

(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2010-14723

(P2010-14723A)

(43) 公開日 平成22年1月21日(2010.1.21)

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

審査請求 有 請求項の数 25 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2009-202797 (P2009-202797)	(71) 出願人	508261219
(22) 出願日	平成21年9月2日 (2009.9.2)		ディーシージー システムズ インコーポ
(62) 分割の表示	特願2003-547980 (P2003-547980)		レーテッド
原出願日	平成14年11月29日 (2002.11.29)		アメリカ合衆国、カリフォルニア州 94
(31) 優先権主張番号	09/995,548		538、フレモント、ノースポート ルー
(32) 優先日	平成13年11月28日 (2001.11.28)	(74) 代理人	100092820
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 伊丹 勝
		(74) 代理人	100106389
			弁理士 田村 和彦
		(72) 発明者	ダニエル マードック コットン
			アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94
			043 マウンテンビュー ダブリュミド
			ルフィールドロード171 777

最終頁に続く

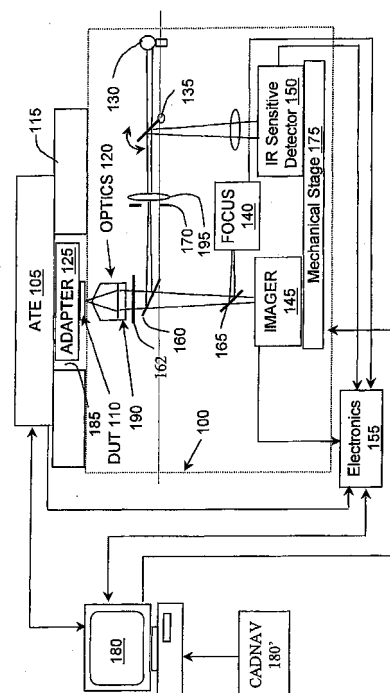
(54) 【発明の名称】 時間分解非侵入性判断システム

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】高い空間分解能のイメージングおよび高い時間分解能の検出をもたらす、ホット・エレクトロン光放出の時間分解測定によるICデバイス・デバッグ用の商業的に実現可能な一体型システムを提供する。

【解決手段】照明源130、集光光学部材120、結像光学系145、及び光子・センサ150を含む。ナビゲーション・モードでは、光源を作動させ、結像光学系を用いてチップ上のターゲット領域を確認するとともに集光光学部材を適切に位置付ける。いったん集光光学部材が適切に位置付けられたら、光源の動作を停止し、チップから放出される光子を光子・センサを用いて検出する。

【選択図】図1B



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

論理ベクトルで刺激される集積回路チップをテストするための一体型システムであって

、

その上にチップを配置するためのテスト・ベンチと、

前記チップへ論理ベクトルを加えるためのアダプタと、

固体液浸レンズを備えた集光光学部材と、

ナビゲーション・モードにおいて前記集光光学部材を通して前記チップを照明するための主照明源と、

前記チップから反射されて前記固体液浸レンズによって集光された光を用いて前記チップをイメージングするためのイメージャと、

チップから放出されたフォトンを検出して対応する電気信号を生成するように検出モードにおいて動作可能なフォトン・センサと、

前記電気信号を受け取って前記フォトンのタイミング情報を生成するシステム・コントローラと、を備え、

前記光源は、前記検出モードの間、前記チップの照明を停止するインテグレートッド・システム。

【請求項 2】

前記テスト・ベンチに下側から接続され且つ前記集光光学部材が取り付けられた可動ステージをさらに備える請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

前記チップの温度制御を可能にする冷却メカニズムをさらに備える請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 4】

照明システムからの光を前記チップ上へまたはチップから放出されたフォトンの前記フォトン・センサ上へ選択的に送るように動作可能な光学素子をさらに備える請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 5】

前記イメージャがビジコン・カメラを含む請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 6】

前記光学素子が切り替え可能なミラーを含む請求項 4 に記載のシステム。

【請求項 7】

前記フォトン・センサが、アバランシェ・フォトダイオードを含む請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 8】

前記集光光学部材の像面内に位置する機械化されたアパーチャをさらに備える請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 9】

前記集光光学部材を通して前記チップを照明するための副照明源をさらに備える請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 10】

前記集光光学部材と、前記フォトン・センサおよび副照明源の少なくとも一方との間の光路をもたらし光ファイバをさらに備える請求項 9 に記載のシステム。

【請求項 11】

前記冷却メカニズムがマイクロ・スプレー冷却システムを含む請求項 3 に記載のシステム。

【請求項 12】

前記コントローラが、前記フォトン・センサをゲート制御するためのゲート・タイマをさらに備える請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 13】

10

20

30

40

50

前記集光光学部材のフォーカシングをもたらすための前記集光光学部材を支持するＺアクチュエータをさらに備える請求項１に記載のシステム。

【請求項１４】

前記Ｚアクチュエータを制御するオートフォーカスをさらに備える請求項１３に記載のシステム。

【請求項１５】

前記光子検出器によって検出される光子の周期的なカウントに基づいて、前記オートフォーカスがフォーカス条件を決定する請求項１４に記載のシステム。

【請求項１６】

集積回路チップをテストするための一体型システムであって、
前記チップは、前記チップに刺激信号を送って前記チップの動作条件をシミュレートするための自動テスト機器（ＡＴＥ）に結合され、
前記ＡＴＥから同期信号を受け取るコントローラと、
前記チップの選択されたデバイスを選択的にイメージングするための光学イメージング・システムと、
前記チップからの光放出を集光して、前記光放出を示す時間分解信号を生成するための集光システムと、
前記光学イメージング・システムと前記集光システムとを、前記選択されたデバイスに対して配向するためのナビゲーション・システムと、
前記コントローラによって指定された温度まで前記チップを冷却するための冷却システムと、を備えるシステム。 10 20

