤ４になるように位置決めされる。これにより、レーザービームＱ２１の集光点（焦点）においてのみ、シリコンウェーハ４２には多光子吸収過程が生じる。

[0173] 本発明においては、シリコンウェーハ４２の内部の任意の領域にレーザービームを集光させることによって、集光点（焦点）において、単結晶構造のシリコンウェーハを改質し、部分的にアモルファスライクな結晶構造を生じさせる。結晶構造の改質は、重金属の捕捉作用が生じる程度、即ち、結晶構造に僅かな歪を生じさせる程度で良い。

[0174] 以上のように、シリコンウェーハ４２の内部の任意の微小領域にレーザービームＱ１１を収束させたレーザービームＱ２１の集光点（焦点）を設定し、微小領域の結晶構造を改質することによって、シリコンウェーハ４２の任意の微小領域にゲッタリングシンク４４を形成できる。

[0175] ゲッタリングシンク４４を形成するためのレーザービームは、レーザービームが集光点（焦点）に至るよりも前の光路においては、シリコンウェーハ４２の結晶構造を改質することなく、レーザービームが確実に透過可能な条件とすることが重要である。レーザービームの照射条件は、半導体材料の基礎物性値である禁制帯（エネルギーバンドギャップ）により決定される。例えば、シリコン半導体の禁制帯は、１．１ｅＶであるため入射波長が１００００ｎｍ以上の場合、透過性が顕著となる。このようにしてレーザービームの波長は、半導体材料の禁制帯を考慮して決定できる。

[0176] レーザービームの発生装置としては、ＹＡＧレーザーのような高出力レーザーでは、所定の深さ位置だけではなく、その周辺領域にも熱エネルギーが

伝達する虞があるため、低出力レーザーを用いることが好ましい。低出力レーザーとしては、例えば、フェムト秒レーザーのような超短パルスレーザーが好適である。

[0177] 超短パルスレーザーは、半導体レーザーなどを用いてチタンサファイヤ結晶（固体レーザー結晶）を励起することによって、レーザービームの波長を任意の範囲に設定できる。超短パルスレーザーは、励起レーザービームのパルス幅を１．０×１０$^{-15}$フェムト秒以下にできるため、その他のレーザーと比較して励起によって生じる熱エネルギーの拡散を抑制でき、レーザービームの集光点（焦点）のみに光エネルギーを集中させることができる。

[0178] 多光子吸収過程により結晶構造を改質して形成したゲッタリングシンク４４は、おそらくアモルファスライクな結晶構造になっているものと推定される。このようなアモルファスライクの結晶構造を得るには、レーザービームが集光点（焦点）Ｇを局部的に急速加熱・急速冷却する必要がある。例えば後述する表２に示したような特性を持つ超短パルスレーザーは、エネルギー量の小さいレーザーであるが、集光用レンズ１１１を用い集光することによって、シリコンウェーハ４２０を局部的に急速加熱するのに十分なエネルギーとなる。レーザービームの集光点（焦点）Ｇの温度は９９００～１００００Ｋの高温に達する。集光されているために入熱範囲が大変狭く、シリコンウェーハ４２を載置したステージの移動、あるいはレーザービームの走査によって集光点（焦点）が移動すると、移動前の集光点（焦点）における入熱量は急激に減少し、急速冷却効果が得られる。

[0179] 表１に示した超短パルスレーザーのように、波長を１０００ｎｍとすることによって、シリコンウェーハ４２に対する透過性が高められ、レーザービームの集光点（焦点）である微小領域だけを改質できる。結晶構造の改質部分がシリコンウェーハ４２のゲッタリングシンク４４として好適に利用できる。レーザービームの波長が１２００ｎｍを超えると、長波長領域であるために光子エネルギー（レーザービームエネルギー）が低くなる。

このため、レーザービームを集光させてもシリコンウェーハ内部の改質に

十分な光子エネルギーを得ることができない虞があり、レーザービームの波長は１２００ｎｍ以下とすることが好ましい。

[0180] レーザービームの集光点（焦点）Ｇ４の位置、すなわちシリコンウェーハ４２にゲッタリングシンク４４を形成する位置は、ステージを上下動させることによって制御できる。ステージを上下動させること以外にも、集光手段（集光用レンズの）位置を制御することでもレーザービームの集光点（焦点）Ｇ４の位置を制御できる。

[0181] 一例として、シリコンウェーハ４２の表面から２μｍの位置を改質してゲッタリングシンク４４を形成する場合には、レーザービームの波長を１０８０ｎｍに設定し、透過率が６０％の集光用レンズ（倍率５０倍）を用いて表面から２μｍの位置にレーザービームを結像（集光）させ、多光子吸収過程を生じさせることにより改質部分（ゲッタリングシンク）を形成できる。

[0182] このように、シリコンウェーハ４２の微小領域の結晶構造を改質して得られるゲッタリングシンク４４は、例えば、直径Ｒ４が５０～１５０μｍ、厚みＴ４が１０～１５０μｍの大きさの円盤状に形成されればよい。ゲッタリングシンク４４の形成深さＤ４は、シリコンウェーハ４２の一面４２ａから０．５～２μｍ程度が好ましい。

[0183] それぞれのゲッタリングシンク４４は、後工程で形成する半導体素子、例えば固体撮像素子の形成領域Ｓ４と重なる位置に少なくとも形成されていればよい。ゲッタリングシンク４４は、例えば、形成ピッチＰ４が０．１～１０μｍの間隔で形成されればよい。ゲッタリングシンク４４は、上述したように間欠的に形成されている以外にも、例えば、シリコンウェーハ４２に対して所定の深さで、シリコンウェーハ４２の全面に渡って均一に形成されていてもよい。

[0184] シリコンウェーハにおけるゲッタリングシンクの形成の様子は、先に説明した図６と同じである。ゲッタリングシンク４４（図６中の１４）は、シリコンウェーハ４２における半導体素子、例えば固体撮像素子の形成領域の下部にそれぞれ形成されればよい。例えば、レーザービームＱ１がシリコンウ

ェーハ４２（図６中の１１）の全域に渡って走査されるように、シリコンウェーハ４２を周縁部でＹ方向にずらしつつＸ方向に沿って走査させ、レーザービームＱ１を所定の条件で照射していけば、シリコンウェーハ４２の全体にゲッタリングシンク４４，４４・・を形成できる。

[0185] シリコンウェーハ４２全体におけるゲッタリングシンク４４の形成密度は、レーザービームＱ１の走査ピッチＢ１によって設定できる。ゲッタリングシンク４４の形成密度は、例えば、１．０×１０^{5}～１．０×１０^{7}個／ｃｍ^{2}の範囲が好適である。ゲッタリングシンク４４の形成密度は、断面ＴＥＭ（透過型電子顕微鏡）による観察で得られた酸素析出物の個数によって検証できる。

[0186] 以上、詳細に説明した多光子吸収工程によって、シリコンウェーハ４２にレーザービームを照射すると、シリコンウェーハ４２の一面４２ａは、レーザービームによって表層のシリコン原子の一部が蒸発し、表面に微細な傷（アブレーション）４２ｂが生じる（図２０（ａ）右図参照）。多光子吸収工程におけるレーザービームの照射によって、シリコンウェーハ４２の一面４２ａの表面粗さは、例えば、１．０～２．５ｎｍとなる。

[0187] 次に、多光子吸収工程によってゲッタリングシンク４４，４４・・を形成した後で、シリコンウェーハ４２を鏡面研磨する（ポリッシング工程：図２０（ｂ）参照）。ポリッシング工程では、例えば、ポリッシングパッド４７５を貼付した定盤４７６を有するポリッシング加工機を用いて、１工程、ないし複数の工程に分けて、シリコンウェーハ４２の表面を鏡面研磨する。ポリッシング工程は、ウェーハの仕様に応じて片面、ないし両面を鏡面研磨すればよい。

[0188] シリコンウェーハ４２を鏡面研磨するポリッシング工程によって、前工程である多光子吸収工程においてレーザービームの照射により生じたシリコンウェーハ４２の一面４２ａの微細な傷（アブレーション）は完全に除去される（図２０（ｂ）右図参照）。例えば、表面粗さが０．１～０．２５ｎｍのような、アブレーションのないシリコンウェーハ４２を得ることができる（

図２０（ｃ）参照）。

[0189] 以上のように、本発明のシリコンウェーハの製造方法では、多光子吸収工程でレーザー光を照射してゲッタリングシンク４４，４４・・を形成した後で、シリコンウェーハ４２を鏡面研磨（ポリッシング工程）することにより、レーザー光の照射により生じたシリコンウェーハ４２の表面の微細な傷（アブレーション）を完全に除去できる。これにより、表面にレーザー照射による微細な傷が無く、かつ、内部に多光子吸収工程によって形成したゲッタリングシンクを備えたシリコンウェーハを得ることができる。

[0190] 次に、本発明のエピタキシャルウェーハの製造方法では、上述したような工程を経て得られたシリコンウェーハ４２の一面４２ａにエピタキシャル層４３を形成する（図２０（ｄ）参照）。エピタキシャル層４３の形成にあたっては、例えば、エピタキシャル成長装置を用いて、シリコンウェーハ４２を所定温度まで加熱しつつ原料ガスを導入し、一面４２ａにシリコン単結晶からなるエピタキシャル層４３を成長させれば良い。

[0191] この後、エピタキシャル層４３とゲッタリングシンク４４が形成されたエピタキシャルウェーハ４１は、例えば、アニール装置によって所定の温度まで加熱すればよい（アニール工程）。これにより、シリコンウェーハ４２内に拡散している重金属がゲッタリングシンク４４に集められ、素子形成部分に重金属が極めて少ないエピタキシャルウェーハ４１が得られる。

[0192] このようなエピタキシャルウェーハ４１を用いて、半導体素子、例えば埋込み型フォトダイオードを形成すれば（素子形成工程）、暗時リーク電流を抑制した優れた特性をもつ固体撮像素子を得ることができる。

実施例

[0193] 本発明の実施例として、基板直径が３００ｍｍ、厚さが０．７２５ｍｍのシリコンウェーハに対して、表２に示す条件のレーザービームを照射し、シリコンウェーハの表面から深さ２μｍの位置に、密度１０^{-6}／$ｃｍ^{2}$の改質部分（ゲッタリングシンク）を形成したシリコンウェーハを作製した。

[0194]

[表2]

	照射条件
ビーム波長	1080nm
ビーム径	1.0μm
繰返し周波数	1MHz
パルス幅	1.0×10^{-9}秒
出力	100mJ/パルス

[0195] 上述した実施例における改質部分のゲッタリング効果を確認するため、従来の比較例１として、レーザービームを照射しないこと以外は、上述した実施例と同一のシリコンウェーハを用意した。

長時間熱処理による酸素析出部を形成したシリコンウェーハのゲッタリング効果と比較するため、従来の比較例２として、１０時間、および２０時間の熱処理を施すこと以外は上述した比較例１と同一のシリコンウェーハを用意した。

[0196] 実施例１、比較例１および比較例２の各サンプルについて、ゲッタリング効果を次に示す方法で評価した。

まず、各サンプルを、アンモニア水と過酸化水素水の混合溶液および塩酸と過酸化水素水の混合溶液で洗浄した後、スピンコート汚染法により、重金属であるニッケルで１．０×１０^{12}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{2}程度表面汚染させた。次に、縦型熱処理炉で１０００℃、１時間、窒素雰囲気中で拡散熱処理を施し、その後、Ｗｒｉｇｈｔ液（４８％ ＨＦ：３０ｍｌ、６９％ HNO_3：３０ｍｌ、CrO_3 １ｇ＋H_2O ２ｍｌ、酢酸：６０ｍｌ）により各サンプルの表面をエッチングした。表面のエッチピット（ニッケルシリサイドがエッチングされて形成されるピット）の個数を光学顕微鏡により観察してエッチピット密度（個／ｃｍ^{2}）を測定することにより、各サンプルのゲッタリング能力を評価した。

[0197] この方法におけるエッチピット密度の測定限界は１．０×１０^{3}個／ｃｍ^{2}である。ゲッタリング能力の評価は、エッチピット密度が１．０×１０^{3}個／

ｃｍ^{2}以下（測定限界以下）を良好、１．０×１０^{3}個／ｃｍ^{2}を超え１．０×１０^{5}個／ｃｍ^{2}未満を可、１．０×１０^{5}個／ｃｍ^{2}以上を不可とした。

[0198] 比較例２に関して、ゲッタリングシンクとなる酸素析出部の形成に必要な時間を次のように評価した。各サンプルを（１１０）方向でへき開してＷｒｉｇｈｔ液でエッチングした後、へき開面（サンプル断面）を光学顕微鏡することにより酸素析出物の密度（個／ｃｍ^2）を観察することで評価した。ゲッタリング能力の評価は、上述した実施例１と同様に、ニッケル元素での表面汚染によるゲッタリング能力評価を実施した。

[0199] 検証の結果、比較例１ではエッチピット密度が１．０×１０^{5}個／ｃｍ^{2}となり、ゲッタリング効果が認められなかった。

比較例２では、１０時間の熱処理を施したサンプルでは、酸素析出物の密度が１．０×１０^{4}個／ｃｍ^{2}で、エッチピット密度も１．０×１０^{5}個／ｃｍ^{2}と殆どゲッタリング効果が認められなかった。２０時間の熱処理を施したサンプルでも、酸素析出物の密度が１．０×１０^{5}個／ｃｍ^{2}で、エッチピット密度は１．０×１０^{4}個／ｃｍ^{2}となり多少のゲッタリング効果が認められるにとどまった。

[0200] これに対し、本発明の実施例では、エッチピット密度が１．０×１０^{3}個／ｃｍ^{2}以下と十分なゲッタリング効果が認められた。

産業上の利用可能性

[0201] 本発明によれば、レーザービームを短時間照射して半導体基板の所定深さ位置だけに多光子吸収過程を生じさせて結晶構造を改質することにより、優れたゲッタリングシンク能力のあるゲッタリングシンクを任意の位置に容易に形成できる。

符号の説明

[0202] １１　固体撮像素子用エピタキシャル基板、１２　半導体基板、１３　エピタキシャル層、１４　ゲッタリングシンク、２１　半導体デバイス、２２　半導体基板、２３　第一の絶縁膜（絶縁膜）、２４　ゲッタリングシンク、３１　固体撮像素子用エピタキシャル基板、３２　半導体基板、３３　エ

ピタキシャル層、３４　ゲッタリングシンク、３６０　裏面照射型固体撮像素子、４１　エピタキシャルウェーハ、４２　シリコンウェーハ、４３　エピタキシャル層、４４　ゲッタリングシンク。

請求の範囲

[請求項1] 半導体基板の一面にエピタキシャル層を成長させ、エピタキシャル基板を形成する工程と、

前記エピタキシャル基板に向けて集光手段を介してレーザービームを入射し、前記半導体基板の任意の微小領域に前記レーザービームを集光させることにより、前記微小領域に多光子吸収過程を生じさせ、前記微小領域の結晶構造を変化させたゲッタリングシンクを形成する工程と、

前記エピタキシャル基板を所定の温度でアニールし、前記ゲッタリングシンクに重金属を捕獲させる工程と、

を備えた固体撮像素子用エピタキシャル基板の製造方法。

[請求項2] 前記レーザービームは、前記エピタキシャル基板を透過可能な波長域であり、前記集光手段は、前記半導体基板の厚み方向における任意の位置に、前記レーザービームを集光させる請求項１記載の固体撮像素子用エピタキシャル基板の製造方法。

[請求項3] 前記レーザービームは、パルス幅１．０×１０$^{-15}$～１．０×１０$^{-8}$秒、波長３００～１２００ｎｍの範囲の超短パルスレーザービームである請求項１記載の固体撮像素子用エピタキシャル基板の製造方法。

[請求項4] 前記半導体基板は単結晶シリコンからなり、前記ゲッタリングシンクはアモルファス構造のシリコンを含む請求項１記載の固体撮像素子用エピタキシャル基板の製造方法。

[請求項5] 前記ゲッタリングシンクは、前記固体撮像素子の形成領域に重なる位置に形成される請求項１記載の固体撮像素子用エピタキシャル基板の製造方法。

[請求項6] 請求項１記載の固体撮像素子用エピタキシャル基板の製造方法により製造された固体撮像素子用エピタキシャル基板であって、

前記ゲッタリングシンクは、少なくとも前記固体撮像素子を構成す

る埋込み型フォトダイオードの形成位置と重なる領域に、直径５０～１５０μｍ、厚み１０～１５０μｍの範囲のサイズで設けられている固体撮像素子用エピタキシャル基板。

[請求項7] 前記ゲッタリングシンクは、密度１．０×１０^{5}～１．０×１０^{7}個／ｃｍ^{2}の範囲で形成されてなる請求項６記載の固体撮像素子用エピタキシャル基板。

[請求項8] 半導体基板の一面に絶縁膜を形成する工程と、

前記半導体基板の他面から集光手段を介してレーザービームを入射させ、前記半導体基板の任意の微小領域に前記レーザービームを集光させることにより、前記微小領域に多光子吸収過程を生じさせ、前記微小領域の結晶構造を変化させたゲッタリングシンクを形成する工程と、

前記半導体基板を所定の温度でアニールし、前記ゲッタリングシンクに重金属を捕獲させる工程と、

を少なくとも備えた半導体デバイスの製造方法。

[請求項9] 前記レーザービームは、前記半導体基板を透過可能な波長域であり、前記集光手段は、前記半導体基板の厚み方向における任意の位置に、前記レーザービームを集光させる請求項８記載の半導体デバイスの製造方法。

[請求項10] 前記レーザービームは、パルス幅１．０×１０$^{-15}$～１．０×１０$^{-8}$秒、波長３００～１２００ｎｍの範囲の超短パルスレーザービームである請求項８記載の半導体デバイスの製造方法。

[請求項11] 前記半導体基板は単結晶シリコンからなり、前記ゲッタリングシンクは少なくともその一部にアモルファス構造のシリコンを含む請求項８記載の半導体デバイスの製造方法。

[請求項12] 前記ゲッタリングシンクは、デバイスの形成領域と重なる位置に少なくとも形成されている請求項８記載の半導体デバイスの製造方法。

[請求項13] 請求項８記載の半導体デバイスの製造方法により製造され、ゲッタ

リングシンクが密度１．０×１０^{5}～１．０×１０^{6}個／ｃｍ^{2}の範囲で形成されてなる半導体デバイス。

[請求項14] 半導体基板の一面にエピタキシャル層を成長させ、エピタキシャル基板を形成する工程と、

前記エピタキシャル基板に向けて集光手段を介してレーザービームを入射し、前記半導体基板の任意の微小領域に前記レーザービームを集光させることにより、前記微小領域に多光子吸収過程を生じさせ、前記微小領域の結晶構造を変化させたゲッタリングシンクを形成する工程と、

前記エピタキシャル基板に複数のフォトダイオードを形成する工程と、

前記エピタキシャル基板を所定の温度でアニールし、前記ゲッタリングシンクに重金属を捕獲させる工程と、

前記半導体基板の厚みを減じて、前記ゲッタリングシンクを含む領域を除去する工程と、

を少なくとも備えた裏面照射型固体撮像素子の製造方法。

[請求項15] 前記レーザービームは、前記エピタキシャル基板を透過可能な波長域であり、前記集光手段は、前記半導体基板の厚み方向における任意の位置に、前記レーザービームを集光させる請求項１４記載の裏面照射型固体撮像素子の製造方法。

[請求項16] 前記レーザービームは、パルス幅１．０×１０$^{-15}$～１．０×１０$^{-8}$秒、波長３００～１２００ｎｍの範囲の超短パルスレーザービームである請求項１４記載の裏面照射型固体撮像素子の製造方法。

[請求項17] 前記半導体基板は単結晶シリコンからなり、前記ゲッタリングシンクはアモルファス構造のシリコンを含む請求項１４記載の裏面照射型固体撮像素子の製造方法。

[請求項18] 前記ゲッタリングシンクは、前記フォトダイオードの形成領域と重なる位置に少なくとも形成される請求項１４記載の裏面照射型固体撮

像素子の製造方法。

[請求項19] 前記ゲッタリングシンクと前記エピタキシャル層との間には、更にＳＯＩ構造の埋込酸化膜が形成される請求項１４記載の裏面照射型固体撮像素子の製造方法。

[請求項20] 半導体基板と、前記半導体基板の一面に形成されたエピタキシャル層と、前記半導体基板に向けて集光手段を介してレーザービームを入射し、前記半導体基板の任意の微小領域に前記レーザービームを集光させることにより、前記微小領域に多光子吸収過程を生じさせ、前記微小領域の結晶構造を変化させて形成したゲッタリングシンクと、前記ゲッタリングシンクと前記エピタキシャル層との間に形成されたＳＯＩ構造の埋込酸化膜と、を備えた固体撮像素子用エピタキシャル基板。

[請求項21] 前記ゲッタリングシンクは、少なくとも前記フォトダイオードの形成位置と重なる領域に、直径５０～１５０μｍ、厚み１０～１５０μｍの範囲のサイズで設けられている請求項２０記載の固体撮像素子用エピタキシャル基板。

[請求項22] 前記ゲッタリングシンクは、密度１．０×１０^{5}～１．０×１０^{7}個／ｃｍ^{2}の範囲で形成されてなる請求項２０記載の固体撮像素子用エピタキシャル基板。

[請求項23] シリコン単結晶インゴットをスライスしてシリコンウェーハを得るスライス工程と、

前記シリコンウェーハに向けて集光手段を介してレーザービームを入射し、任意の微小領域に前記レーザービームを集光させることにより、前記微小領域に多光子吸収過程を生じさせ、前記微小領域の結晶構造を変化させたゲッタリングシンクを形成する多光子吸収工程と、

前記多光子吸収工程を経たシリコンウェーハを鏡面研磨するポリッシング工程と、

を少なくとも備えたシリコンウェーハの製造方法。

[請求項24] 前記スライス工程と前記多光子吸収工程との間には、シリコンウェーハを研磨するラッピング工程を更に備えた請求項２３記載のシリコンウェーハの製造方法。

[請求項25] 前記スライス工程と前記多光子吸収工程との間には、シリコンウェーハをエッチングするエッチング工程を更に備えた請求項２３記載のシリコンウェーハの製造方法。

[請求項26] 前記レーザービームは、前記エピタキシャルウェーハを透過可能な波長域であり、前記集光手段は、前記シリコンウェーハの厚み方向における任意の位置に、前記レーザービームを集光させる請求項２３記載のシリコンウェーハの製造方法。

[請求項27] 前記レーザービームは、パルス幅１．０×１０$^{-15}$～１．０×１０$^{-8}$秒、波長３００～１２００ｎｍの範囲の超短パルスレーザービームである請求項２３記載のシリコンウェーハの製造方法。

[請求項28] 前記ゲッタリングシンクはアモルファス構造のシリコンを含む請求項２３記載のシリコンウェーハの製造方法。

[請求項29] 請求項２３記載のシリコンウェーハの製造方法によって得たシリコンウェーハの一面にシリコン単結晶のエピタキシャル層を成長させるエピタキシャル工程を少なくとも備えたエピタキシャルウェーハの製造方法。

[請求項30] 請求項２９記載のエピタキシャルウェーハの製造方法によって得たエピタキシャルウェーハの一面に埋込み型フォトダイオードを形成する素子形成工程を少なくとも備えた固体撮像素子の製造方法。

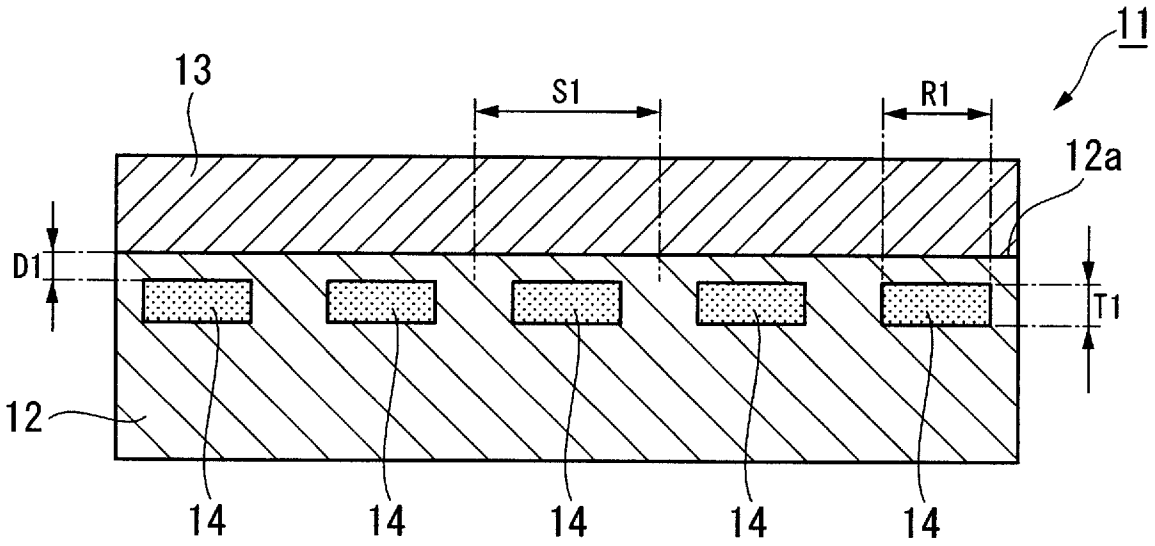
[請求項31] 前記エピタキシャルウェーハを所定の温度でアニールし、前記ゲッタリングシンクに重金属を捕獲させるアニール工程を更に備えた請求項３０記載の固体撮像素子の製造方法。