【請求項１７】

前記光学イメージング・システムが、前記光学イメージング・システムによって規定される視野内から対象領域を選択するように動作可能な機械式アパーチャを備える請求項１６に記載のシステム。

【請求項１８】

前記冷却システムがマイクロ・スプレー冷却システムを備える請求項１７に記載のシステム。

【請求項１９】

前記集光システムが液浸レンズを備える請求項１８に記載のシステム。 30

【請求項２０】

前記液浸レンズが両凸の液浸レンズである請求項１９に記載のシステム。

【請求項２１】

前記チップからの光放出を集光するための前記集光システムがさらに、前記光放出の周期的な集光に基づいてフォーカシング信号を与える請求項１６に記載のシステム。

【請求項２２】

前記集光システムが両凸の液浸レンズを備える請求項２１に記載のシステム。

【請求項２３】

前記冷却システムがマイクロ・スプレー冷却システムを備える請求項２２に記載のシステム。 40

【請求項２４】

前記光学イメージング・システムが、前記チップ上の選択されたデバイスを照明するための光ファイバ・ケーブルに結合された照明源を備える請求項２３に記載のシステム。

【請求項２５】

前記照明源が、赤外スペクトルの光を与える請求項２４に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、電氣的に活性な半導体集積回路のトランジスタの切り替え事象の切り替え事象（論理遷移）に直接関係する回路タイミング情報を、その場でトランジスタ・レベルで 50

測定するためのシステムに関する。

【背景技術】

【0002】

従来技術において、半導体デバイスにおける種々のメカニズムが発光の原因となり得ることが知られている。半導体デバイスを検査するために、このような発光の検出が用いられている。たとえば絶縁体中のアバランシェ降伏によって発光が生じ、このような発光を検出することによって、デバイス中の故障箇所を示すことができる。同様の検出を、デバイスにおける帯電の特定に用いることができる。電氣的に刺激された（活性な）トランジスタの場合、デバイス中に電流が流れると、加速されたキャリア（電子および正孔）、別名ホット・キャリアによって発光が生じる。流れる電流が予想レベルを超えるデバイス上の場所を検出するために、種々のエミッション顕微鏡が用いられており、半導体デバイス中の故障箇所を見つけることが可能であった。これらのホット・キャリアのエミッション顕微鏡のうちのいくつかは、従来技術で開示されている。このようなエミッション顕微鏡の例は、たとえば特許文献1、特許文献2、および特許文献3に記載されている。

10

【0003】

トランジスタ（すなわち相補型金属酸化膜半導体（CMOS））デバイスの場合、電流「パルス」は、デバイスの状態（論理）変化の原因となる電圧遷移と（時間および特性において）直接一致する。本発明にとって特に関心があるのは、電氣的に活性な半導体トランジスタ・デバイスからのホット・エレクトロン発光を時間的に分解して、電流に対するデバイスの挙動および応答と、電流パルスの時間的な相互関係とを研究することである。これらの時間的な特性は、遷移（パルス）自体の検出とともに、集積回路（IC）デバイスの設計およびデバッグにおいて、決定的に重要である。主題に関するこれまでの研究および関連する研究は、非特許文献1～5によって刊行され発表されている。

20

【0004】

特にクフラーナらによって、フォトルミネセンス・ホット・キャリア発光は、時間および特性において、電流パルスとしたがってトランジスタの電圧切り替えと一致することが明らかにされており、したがってこの現象を、故障解析（デバイスにその設計以上の電流が流れ得る「ホット・スポット」の位置決定）だけでなく、回路タイミング情報（切り替え）を得るためにも利用できることが、したがってICデバッグおよび回路設計のために利用できることが教示されている。特許文献4も参照されたい。この文献では、このような検査に対するシステムが開示されている。

30

【0005】

前述した研究から理解できるように、半導体デバイスにおける光放出は非常に弱い。そのため種々の光学および検出方式が、より効率的に放出光を集光してノイズを減らすために、すなわち集光忠実度、帯域幅、ならびに集光および検出システムの速度を高めるために、提案されている。たとえば、市販の低ノイズ・マイクロチャネル光電子増倍管（MCP）を用いて、集光光を何桁も増幅することが行なわれている。また高速の光電気回路（すなわち時間電圧変換器（TAC））と結合されたアバランシェ・フォトダイオード（APD）を用いて、弱発光現象の高時間分解能を得ることも行われている。

40

【0006】

微細なサンプルからの光のフォーカシング／イメージングおよび集光を光学システム全体で増加させるために、集光光学部材の観点から、個々の応用例において種々の試みがなされている。特に顕微鏡対物レンズの開口数（ $NA = n \cdot \sin \theta$ ； n は媒体の屈折率、 θ はフォーカシング・ビームの円錐角の半分）を増加させることである。開口数（ NA ）の増加を実現することは、円錐角を増加させることによってだけでなく、屈折率 n を増加させてサンプルのそれと整合させ、空気（ $n = 1$ ）およびサンプル界面での屈折率不整合を回避することによっても可能であることが、長い間知られている。「 n 」を増加させるための歴史上の1つの方法は、適切に収差補正された対物レンズとサンプルとの間のエア・ギャップに、物体の屈折率と整合する屈折率整合オイルを充填することである。屈折率整合を実現するために利用できる適切な整合流体がない場合には、物体と対物レンズと

50

の間に配置された固体液浸レンズ（サンプルの材料と整合する）を使用するなどの他の方法を用いることができる。当然のことながら、両方の技術を用いても良く、すなわち液浸レンズおよび屈折率整合流体を用いても良い。前述した技術を用いることは、たとえば特許文献 5、特許文献 6、および特許文献 7 に開示されている。液浸レンズについてのより最近の説明は、特許文献 8、特許文献 9、特許文献 10、特許文献 11、および非特許文献 6 で見つけることができる。固体液浸レンズの場合、従来技術のレンズは、平凸レンズ（すなわち半球）である。言い換えれば、底面、すなわち物体に面する表面が平坦である一方で、上面、すなわち対物レンズに面する表面は凸である。

【0007】

本発明にとって特に関心のある半導体デバイスは、フリップ・チップ形式でパッケージされた半導体デバイスである。フリップ・チップ・パッケージされたデバイスでは、IC デバイスとパッケージ・キャリアとの間が直接張り付けられていることで、IC「チップ」のキャリアにワイヤ・ボンディングを用いることが軽減されている。加えて、トランジスタは、基板を通して容易にアクセスできるため、金属相互接続の多層膜によって「マスク」されることはない。フリップ・チップ・パッケージ・デバイスの構築、実装、および構造は良く知られているため、ここでは詳細には説明しない。フリップ・チップに関する情報は、たとえば、<http://www.flipchip.com>、および<http://world.std.com/~hycomp/flippage.html>で見つけることができる。

【0008】

特に関心があるのは、このようなデバイスの検査を背面から、すなわち基板側から行なうための当該技術分野における最近の試みである。基板側では、IC トランジスタの活性層に容易にアクセスできる。フリップ・チップ・パッケージ・デバイスを、従来の動的な（タイミング）診断方法、たとえば電子ビーム（電圧コントラスト）プロービング、を用いてプローブ検査する際の問題の 1 つは、タイミング情報および故障分離が重要となる重要ノードが、アクセスが容易でなく、多重レベルの金属相互接続によってマスクされることである。そのため金属線を電子ビーム・プローバに露出させるために、収束イオン・ビーム（FIB）を用いて基板に「孔を開けて」重要ノードの冶金を露出させるか、またはテストおよびプローブ構造のための開口部を予め設計する必要がある。前者は、時間のかかる破壊的な方法である。後者では、高価な「土地」が無駄になるだけでなく、多くの場合、回路設計者が関心を抱く特性は示されない。こうしたことから、光学技術を用いて、デバイスを基板（背面）を通してプローブ検査することが行なわれている。どんな IC でも、フリップ / 直接張り付け用に再パッケージできることに注意されたい。またタイミング測定およびデバッグを何度も行なう必要がある最先端のサブ 0.18 ミクロンおよび（それ未満の）デバイスは、フリップ・チップ・パッケージ形式であり、そのため背面での光学プロービングおよび検出を行なっている。読者は、非特許文献 7 に刊行された非特許文献 8 ~ 10 を参照されたい。

【0009】

他の興味ある論文は、非特許文献 11 である。フリップ・チップを背面からシリコン基板を通してイメージングするためのシステムが、特許文献 10、特許文献 12、および特許文献 4 に記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献 1】米国特許第 4,680,635 号明細書

【特許文献 2】米国特許第 4,811,090 号明細書

【特許文献 3】米国特許第 5,475,316 号明細書

【特許文献 4】米国特許第 5,940,545 号明細書（カシュ（Kash）ら）

【特許文献 5】米国特許第 3,524,694 号明細書

【特許文献 6】米国特許第 3,711,186 号明細書

10

20

30

40

50

- 【特許文献7】米国特許第3,912,378号明細書
- 【特許文献8】米国特許第4,634,234号明細書
- 【特許文献9】米国特許第5,004,307号明細書
- 【特許文献10】米国特許第5,208,648号明細書
- 【特許文献11】米国特許第5,282,088号明細書
- 【特許文献12】米国特許第5,220,403号明細書
- 【非特許文献】
- 【0011】
- 【非特許文献1】「II-VI族半導体のピコセカンド時間分解フォトルミネセンス測定用の全固体型顕微鏡ベース・システム(All-Solid-State Microscope-Based System for Picosecond Time-Resolved Photoluminescence Measurements on II-VI semiconductors)」、G.S.ビューラ(G.S. Buller)ら、レビュー・オブ・サイエンティフィック・インスツルメンツ(Review of Scientific Instruments)p.2994、63、(5)、(1992年) 10
- 【非特許文献2】「ゲルマニウム・シングル・フォトン・アバランシェ・フォトダイオードを用いた1.3- μ m波長におけるInGaAs/InP多重量子井戸構造での時間分解フォトルミネセンス測定(Time-Resolved Photoluminescence Measurements in InGaAs/InP Multiple-Quantum-Well Structures at 1.3- μ m Wavelengths by Use of Germanium Single-Photon Avalanche Photodiodes)」、G.S.ビューラ(G.S. Buller)ら、アプライド・オブティクス(Applied Optics)、第35巻、第6号、(1996年) 20
- 【非特許文献3】「ゲート制御されたエミッション顕微鏡による製品ホット・エレクトロン問題の解析(Analysis of Product Hot Electron Problems by Gated Emission Microscope)」、クフラナ(Khurana)ら、IEEE/IRPS(1986年)
- 【非特許文献4】「超高速マイクロチャネル・プレート光電子増倍管(Ultrafast Microchannel Plate Photomultiplier)」、H.クメ(H. Kume)ら、アプライド・オブティクス、第27巻、第6号、15(1988年) 30
- 【非特許文献5】「抵抗性アノード光電子増倍管を用いた100-ps分解能の2次元時間分解イメージング(Two-Dimensional Time-Resolved Imaging with 100-ps Resolution Using a Resistive Anode Photomultiplier Tube)」、S.キャルボネアウ(S. Charboneau)ら、レビュー・オブ・サイエンティフィック・インスツルメンツ、63、(11)、(1992年)
- 【非特許文献6】「固体液浸顕微鏡(Solid Immersion Microscopy)」、S.M.マンスフィールド(S.M. Mansfield)、G.L.リポート(G.L. Report)、第4949号、スタンフォード大学(1992年) 40
- 【非特許文献7】1998年国際テスト会議のプロシーディング(Proceedings of 1998 International Test Conference)(ITC'98)(12月18~22日、ワシントンDC、IEEEカタログ番号RS00191)
- 【非特許文献8】「フリップ・チップ・パッケージ・マイクロプロセッサ用の新しい光学プロービング技術(Novel Optical Probing Technique for Flip Chip Packaged Microprocessors)」、マリオ・パニッシア(Mario Paniccia)、トラビス・アイルス(Travis 50