[請求項32] 前記ゲッタリングシンクは、少なくとも前記埋込み型フォトダイオードの形成位置と重なる領域に、直径５０～１５０μｍ、厚み１０～１５０μｍの範囲のサイズで形成する請求項３０記載の固体撮像素子

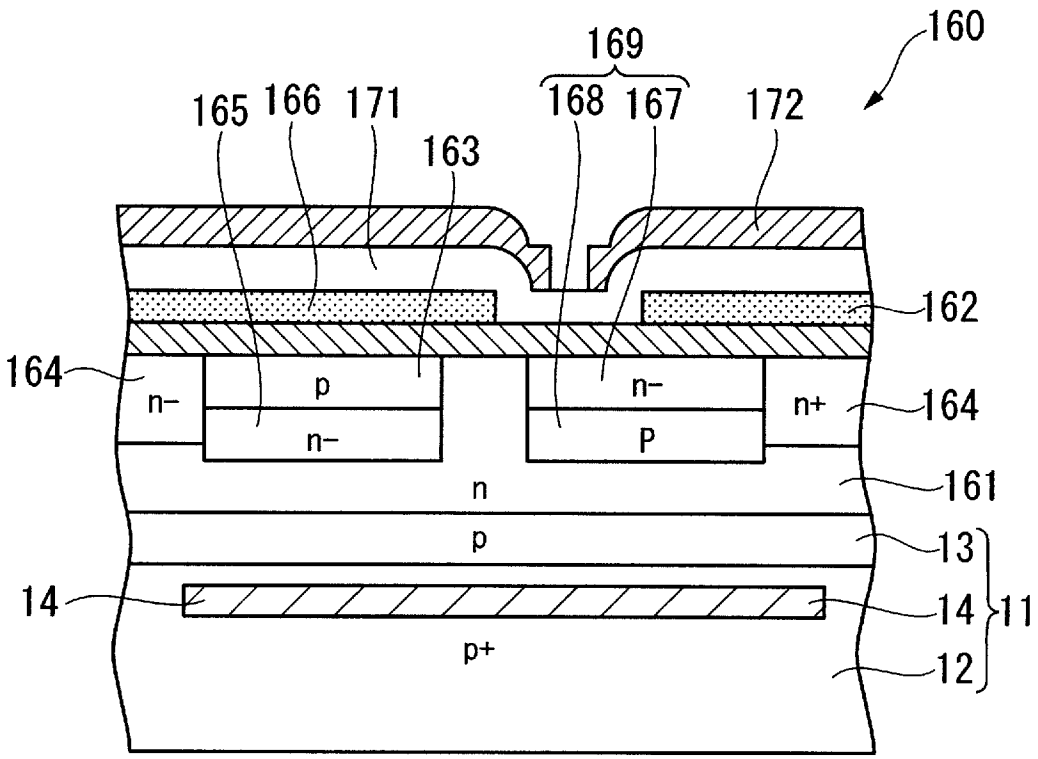
の製造方法。

[請求項33] 前記ゲッタリングシンクは、密度が１．０×１０^{5}～１．０×１０^{7}個／ｃｍ^{2}の範囲となるように形成する請求項３０記載の固体撮像素子の製造方法。

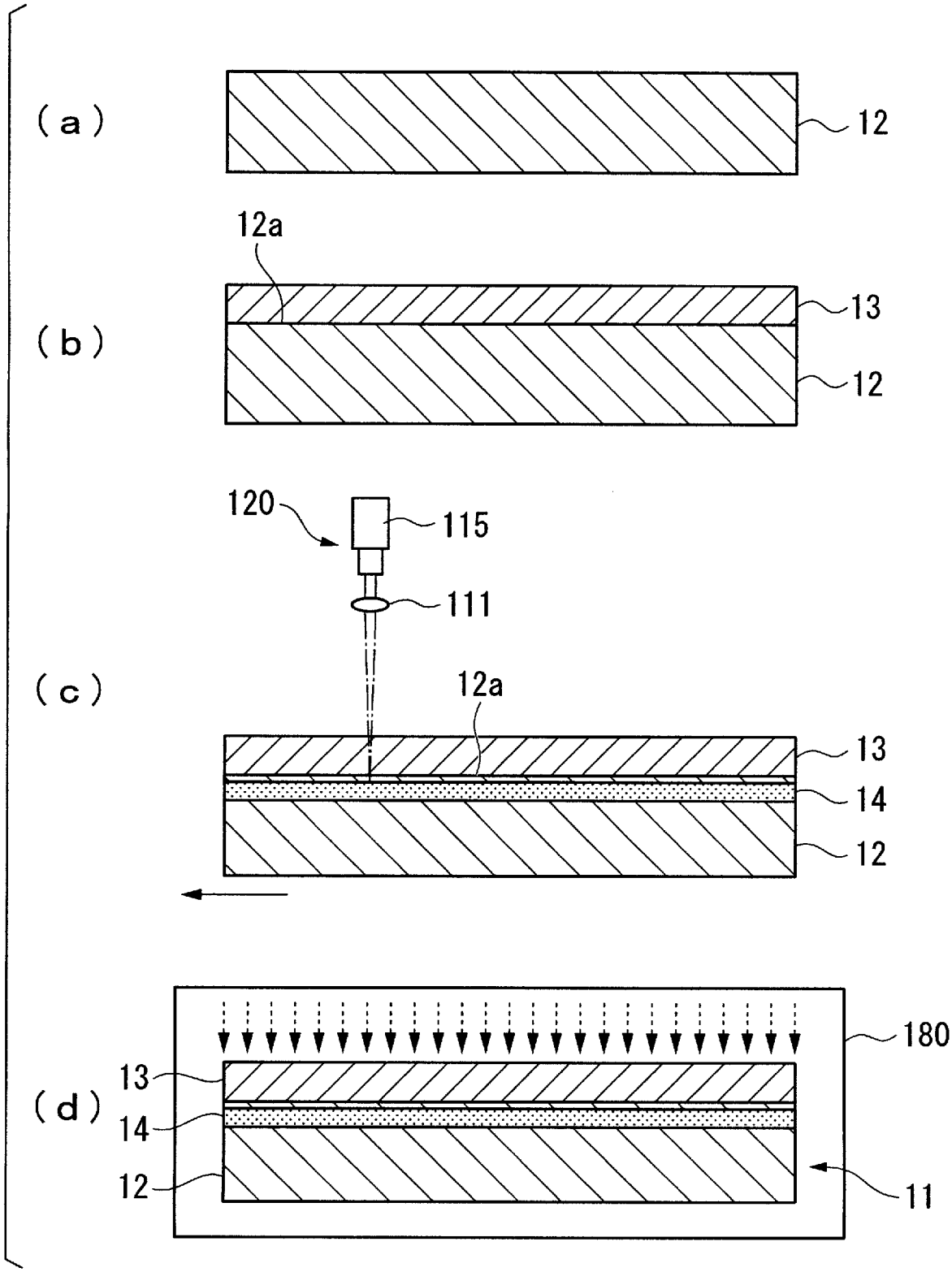
[図1]


11
13
S1
R1
12a
D1
T1
12
14
14
14
14
14

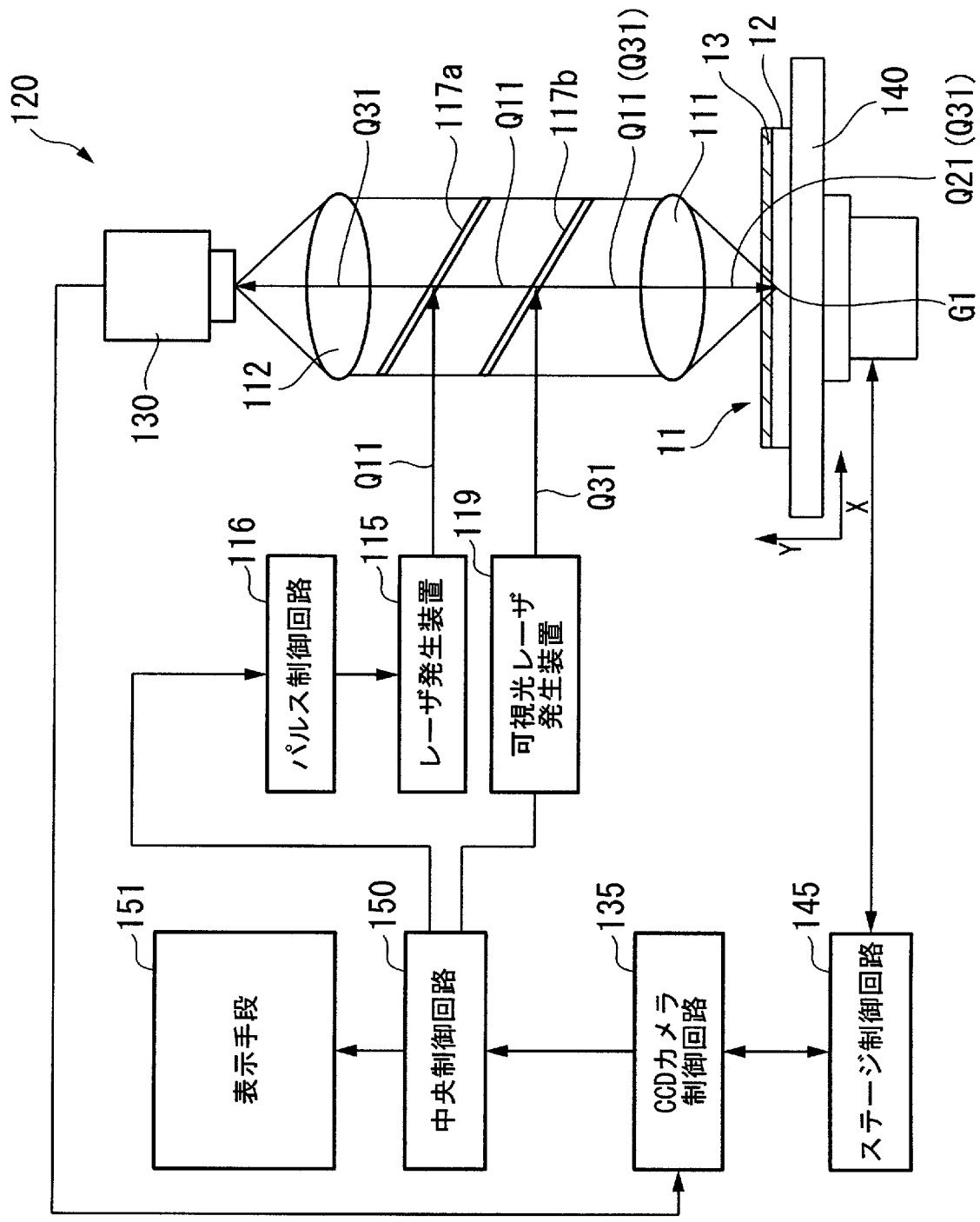
[図2]


160
169
165
166
171
168
167
172
163
162
164
n-
p
n-
n-
P
n+
164
n
161
p
13
14
14
11
p+
12

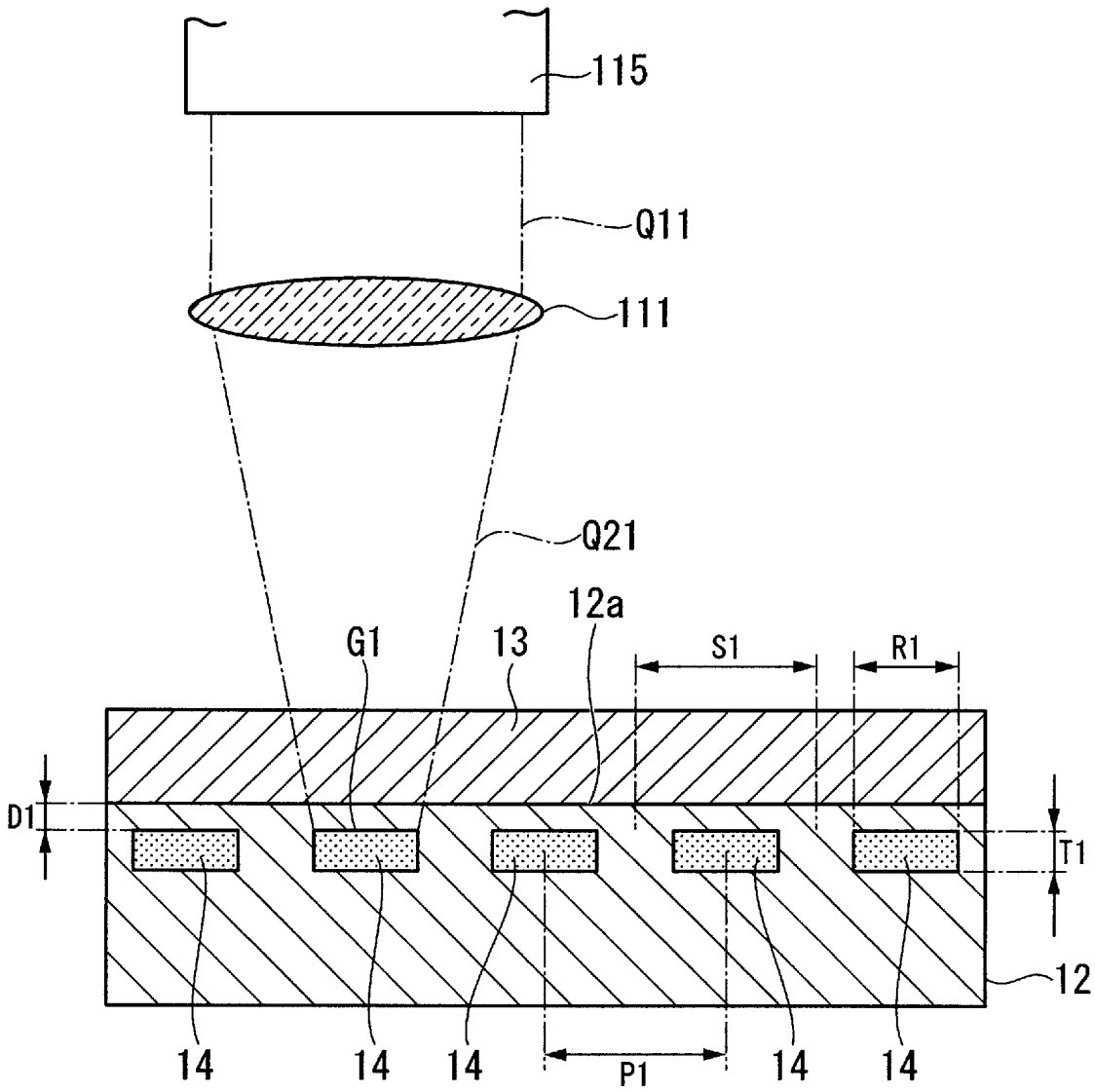
[図3]



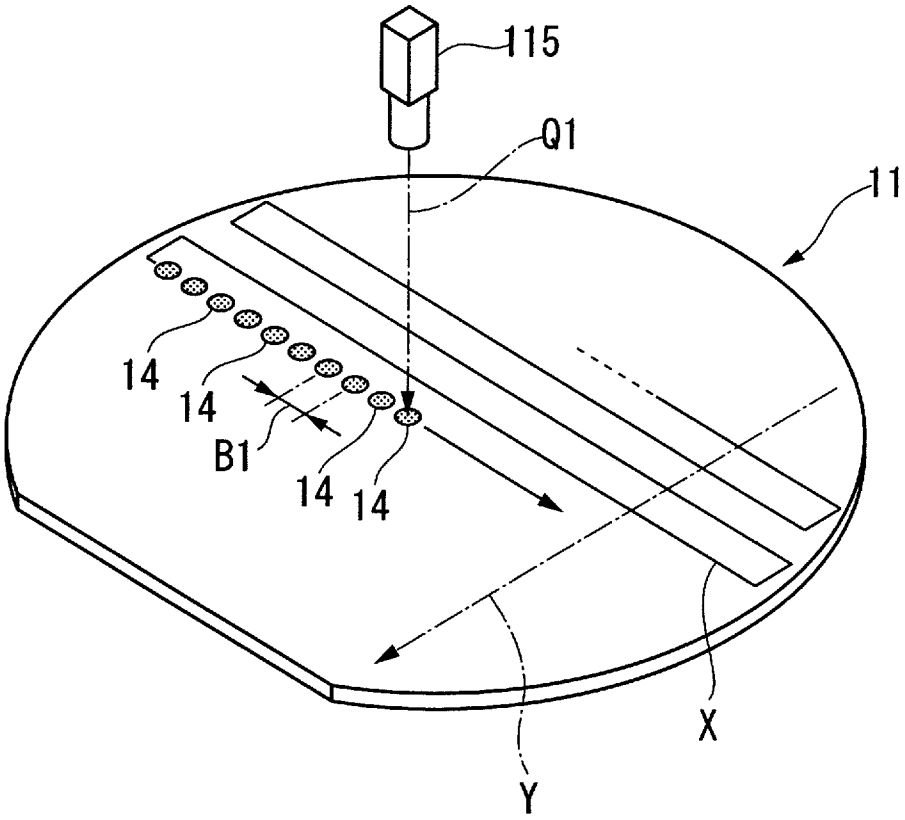
[図4]


120
130
112
Q31
117a
Q11
117b
Q11 (Q31)
111
13
12
140
Q21 (Q31)
G1
11
X
Y
Q11
Q31
116
115
119
パルス制御回路
レーザ発生装置
可視光レーザ発生装置
151
150
135
145
表示手段
中央制御回路
CCDカメラ制御回路
ステージ制御回路

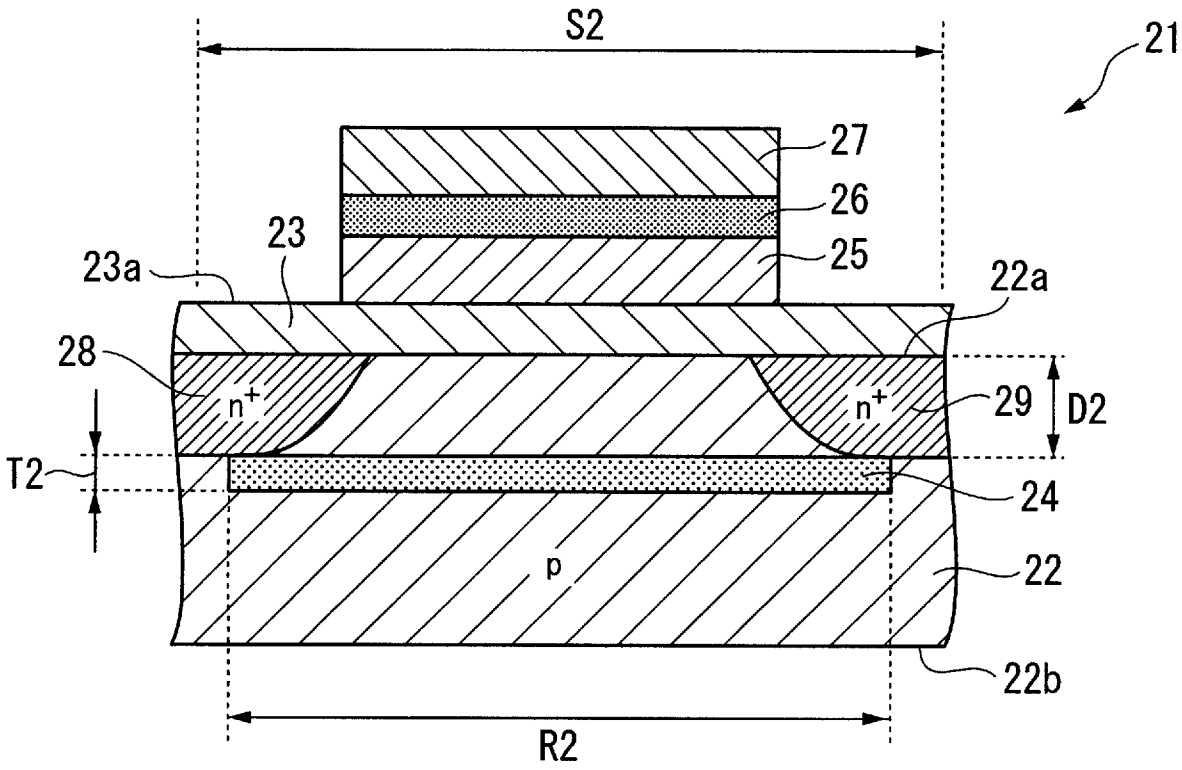
[図5]



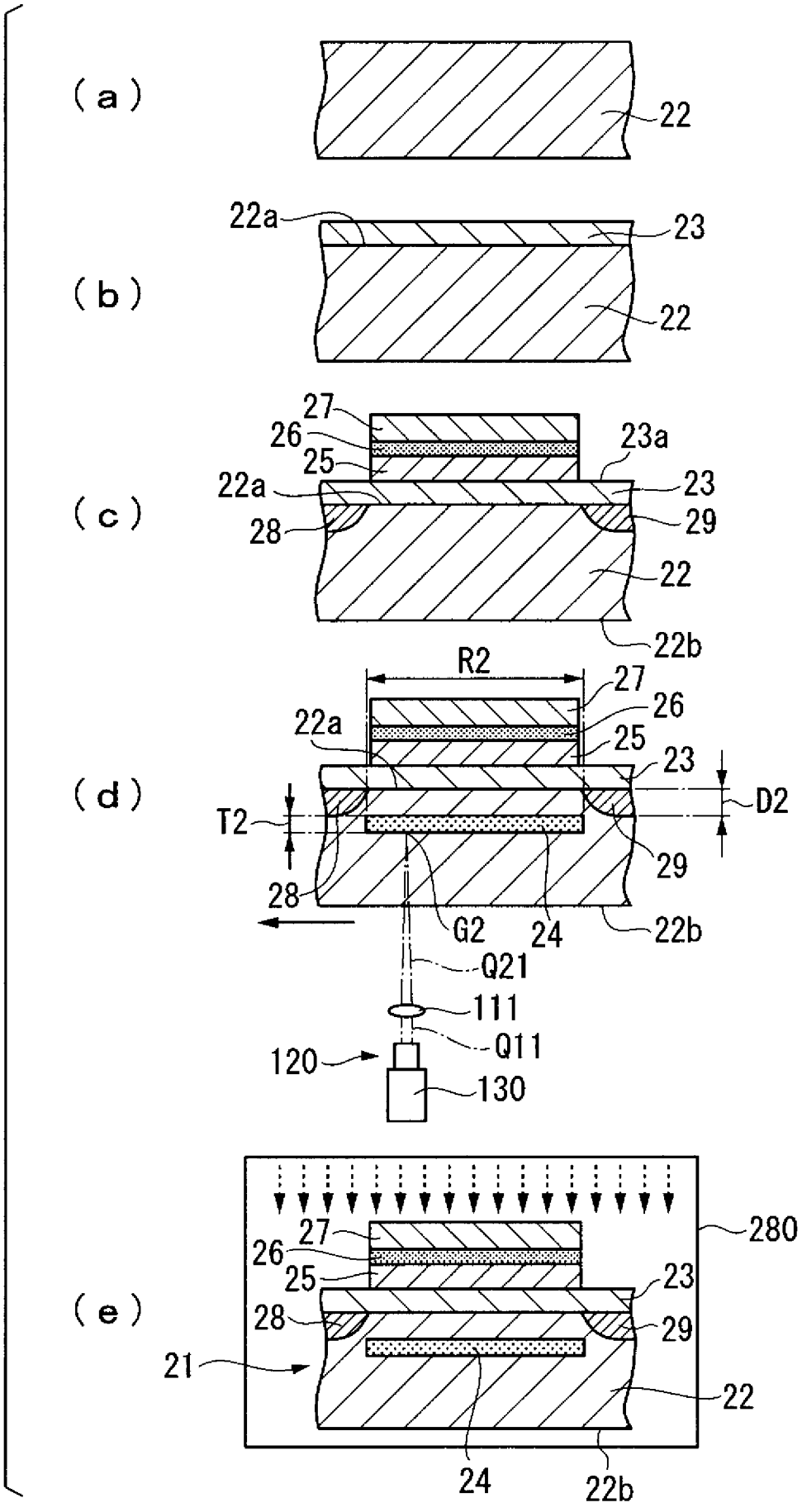
[図6]