E i l e s)、V . R . M . ラオ (V . R . M . R a o)、およびワイ・ムン・ウィ (W a i M u n Y e e)

【非特許文献 9】「時間依存性光放出によるタイミング関連欠陥の診断およびキャラクタリゼーション (D i a g n o s i s a n d C h a r a c t e r i z a t i o n o f T i m i n g - R e l a t e d D e f e c t s b y T i m e - D e p e n d e n t L i g h t E m i s s i o n)」、デイブ・バレット (D a v e V a l l e t t)、リーナート・フイスマン (L e e n d e r t H u i s m a n)、およびフィル・ナイ (P h i l N i g h)

【非特許文献 10】「コンタクトレス・ギガヘルツ・テストング (C o n t a c t l e s s G i g a h e r t z T e s t i n g)」、W . マーチン (W . M e r t i n)、A . レイク (A . L e y k)、U . ベーンケ (U . B e h n k e)、および V . ウィットポール (V . W i t t p a h l)

【非特許文献 11】「フリップ・チップ搭載シリコン集積回路における内部電気信号のピコセカンド非侵入性光学的検出 (A n o t h e r a r t i c l e o f i n t e r e s t i s P i c o s e c o n d N o n i n v a s i v e O p t i c a l D e t e c t i o n o f I n t e r n a l E l e c t r i c a l S i g n a l s i n F l i p - C h i p - M o u n t e d S i l i c o n I n t e g r a t e d C i r c u i t s)」、H . K . ハインリッヒ (H . K H e i n r i c h)、IBM ジャーナル・オブ・リサーチ・アンド・ディベロップメント (I B M J o u r n a l o f . R e s e a r c h a n d D e v e l o p m e n t) 第 3 4 巻、第 2 / 3 号、1 9 9 0 年

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

しかしこの分野における研究量にも拘わらず、ホット・エレクトロン発光の時間分解測定によるデバイス・デバッグ用システムとして、商業的に実現可能なものは依然として存在しない。産業界が直面する多くの問題点には以下のものがある。

【0013】

・検出信号の忠実度（すなわち帯域幅および分解能）が損なわれない高速かつ信頼性の高い捕捉スピード。

【0014】

・低（またはゼロ）容量デバイス（すなわち通常のシリコン基板の代わりにシリコン・オン・インシュレータ（SOI）を用いるもの）について測定できること。

【0015】

・サブ 0 . 2 ミクロン・デバイスにおける対象ノードの位置決定を可能とする高い空間分解能のイメージングおよびナビゲーション。

【0016】

テスト中（電氣的に刺激されている）のデバイス、およびデバイスにアクセスできるようにヒート・シンクなしで動作中のデバイスの冷却および電力負荷管理。

【課題を解決するための手段】

【0017】

本発明者らは、高い空間分解能のイメージングおよび高い時間分解能の検出をもたらす、ホット・エレクトロン光放出の時間分解測定による IC デバイス・デバッグ用の商業的に実現可能な一体型システムを提供する。また本システムでは、テスト用デバイス（DUT）の冷却および温度制御が可能である。さらに本システムでは、IC コンピュータ支援設計（CAD）レイアウトを用いたナビゲーションおよびイメージング（結像）が可能である。本発明のシステムは、動作電流が内部を流れる機能的な半導体集積回路のテストおよびデバッグに対して、特に有用である。

【0018】

本発明の一態様においては、集積回路チップ・テスト用の一体型システムが提供される。テスト用チップは、自動テスト機器（ATE）に結合される。自動テスト機器は、デバ

10

20

30

40

50

イスに電力を供給し、プログラムされた論理ベクトルおよび信号を用いてそれを刺激して、チップの動作（機能的およびテスト）条件をシミュレートする。本発明のシステムは、A T E から同期信号を受け取るコントローラと、チップの選択されたデバイスを選択的にイメージングするための光学イメージング・システムと、チップからの光放出を集光して、光放出を示す時間分解信号を生成するための集光システムと、選択されたデバイスに対して光学イメージング・システムおよび集光システムを配向するための光学機械式ナビゲーション・システムと、コントローラによって指定された温度までチップを冷却するための熱管理システムと、を備える。

【 0 0 1 9 】

本発明の他の態様においては、本発明のシステムは X - Y - Z ステージを備える。X - Y - Z ステージを用いて、テスト用デバイス上の対象とする場所まで光学部材を移動させ、対象とするデバイスをフォーカスおよびイメージングする。ナビゲーションは、I C の C A D レイアウトに関連して行なわれる。機械化されたシャッタを用いて、光学部材の視野内でイメージング領域を可変に規定する。ナビゲーションおよびターゲット捕捉の間、デバイスを照明して、イメージ増強管を用いてイメージングする。こうすることで、高い分解能が得られる。テストすべきデバイスが捕捉されたら、すなわちイメージング領域内に配置されたら、照明源をターン・オフし、デバイスをテスト信号によって刺激する。刺激している間、ホット・エレクトロン光放出が、光学部材によって集光され、光ファイバ上にイメージングされる。

【 0 0 2 0 】

時間分解能をもたらすために、発光検出をテスト信号、すなわち自動テスト機器（A T E）と同期させる。光ファイバによって集光した光を、アバランシェ・フォトダイオード（A P D）によって検出する。アバランシェ・フォトダイオード（A P D）は、アバランシェ・クエンチング（Avalanche Quenching）回路、時間電圧変換器（T A C）、およびマルチチャネル・アナライザに結合される。任意に、A T E からの同期信号に従って光放出が予想される直前にのみ検出条件が生じるように、A P D をゲート制御する。こうすることで、ノイズが低減されて、A P D の寿命が延びる。