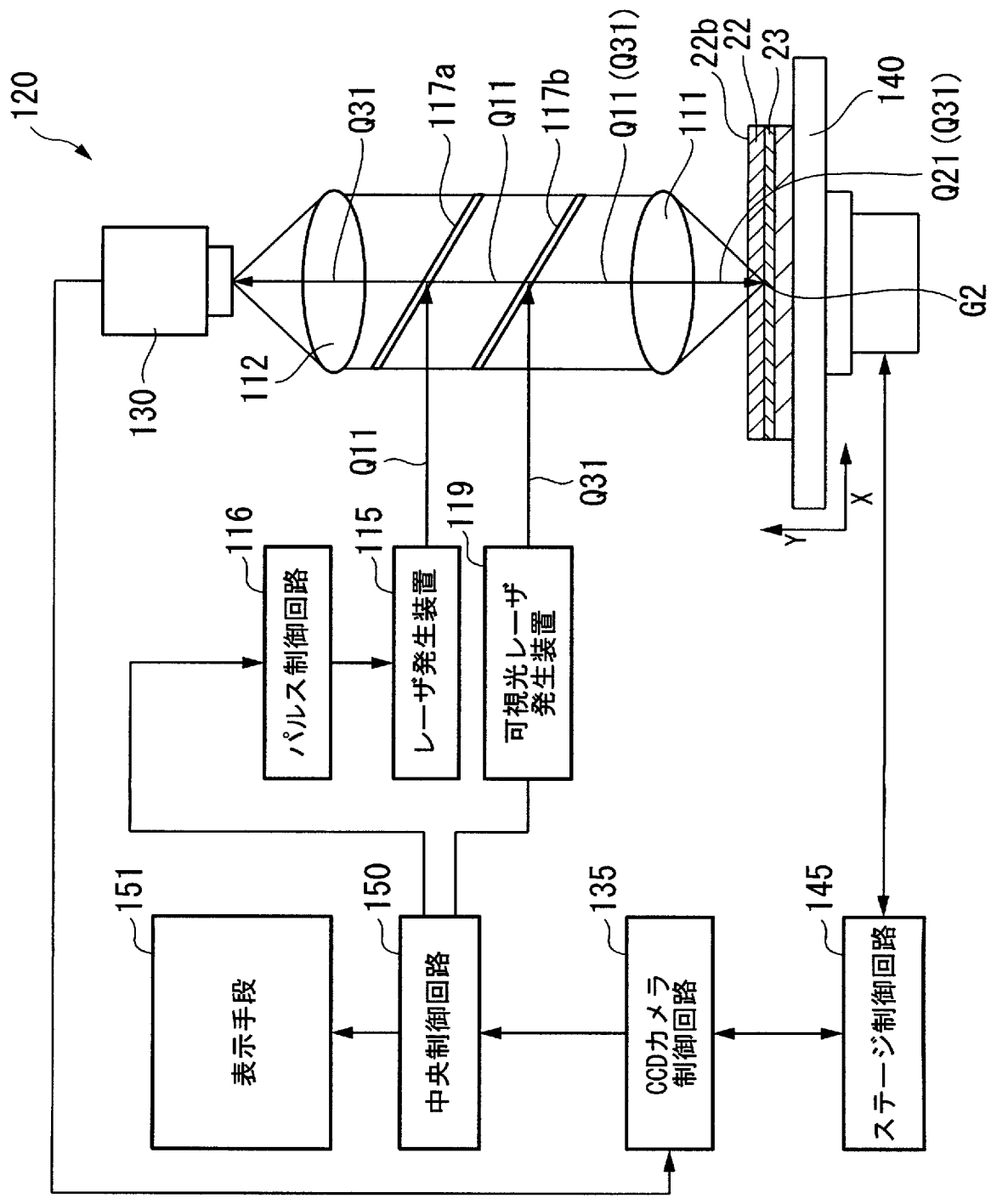
[図7]



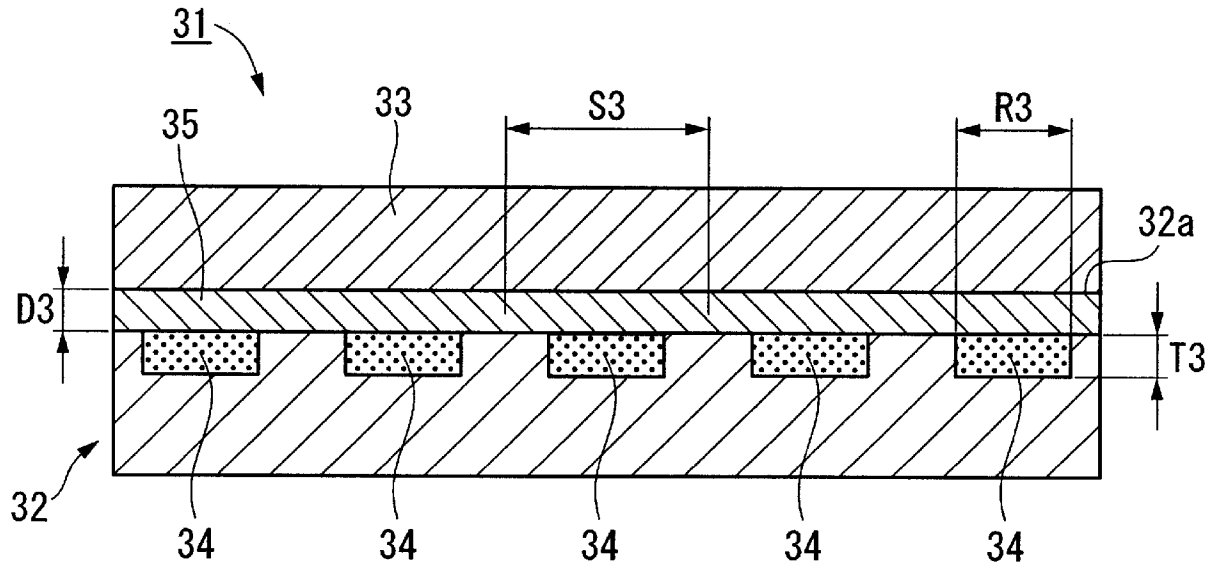
[図8]


(a)
22
(b)
22a
23
22
(c)
27
26
25
23a
22a
23
28
29
22
22b
(d)
R2
27
26
22a
25
23
D2
T2
29
28
G2
24
22b
Q21
111
Q11
120
130
(e)
280
27
26
25
23
28
29
21
22
24
22b

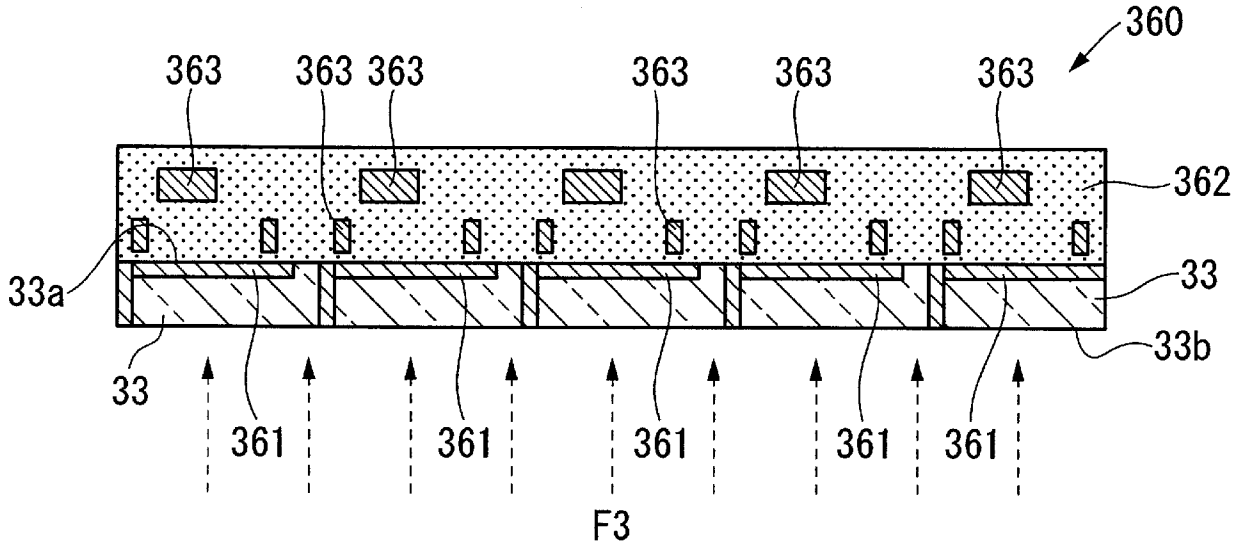
[図9]


120
130
112
Q31
117a
Q11
117b
Q11 (Q31)
111
22b
22
23
140
Q21 (Q31)
G2
Q11
Q31
116
115
119
パルス制御回路
レーザ発生装置
可視光レーザ
発生装置
151
150
135
145
表示手段
中央制御回路
CCDカメラ
制御回路
ステージ制御回路
X
Y

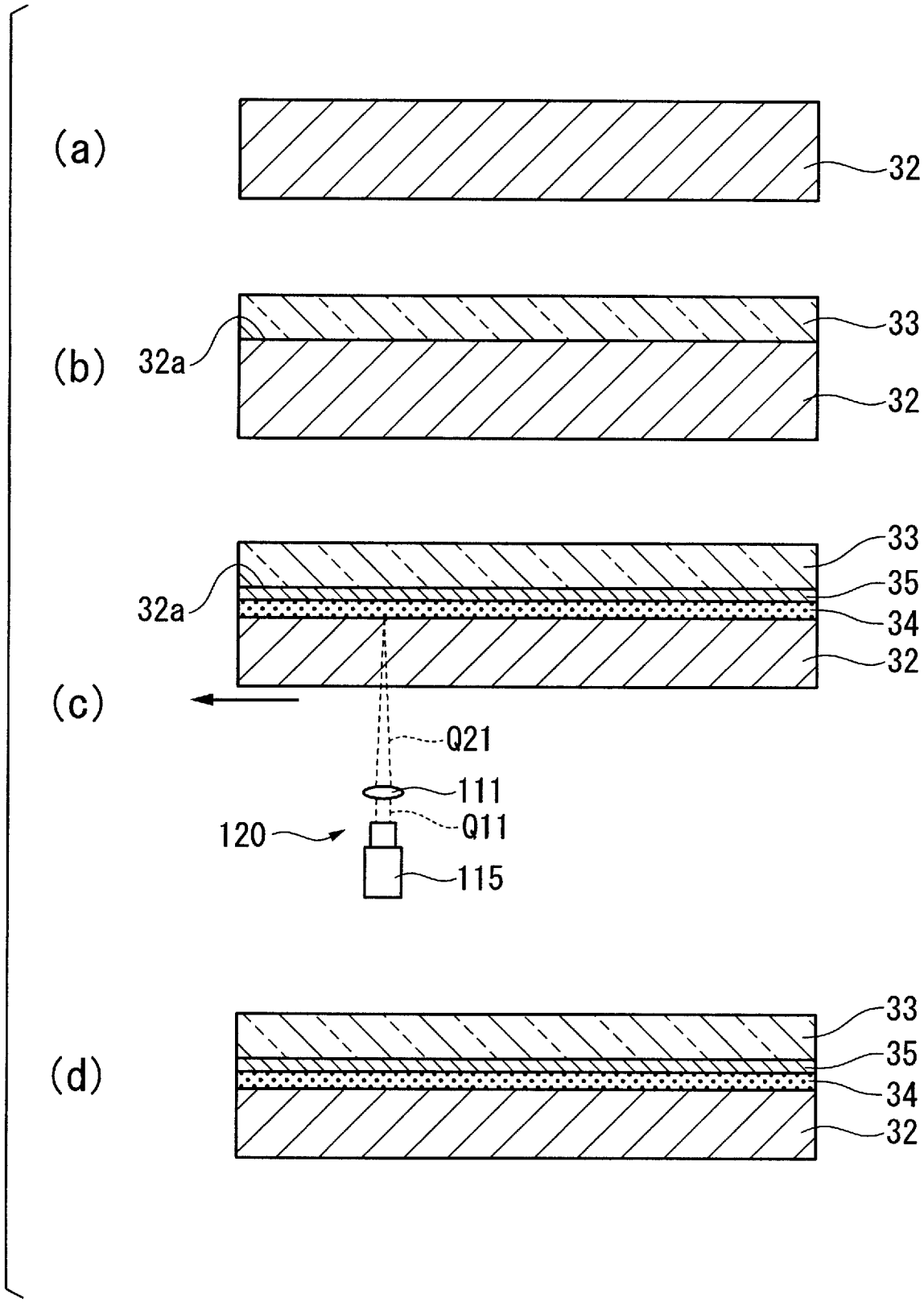
[図10]