【 0 0 2 1 】

本発明のシステムの有利な特徴の 1 つは、D U T のアクティブ温度制御である。I C をデバッグする際、関心点の 1 つは、種々の動作温度における種々のデバイスの挙動である。このような研究によって、動作温度の変化が原因で生じる性能および信頼性の問題点を示すことができ、また温度依存性の高い重要なデバイス接合の動作条件をデバイス設計者にもたらしすることができる。本発明のシステムによって、制御された種々の温度で D U T のテストを行なうことができる。温度制御が、チャンバの内部および D U T に対して別個に実現され、また光学イメージング / 検出システムと一体化されている。一実施形態によれば、冷却流体が内部を循環する冷却ブロックを用いて、D U T の冷却が行なわれる。他の実施形態によれば、液体マイクロ・スプレー冷却技術を用いて、D U T が冷却される。

【 0 0 2 2 】

本発明の特定の特徴によれば、液浸レンズを用いて、光集光効率およびイメージング分解能を増加させる。本発明の一実施形態においては、屈折率整合液浸レンズは、両凸であるとともに、D U T との直接的な（エア・ギャップのない）接触を保証するために、発光検出の間 D U T 上に押し付けられる。

【 0 0 2 3 】

システムの安定性を高めるために、オートフォーカスを設けても良い。一実施形態によれば、オートフォーカスは受動的なシステムであり、すなわち照明源をまったく含んでいないが、むしろフィードバック・ループを用いて光放出光の集光レートを最適化している。本発明を、図面に例示される特定の実施形態を参照して説明する。しかし図面に示す種々の実施形態は典型にすぎず、添付の特許請求の範囲に規定される本発明を限定し得るものではないことを理解されたい。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 4 】

【図 1 A】本発明の一実施形態によるテストおよびデバッグ・システムの主なコンポーネントを示す概略図である。

【図 1 B】本発明の一実施形態によるテストおよびデバッグ・システムの主なコンポーネントを示す概略図である。

【図 1 C】本発明のテストおよびデバッグ・システムの他の実施形態の主なコンポーネントを示す概略図である。

【図 2 A】冷却板の一実施形態を示す平面図である。

【図 2 B】図 2 A の線 A - A に沿っての断面図である。

【図 3】本発明の液浸レンズの一実施形態を示す図である。

10

【図 4】イメージング用にレーザ走査顕微鏡を用いる本発明のシステムの他の実施形態を示す図。

【図 5】液浸レンズを適切なターゲット位置に配置するための「ピック・アンド・ブレース」システムの一実施形態を例示する図である。

【図 6】本発明の実施形態の種々のセットアップを例示する図である。

【図 7】本発明の実施形態の種々のセットアップを例示する図である。

【図 8】本発明の実施形態の種々のセットアップを例示する図である。

【図 9】本発明の顕微鏡対物レンズ / D U T クラッシュ保護システムを示す図である。

【図 1 0】本発明のマイクロ・スプレイ冷却の一実施形態を示す図である。

【図 1 1】本発明の別の実施形態を示す図である。

20

【図 1 2】位置合わせされたデュアル・レンズを有する本発明のマイクロ・スプレイ冷却の一実施形態を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 5 】

本発明によって、マイクロチップの立ち上がり時間、タイミング、論理故障の位置決定、および他のテスト、特に背面から基板を通してのテスト（たとえばフリップ・チップ・パッケージ・デバイス）に、特に適したテスト・システムが提供される。したがって説明は、フリップ・チップを用いた例で続ける。しかし本発明はフリップ・チップのテストに限定されないことを理解されたい。たとえば、トップ・サイド・パッケージ・デバイスを用いてそれらをチップ・スケール・パッケージ（C S P）内でフリップすること、または放出光がトップ・サイドを確実に通過するように適切な開口部をデザインすることができる。必要なのは、チップ内の対象デバイスからの放出光を回収することである。

30

【 0 0 2 6 】

図 1 A および 1 B は、本発明の典型的な実施形態によるテストおよびデバッグ・システムの主なコンポーネントを示す概略図である。本システムは、市販の自動テスト機器 1 0 5（A T E）とともに動作する。A T E は一般に、事前にプログラムされたコンピュータ 1 8 1 などのコントローラと、テスト・ヘッド 1 2 4 とを備える。テスト・ヘッド 1 2 4 は、コントローラ 1 8 1 から発生した信号を D U T 1 1 0（図 1 B）に、当該技術分野において良く知られた方法で送出するのに用いるアダプタ 1 2 5 を備える。具体的には、A T E を用いて、D U T を刺激する信号を生成して、チップのチェックおよび / またはデバッグ用にチップ設計者がデザインしたように、種々のタスクを実行させる。コントローラ 1 8 1 から発生した種々の信号が D U T へ、アダプタ 1 2 5 を介して送出される。アダプタ 1 2 5 には、スペース・トランスフォーマ、D U T 負荷ボード、および D U T ソケットが、当該技術分野において良く知られた方法で含まれていても良い。

40

【 0 0 2 7 】

図 1 A および 1 B に示した実施形態では、A T E テスト・ヘッドが、振動絶縁されたテスト・ベンチ 1 1 5 の上部に配置される一方で、光学部材全体と、イメージングおよびセンシング・システムと、X - Y - Z ステージ 1 7 5 とを収納するチャンバ 1 0 0 が、下方に配置されている。こうすることで、すばらしい利点を得られる。と言うのは、本システムをどのタイプおよびサイズの A T E とも使用することが、チャンバ 1 0 0 内のどの要素