31
33
S3
R3
35
32a
D3
T3
32
34
34
34
34
34

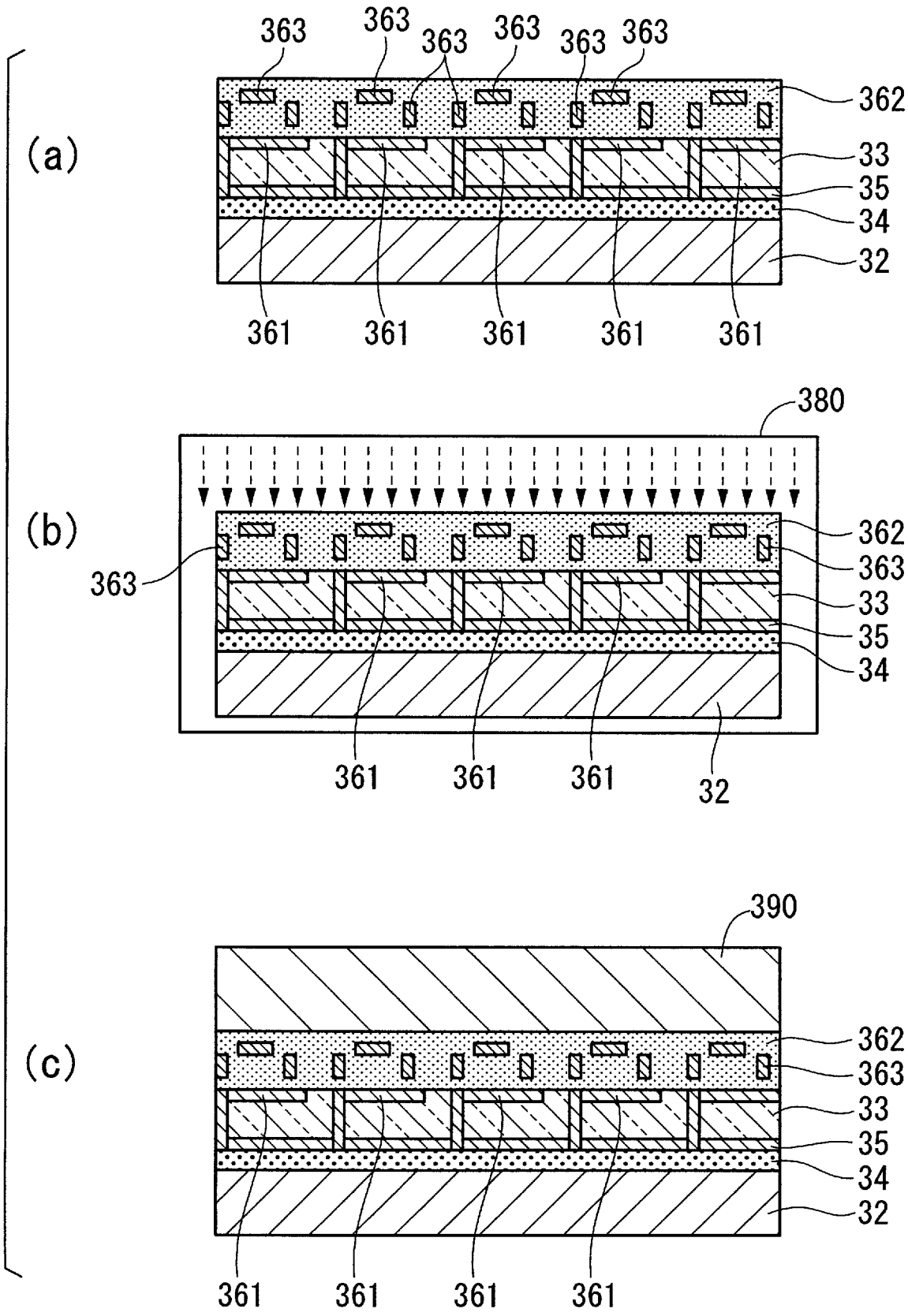
[図11]


360
363
363
363
363
363
363
362
33a
33
33b
33
361
361
361
361
361
F3

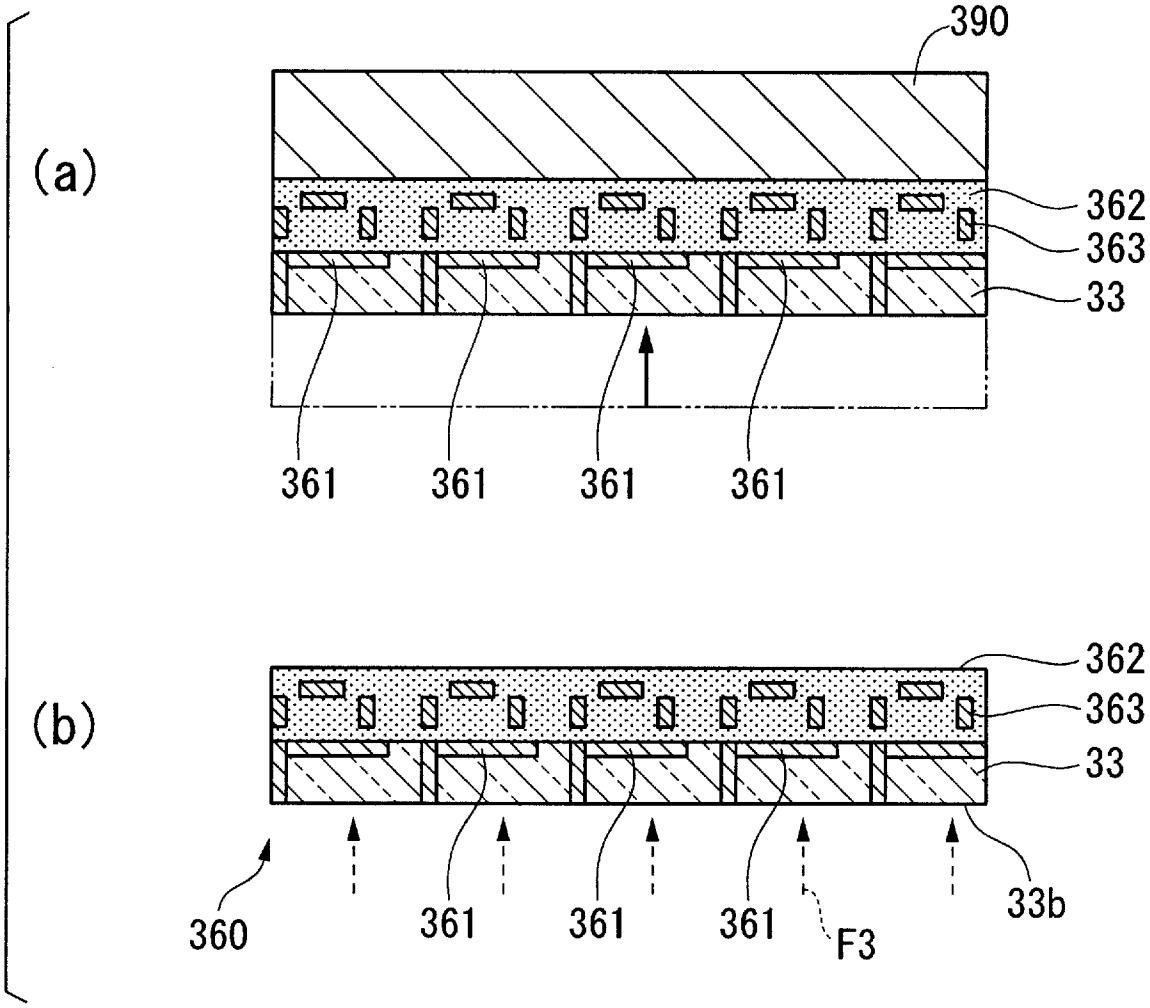
[図12]



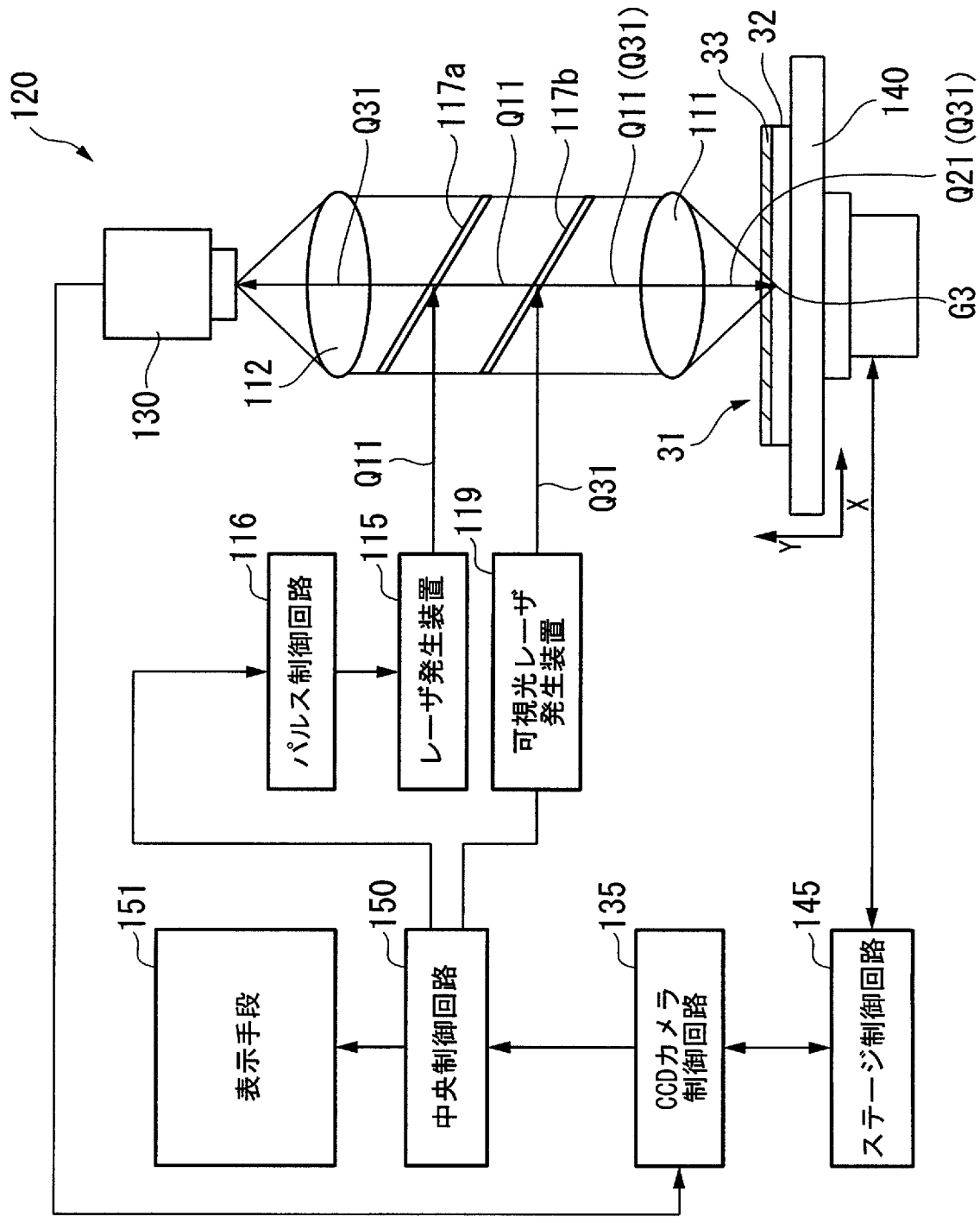
[図13]


(a)
363
363
363
363
363
363
362
33
35
34
32
361
361
361
361
361
(b)
380
362
363
33
35
34
363
361
361
361
32
(c)
390
362
363
33
35
34
32
361
361
361
361

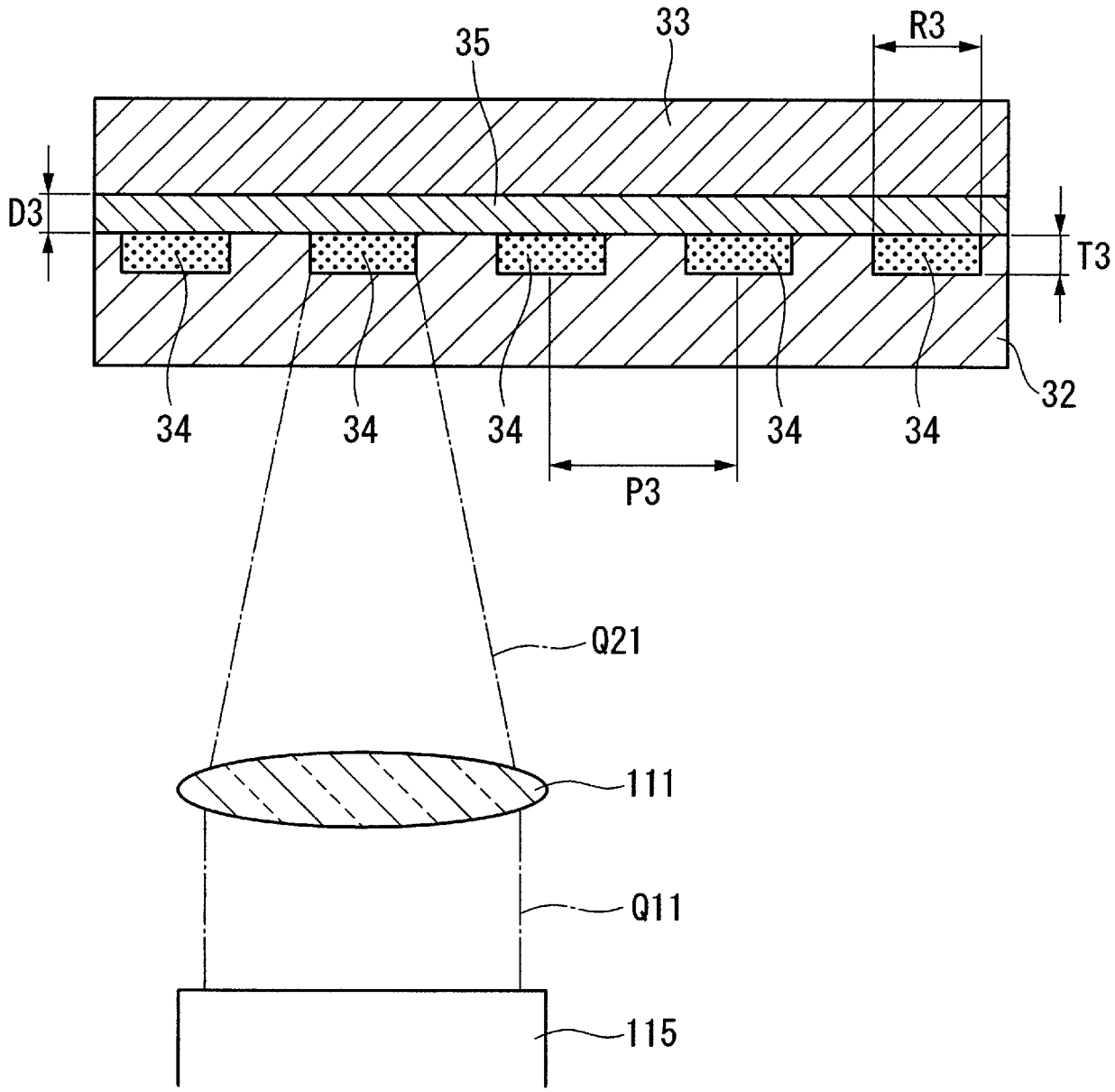
[図14]