50

とも干渉することなく、またどの要素にも修正を加えることなく可能になるからである。正確に言えばA T Eを用いて、D U Tを上方から配置する。その結果、開口部 1 8 5を通してD U Tが光学部材 1 2 0から見えるようになる。ステージ 1 7 5によって、集光光学部材を開口部 1 8 5内の任意の場所に配置することができる。この例ではX - Y - Zステージを用いているが、他のステージを用いて光学部材を開口部 1 8 5内の指示された場所に配置できることが明らかである。

【 0 0 2 8 】

図 1 A および 1 B のシステムの種々の要素を、それらの動作モードに言及して説明する。一般に、本システムは2つのモードで動作する。ナビゲーション・モードと検出モードである。本説明において「ナビゲーション・モード」に言及する場合には、ナビゲーション、ターゲット捕捉、およびイメージングを含むものと理解されなければならない。したがって本明細書では、これらの用語を区別しないで用いることができる。ナビゲーション・モードでは、照明源 1 3 0を用いてD U Tを照明する。照明源 1 3 0からは赤外 (I R) 領域の光が、たとえばI R レーザ、またはフォトダイオード、またはタングステン・ハロゲン・ランプを用いて放出される。光は、顕微鏡対物レンズを通してD U T上にフォーカスされた後、そこから反射されてビームスプリッタ 1 6 0を通る。イメージャ 1 4 5は、赤外領域でイメージング可能な任意の2次元検出器とすることができ、たとえば増強管ビジコンまたはInGaAsアレイなどである。I R ビジコンは、たとえばハママツ (H a m a m a t s u) (<http://usa.hamamatsu.com>) から市販されている。この例では、対象とするデバイスはシリコン上に作製されている。良く知られているように、I R よりも短い波長はシリコンに吸収される。したがってこの例では、照明およびイメージングはI R において行なわれる。当然のことながら、対象とするデバイスがS O I またはGaAsなどの異なる基板上に製造されている場合には、異なる波長の照明およびイメージングを用いても良い。

10

20

【 0 0 2 9 】

ビーム・スプリッタ・ミラー 1 6 5を用いて、集光光の一部をフォーカシング・システム 1 4 0に偏向させる。任意に、全体のイメージング・システムをZアクチュエータ 1 9 0に接続して、オートフォーカシングするようにしても良い。しかしオートフォーカシング用の典型的なシステムを、以下に、より十分に説明する。

【 0 0 3 0 】

切り替え可能なミラー 1 3 5は、ナビゲーション・モードと検出モードとの間で光路を選択的に変えられなければならない。こうするために、ミラー 1 3 5を機械的に移動または回転させても良い。またはミラー 1 3 5を、選択したモードに従って反射率を変えられる能動的な要素で作製することによって、たとえば一方のモードでは完全に反射性であるが他方のモードでは完全に透過性となるようにしても良い。回転的に実装する場合には、基板を、その半分が透過性で他の半分が反射性となるように作製しても良い。このような基板に、回転メカニズムを設けることで、光路内に必要に応じて反射性または透過性部分を挿入することができる。

30

【 0 0 3 1 】

加えて、機械化されたアパーチャ 1 7 0 が、集光光学部材 1 2 0 の像面に、視野レンズ 1 9 5とともに設けられている。特に本実施形態においては、集光光学部材 1 2 0 の入射瞳が、視野レンズ 1 9 5によって、イメージャ 1 4 5内の検出器のフォーカシング要素の入射平面上にイメージングされる。ある実装 (ここでは示さず) においては、集光光学部材の入射瞳が、フォーカシング要素によって、集光されたフォトンイメージャ 1 4 5内の検出器内に結合するファイバ上にイメージングされる。本発明の一つの特徴は、照明経路が、機械化されたアパーチャ 1 7 0 (集光光学部材の像面に位置する) を通って形成されるために、その開口部によって、テスト用サンプルまたはデバイス上の視野が規定されることである。またアパーチャによって、イメージャ 1 4 5上にイメージングされるサンプル部分も規定される。すなわち、行なうべき特定のテストに応じて、D U Tの任意の特定部分を発光用を選択することができる。たとえばケイデンス (C a d e n c e) などの

40

50

CADソフトウェアに記憶されたチップ・デザインおよびレイアウトに関する情報を用いることで、およびナイツ・テクノロジー(Knights Technology)(www.electroglass.com)から販売されるメルリンズ・フレームワーク(Merlin's Framework)などのナビゲーション・ソフトウェアを用いることで、特定のデバイスを発光テスト用に選択するとともに、他のデバイスのイメージングおよび放出光を集光光学部材の視野内で阻止しても良い。ユーザがデバイスまたは場所を選択すると、システムはステージ175を作動させて、選択したデバイスまたは場所の中心に集光光学部材がくるようにする。あるいは、対象領域が集光光学部材の視野内にある間、対象領域をアパーチャを用いて分離して、イメージングおよび検出を「選択的に」始めることができる。そしてアパーチャ170を調整して、必要に応じて、所望する特定のテスト用に視野を増加または減少させることができる。

10

【0032】

適切な視野が設定されて像が得られたら、ミラー135を回転させて、IR敏感検出器150に向かう光路を設ける(開口する)。さらに光源130は、テスト中に遮断または閉鎖される。当然のことながら、チャンバ100によって、どんな外部光も、チャンバ内に収容された光学部材、イメージャ、およびセンサのどれにも到達しないことを理解されたい。

【0033】

後述するように、ファイバを用いて光を検出器内に結合する他の実施形態においては、「プローブ領域」は、それが検出器から視野レンズおよび集光光学部材によってDUT上にイメージングされるときに、ファイバ・コアの領域によって設定される。この「プローブ領域」の直径は、ファイバのサイズによって規定され、倍率は、光学縦列、集光光学部材、視野レンズ、およびファイバにおける合焦光学部材の焦点距離と間隔とによって規定される。この構成では、ファイバをX-Yアクチュエータによって、集光光学部材によって規定される視野上で移動させることができる。このさらなる特徴によって、ユーザはプローブ領域を、機械化されたアパーチャによって規定される事前選択された領域内で、移動させることができる。

20

【0034】

テスト中のフォトン検出は、検出器150によって行なう。検出器150は、たとえば赤外センサであり、例としては、光電子増倍管(PMT)、マルチチャンネル・プレート(MCP)に結合された光電陰極、アバランシェ・フォトダイオード(APD)などである。検出器150からの信号を、高速データ取得エレクトロニクス155によってサンプリングする。エレクトロニクス155を、以下に詳細に述べる。コントローラ180(専用のソフトウェアを実行する汎用コンピュータであっても良い)を用いて、アクチュエータおよびステージおよびサンプリング器などの本システムの種々の要素を制御する。コントローラ180は、ATE105から同期信号を受け取る。

30

【0035】

本発明のシステムの特徴は、テスト・モード・フォーカスが、DUTから放出される光を用いて行なわれることである。より具体的には、コントローラ180によって、種々のZ位置で検出器150が集光するフォトン・カウティングが行なわれる。最も高いフォトン・カウントに対応するZ位置が、フォーカス位置であると決定される。

40

【0036】

図1Cに、異なる配置の光学部材および検出器をチャンバ100内で用いることを除いて、図1Bの実施形態の一般的な構成を用いる本発明の一実施形態を示す。図1Cの実施形態によれば、ナビゲーション・モードでは、切り替え可能なミラー135'によって光源130'からの光がDUT110'に向けて送られる。DUTから反射された光は、1/4波長板162'を通過した後、偏光子ミラー160'によってイメージャに向けて反射される。当然のことながら、理解され得るように、1/4波長板162'および偏光子ミラー106'の代わりに、光源130'からの光には透明であるがDUT110'から来る光は反射するハーフ・ミラー配置としても良い。図1Bの実施形態の場合と同様に、

50

視野レンズ 195' を伴う機械されたアパーチャ 170' が、像面に設けられており、後ろから照明されて、視野を規定する。また本実施形態においては、イメージャ 145' によって得られた像は、フォーカス・アルゴリズム 140' によって使用される。これは有利な配置である。と言うのは、こうすることによって、DUT 110' から反射された光をすべて、像を形成するために、イメージャ 145' に対して利用することができるからである。

【0037】

検出モードの間、ミラー 135' を回転させて、IR 敏感検出器 150' に対する光路が形成されるようにする。さらに光源 130' をターン・オフすることが好ましい。理解され得るように、ナビゲーション・モードの間に、機械化されたアパーチャによっていったん視野が決定されたら、視野は検出モードにおいても同じ位置のままであるため、検出モードの間の視野も規定されることになる。

10

【0038】

本発明のシステムの種々の要素をさらに、本発明のさらなる実施形態を参照して、より詳細に説明する。本発明の実施形態の 1 つの特有の特徴は、集積チップ冷却が行なわれることである。言い換えれば、チップの十分かつ正確なテストができるようにする一方で、最適な動作環境、すなわちフィールド条件、をシミュレートできるように、本発明の種々の実施形態において、チップの冷却および温度制御が行なわれる。良く知られているように、チップをコンピューティング機器内に設置する場合、ヒート・シンクおよび/またはファンなどの種々の要素が、チップから熱を除去するために設けられる。したがって本発明の実施形態においては、このような熱除去要素をシミュレートして十分かつ正確なテストが可能となるように、種々の対処がなされる。さらに本システムでは、DUT の温度のアクティブ制御を行なって、種々の動作温度について DUT の性能をテストすることができる。

20

【0039】

図 2 A に、冷却板 210 の形態をなす熱除去システムの第 1 の実施形態を平面図で示し、一方で図 2 B は、図 2 A の線 A - A に沿っての断面図である。図 2 B において、DUT 260 は周辺デバイス 265 を備えるように示されているが、例示のためだけに過ぎない。本システムは、周辺デバイスをまったく有さない DUT の検査にも利用できることが理解される。冷却板 210 は、CVD などの既知の方法を用いて人工ダイヤモンドから形成されることが好ましい。流体導管が、冷却板 220 の上面に設けられており、この流体導管は、冷却流体循環用の入口 250 と出口 240 とを有する（ポンプおよび他の流体循環要素は、当該技術分野において十分に知られているため図示していない）。

30

【0040】

冷却板 210 は、DUT 上のターゲット領域をイメージングするための窓を有している必要がある。ほとんどの状況下では単一の窓で十分であるが、図 2 B に示すように、周辺要素 265 によって、ときに DUT 上での冷却板 210 の配置および移動が制限されることがある。そのため、図示した実施形態においては、冷却板 210 は窓 235 のアレイを備えている。こうして DUT 上の各ターゲット領域に対して、適切な窓が選択されて、集光光学部材 120（図 2 B では破線で示される）が、選択された窓の上方に、X - Y ステージ 175 を用いて位置合わせされる。冷却板を、X - Y アクチュエータ 280 を用いてフリップ・チップ上を移動させることができるため、窓が、検査すべきチップのターゲット領域と位置合わせされる。テスト中のフォトン集光を最大限行なうために、好ましい実施形態においては、冷却板 210 の各窓 235 の内部に液浸レンズが配置されている。液浸レンズは、たとえば特許文献 9、特許文献 10、および特許文献 11 に開示されたもの、または好適な他の液浸レンズであっても良い。しかし図示した実施形態においては、新しい両凸レンズを用いる。図 3 にこのレンズを詳細に示す。図 3 は、図 2 B の窓 235 の 1 つを拡大した領域である。