(a)
390
362
363
33
361
361
361
361
(b)
362
363
33
360
361
361
361
F3
33b

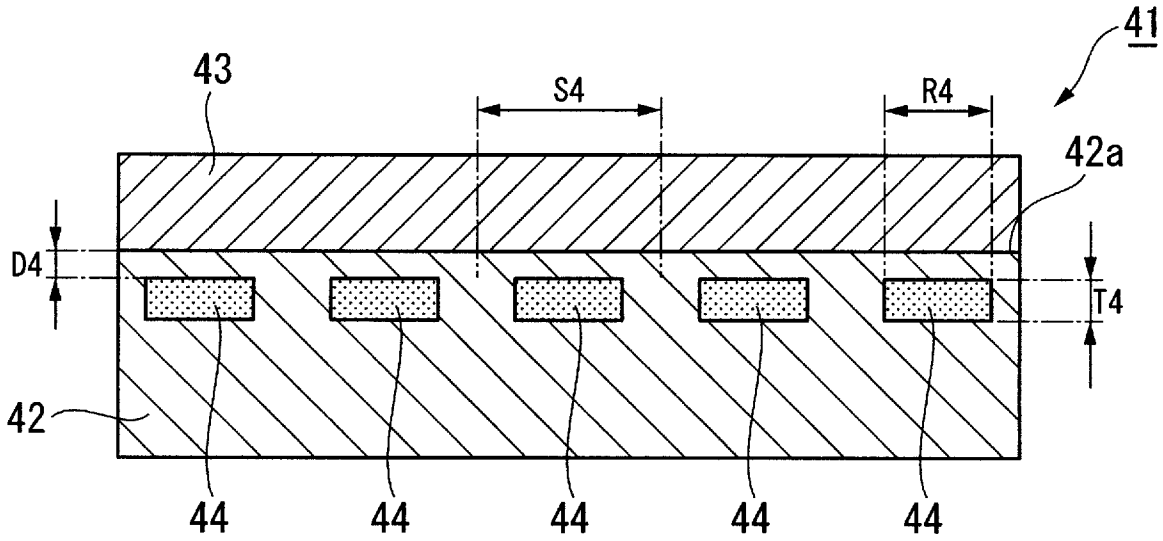
[図15]


120
Q31
117a
Q11
117b
Q11 (Q31)
111
33
32
140
Q21 (Q31)
G3
130
112
31
Q11
Q31
116
115
119
パルス制御回路
レーザ発生装置
可視光レーザ発生装置
Y
X
151
150
135
145
表示手段
中央制御回路
CCDカメラ制御回路
ステージ制御回路

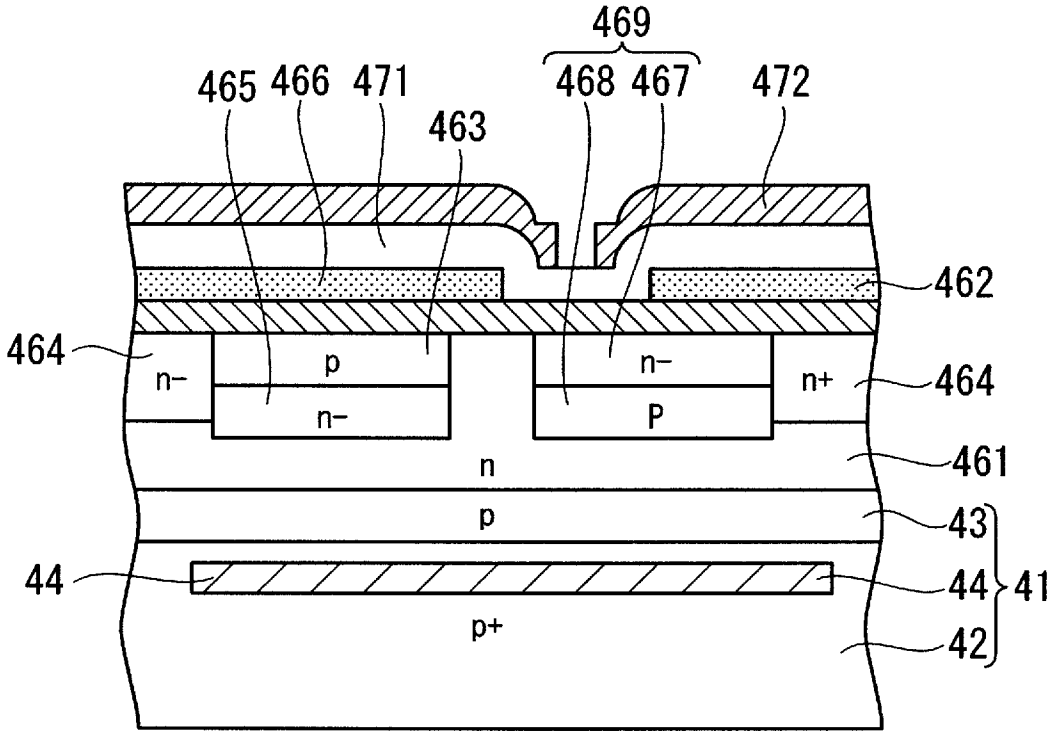
[図16]



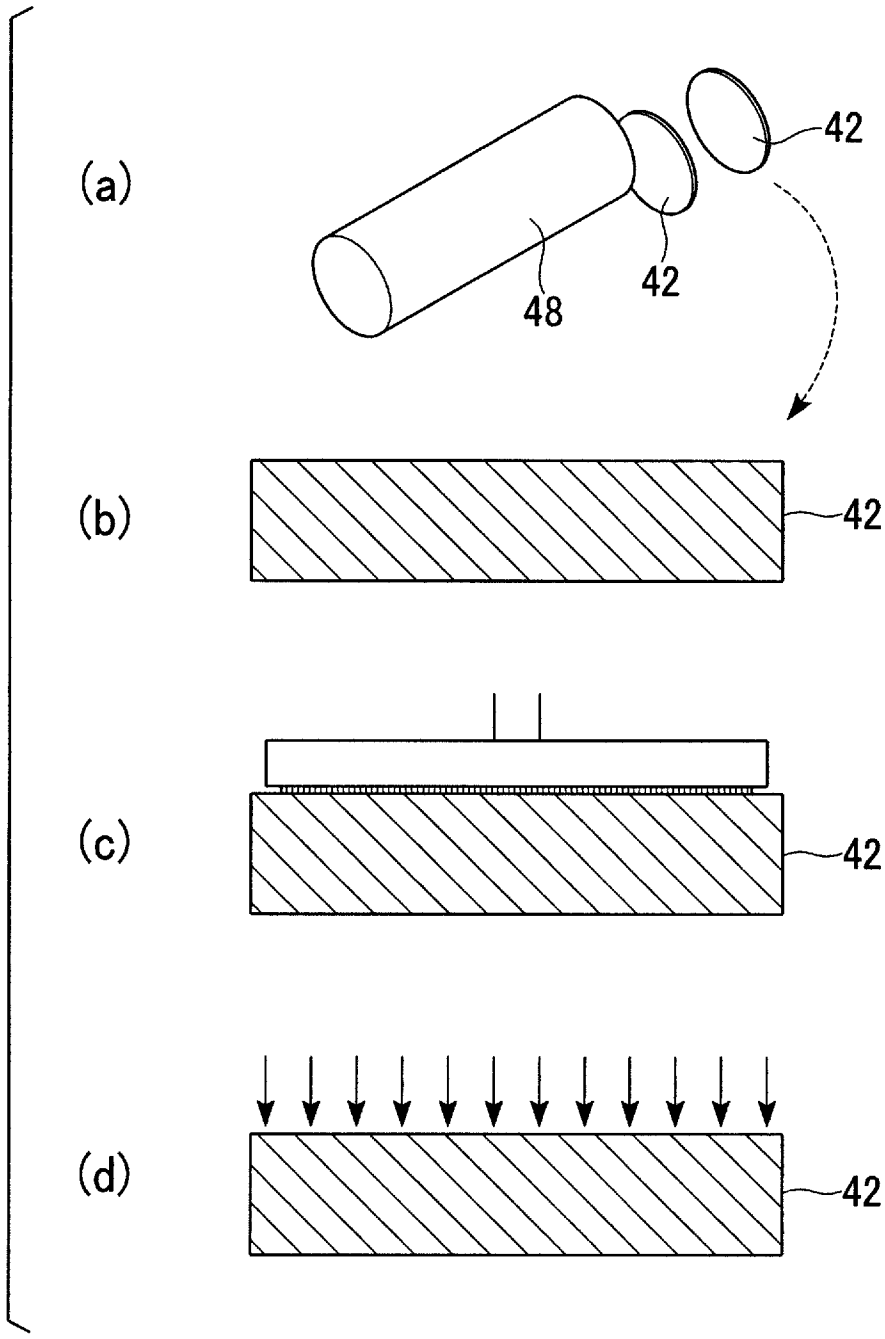
[図17]


41
43
S4
R4
42a
D4
T4
42
44
44
44
44
44

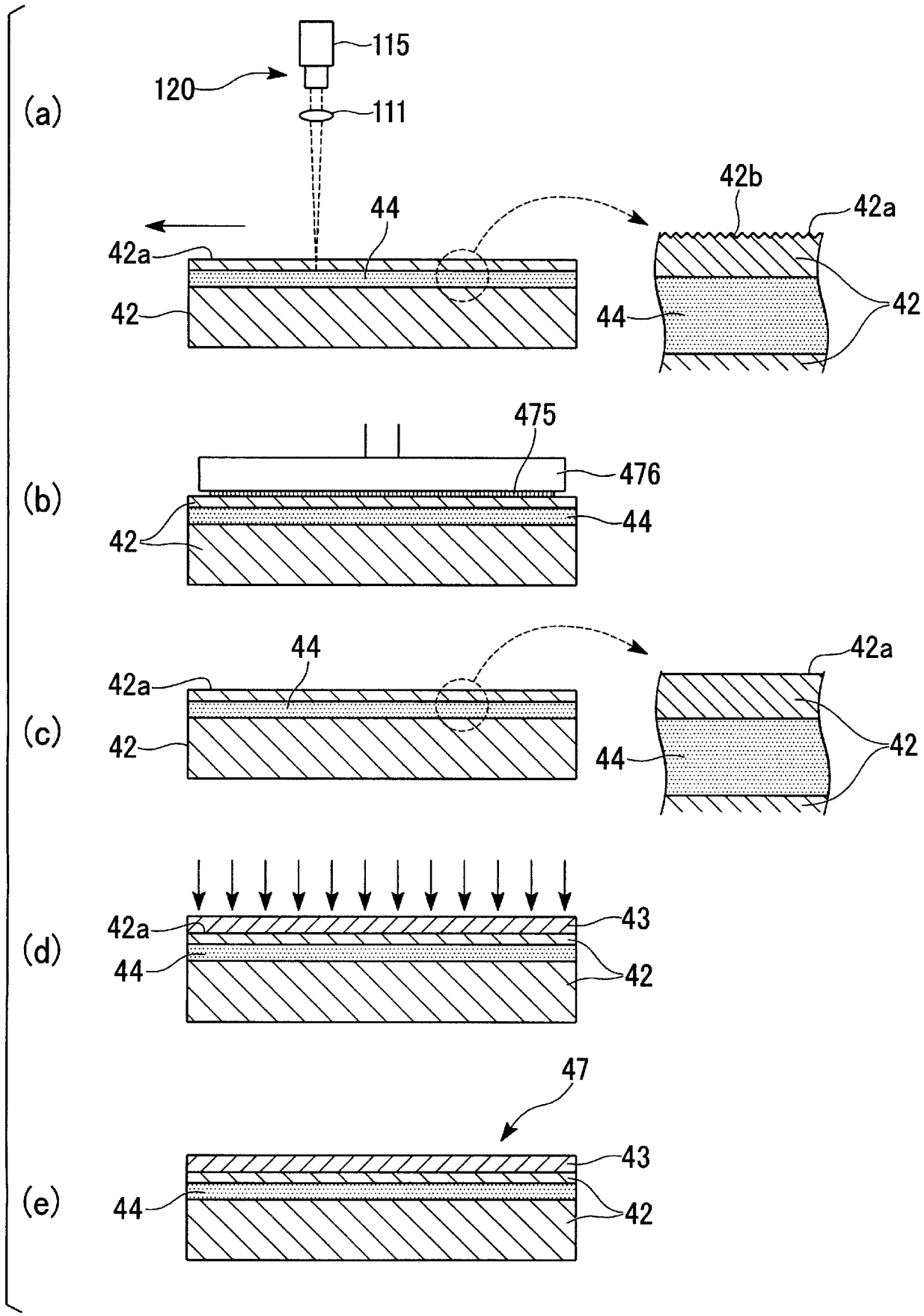
[図18]


469
465
466
471
468
467
472
463
462
464
n−
p
n−
n−
P
n+
464
n
461
p
43
44
44
41
p+
42

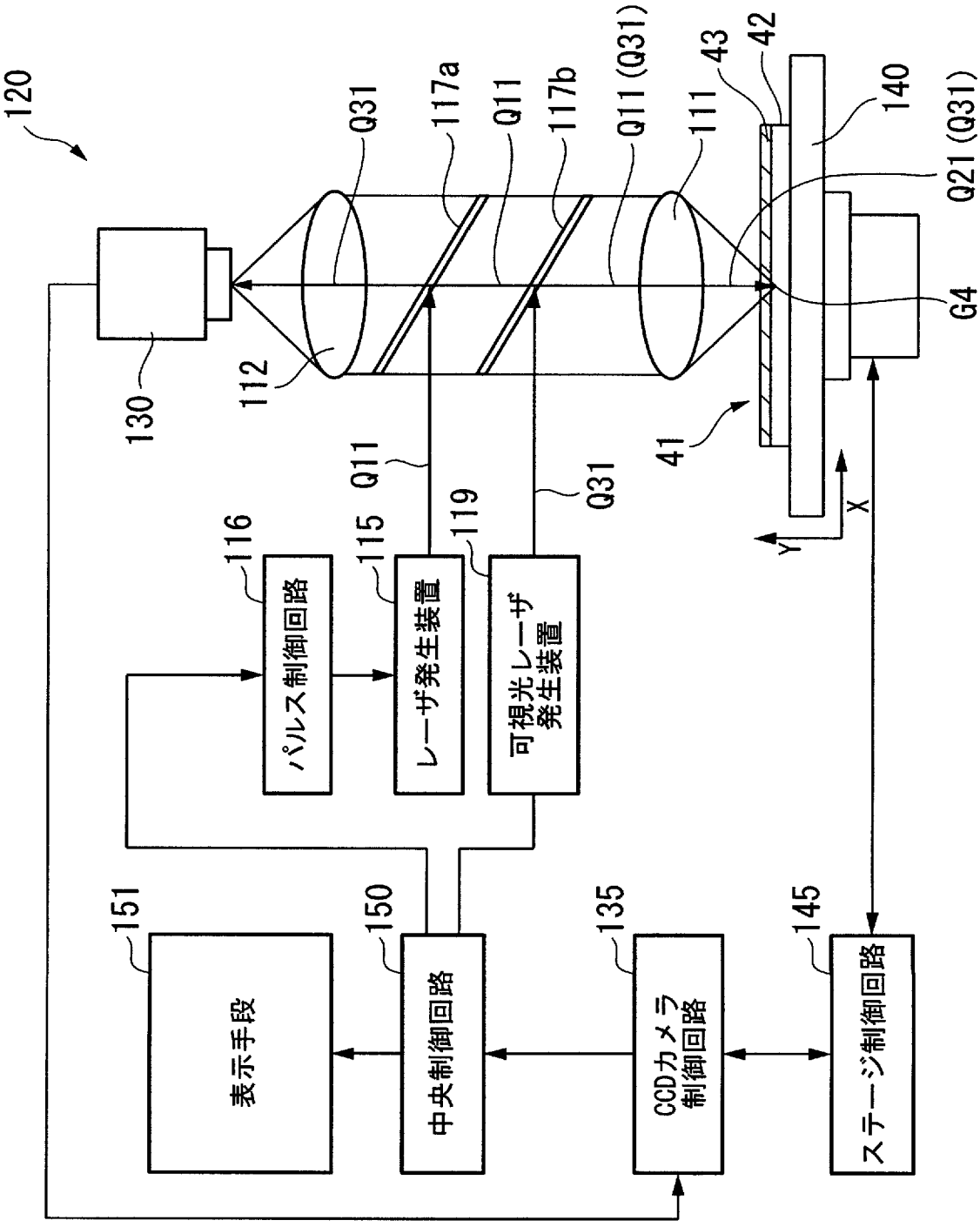
[図19]



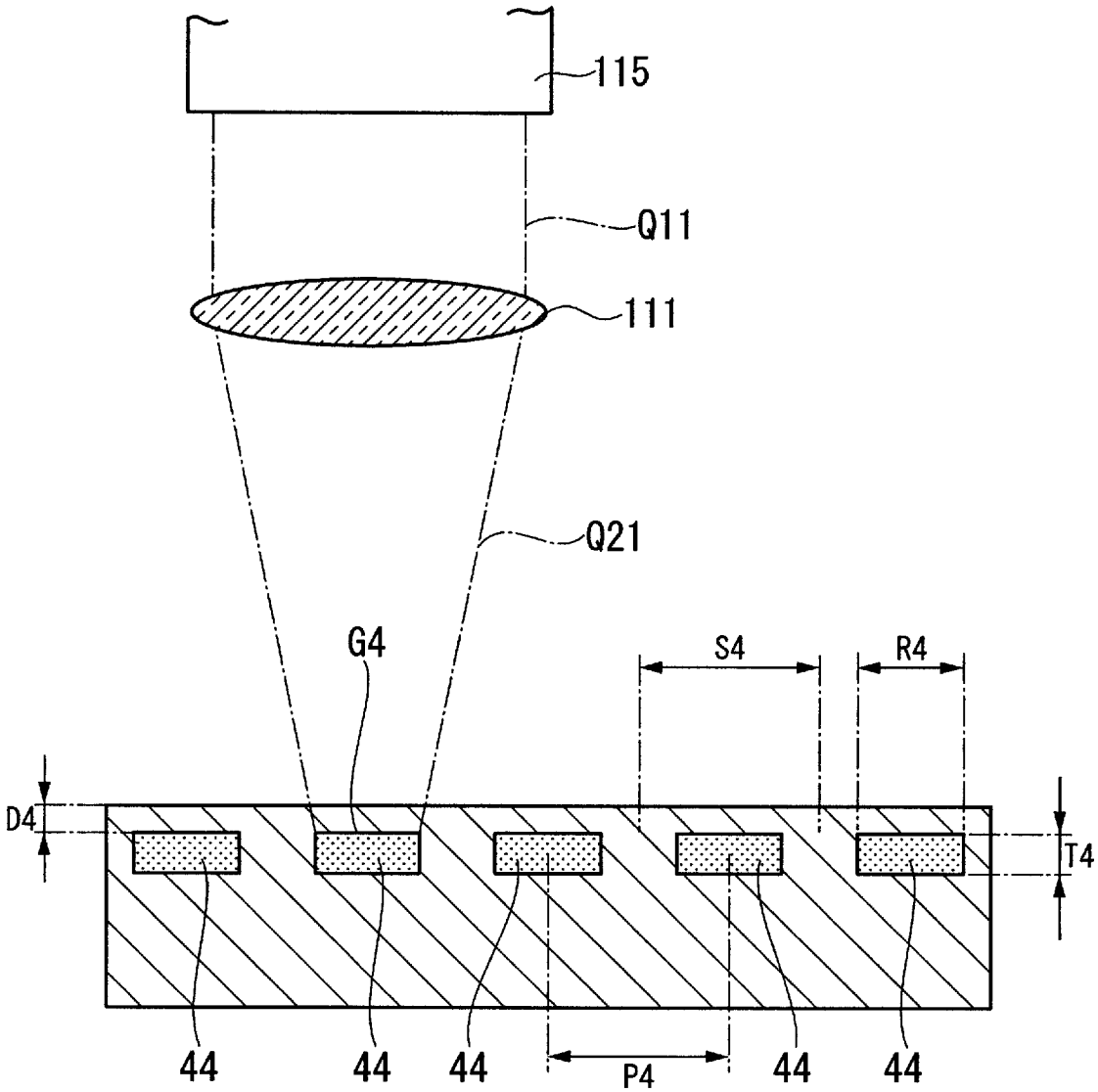
[図20]


(a)
115
120
111
44
42a
42
42b
42a
44
42
(b)
475
476
44
42
(c)
44
42a
42
42a
44
42
(d)
42a
43
44
42
(e)
47
43
44
42

[図21]


120
130
112
Q31
117a
Q11
117b
Q11 (Q31)
111
43
42
140
Q21 (Q31)
G4
41
Y
X
Q11
Q31
116
115
119
パルス制御回路
レーザ発生装置
可視光レーザ
発生装置
151
150
135
145
表示手段
中央制御回路
CCDカメラ
制御回路
ステージ制御回路

[図22]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2009/005428

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01L21/322(2006.01)i, *H01L27/148*(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01L21/322, H01L27/148

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2003-264194 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 19 September 2003 (19.09.2003), paragraphs [0023] to [0028]; fig. 1 (Family: none)	8-13 1-7 14-33
X Y A	JP 58-44726 A (Nippon Telegraph & Telephone Public Corp.), 15 March 1983 (15.03.1983), page 1, lower right column, line 7 to page 2, lower left column, line 1; fig. 1 (Family: none)	8-13 1-7 14-33
X Y A	JP 2008-108792 A (Disco Inc.), 08 May 2008 (08.05.2008), paragraphs [0011] to [0019]; fig. 1 to 6 & US 2008/0096368 A1	8-13 1-7 14-33

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
21 December, 2009 (21.12.09)	12 January, 2010 (12.01.10)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2009/005428

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2006-93175 A (Sony Corp.), 06 April 2006 (06.04.2006), paragraphs [0006], [0013]; fig. 6 (Family: none)	1-7 14-19
A	JP 2006-19360 A (Sony Corp.), 19 January 2006 (19.01.2006), paragraphs [0035] to [0047]; fig. 1, 3 to 6 & US 2006/0006488 A1 & EP 1612863 A2	14-19
A	JP 2008-103664 A (Fujifilm Corp.), 01 May 2008 (01.05.2008), paragraphs [0088] to [0107]; fig. 7 to 10 & US 2008/0283726 A1	14-22
P,A	JP 2009-16431 A (Fujifilm Corp.), 22 January 2009 (22.01.2009), paragraphs [0024] to [0033]; fig. 1 to 2 (Family: none)	14-22

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２００９／００５４２８

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01L21/322(2006.01)i, H01L27/148(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01L21/322, H01L27/148

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２００９年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２００９年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２００９年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X Y A	JP 2003-264194 A (浜松ホトニクス株式会社) 2003.09.19, 【0023】-【0028】, 図１（ファミリーなし）	8-13 1-7 14-33
X Y A	JP 58-44726 A (日本電信電話公社) 1983.03.15, 1頁右下欄7行-2頁左下欄1行, 第1図（ファミリーなし）	8-13 1-7 14-33

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー

「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 ２１．１２．２００９	国際調査報告の発送日 １２．０１．２０１０
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 郵便番号１００－８９１５ 東京都千代田区霞が関三丁目４番３号	特許庁審査官（権限のある職員）　４Ｌ　２９２９ 和瀬田　芳正 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３４９８

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X Y A	JP 2008-108792 A（株式会社ディスコ）2008.05.08, 【0011】-【0019】，図1-6 & US 2008/0096368 A1	8-13 1-7 14-33
Y A	JP 2006-93175 A（ソニー株式会社）2006.04.06, 【0006】，【0013】，図６（ファミリーなし）	1-7 14-19
A	JP 2006-19360 A（ソニー株式会社）2006.01.19, 【0035】-【0047】，図1，図3-6 & US 2006/0006488 A1 & EP 1612863 A2	14-19
A	JP 2008-103664 A（富士フイルム株式会社）2008.05.01, 【0088】-【0107】，図7-10 & US 2008/0283726 A1	14-22
Ｐ，Ａ	JP 2009-16431 A（富士フイルム株式会社）2009.01.22, 【0024】-【0033】，図1-2（ファミリーなし）	14-22