40

【0041】

特に、従来技術の液浸レンズが平坦な底面を有するのとは異なり、図 3 の液浸レンズは

50

凸状底面 385 を有する。凸状底面は、DUT との間の真空状態が回避されるために冷却板の横および縦方向の移動が容易になるという点で有利である。加えて、対象とする場所の上方に焦点面を配置することが容易になり、すなわち光軸をアライメントすることが容易になる。さらに、過剰な屈折率整合流体を、これが使用された場合に、集光することを補佐できる間隙が設けられる。

【0042】

両凸デザインの他の利点は、液浸レンズを DUT 内に最小限の力で「押し込む」ことができるために、液浸レンズと DUT との間でのエア・ギャップの形成が回避されることである。

【0043】

従来の平坦な半球では、エア・ギャップを回避することができず、押し込むために必要な力のはるかに大きいため、DUT を破壊することがある。

【0044】

図 3 に示される別の特徴は、液浸レンズ 370 の上面の中心に設けられたセンタ・マーキング 375 である。このようなマーキングは、使用する液浸レンズのタイプに拘わらず設けても良い。マーキングを行なうことで、集光光学部材 120 を液浸レンズ上方に速く正確に配置することができる。すなわち、集光光学部材 120 をある液浸レンズから他の液浸レンズへ移動させるときに、マーキングによって、集光光学部材の対物レンズをターゲットの液浸レンズに対して速く捕捉してアライメントすることが容易になる。

【0045】

テストの前に、集光光学部材を DUT のターゲット領域の上方に配置する必要がある。コントローラ 180 又は 181 を用いて冷却板を移動させて、ターゲット領域およびその近傍が露出されるように、窓の 1 つを概ね配置する。本システムを標準的な顕微鏡モードで配置する。すなわち照明源 130 を作動させてミラー 135 を挿入し、集光光学部材 120 からイメージャ 145 およびフォーカス 140 までの光路を形成する。イメージャ 145 による DUT のイメージングが、冷却板の適切な窓および集光光学部材を通して行なわれる。顕微鏡モードでの照明およびイメージングは、明視野モード、暗視野モード、または両方において行なうことができる。明視野および暗視野での照明およびイメージングの構成は、当該技術分野において知られているため、本明細書では説明しない。

【0046】

捕捉した像を用いることで、ターゲット領域の正確な場所が確認され、コントローラ 165 によって X-Y ステージが作動されて、集光光学部材が適切に配置される。また集光光学部材 120 の対物レンズが DUT のターゲット領域上にフォーカスされるように、オートフォーカス 140 を用いて Z アクチュエータが制御される。加えて、視野内の対象領域が、アパーチャ 170 を用いて規定される。

【0047】

[オートフォーカスの説明を付け加える必要性]

図 4 に、本発明の他の実施形態を示す。図 4 では、ナビゲーションおよびターゲット捕捉が、共焦点レーザ走査型顕微鏡 (LSM) 400 を用いて行なわれる。走査型顕微鏡に関する一般的な情報は、「ヘテロダイン干渉分光計およびデジタル・フィルタリングによる共焦点顕微鏡の普及 (Generalizing the Confocal Microscope via Heterodyne Interferometry and Digital Filtering)」: P. C. D. ホブス (P. C. D. Hobbs) および G. S. キノ (G. S. Kino)、ジャーナル・オブ・マイクロスコピー (Journal of Microscopy) Vol. 130、Pt. 3、1990、pp 245 - 264 および米国特許第 5,532,873 号明細書で見つけることができる。キノの本を参照して、ホブスは省いても良い。

【0048】

LSM 400 の動作は、赤外レーザ・ダイオード 405 を光源として作動させて、ミラー 435 を、レーザ・ダイオード 405 から DUT までの光路を完成させるように位置付

10

20

30

40

50

けたときに（実線像で図示する）、行なわれる。レーザ４０５からの光ビームを、走査器４３０を用いて走査する。走査器４３０は、たとえば音響光学偏向器（ＡＯＤ）または回転多面ミラーであっても良い。ＬＳＭ４００の動作を止めてフォトルミネセンスの検出ができるようにするために、レーザ・ダイオード４０５の動作を停止して、ミラー４３５を、ＤＵＴから検出器４５０までの経路を完成させるように位置付ける（破線像で図示する）。

【００４９】

レーザ・ダイオード４０５に加えて、ＬＳＭ４００は一般に、ダイオードからの光を集光して偏光子ミラー４２５および１／４波長板４１５上へ送るレンズ・システム４１０を備える。そして光は、対物レンズ・タレット４６５によって選択される対物レンズ４４５の１つに入る。本実施形態において例示するように、タレット４６５は、倍率が異なる３つの選択可能な対物レンズ４４５を保持している。しかし単一または他の複数の対物レンズの配置を設けても良い。そしてＤＵＴから反射された光は集光されて、偏光子ミラー４２５によって検出器４２０（たとえばビジコンまたはＩｎＧａＡｓ検出器）に向けて送られる。

10

【００５０】

２つの特有の特徴が、対物レンズ４４５とともに図示されている。収差補正リング４５５が、シリコンの厚み変化に対して補償するために設けられている。これは、チップの背面を通して観察する場合に、特に有利な特徴である。また固体液浸レンズ４６０が図示されている。前述の実施形態の場合と同様に、固体液浸レンズは両凸であっても良い。固体液浸レンズ４６０を用いて、最終的なターゲット・イメージングおよび効率的な放出光集光が可能になる。加えて、典型的な実施形態においては、「ピック・アンド・ブレース」システムを設けることで、液浸レンズ４６０を適切なターゲット場所に位置付けて降ろす。

20

【００５１】

図５に、ピック・アンド・ブレース・システムの一実施形態を例示する。具体的には、顕微鏡対物レンズ結合ハウジング５０５に、ハウジング５０５に対する気密な結合を可能にする調整可能なスリーブ５１０が設けられている。スリーブは液浸レンズ５６０上に配置されている。バルブ５１５がエア・ポンプに接続されて、液浸レンズ、スリーブ５１０、および対物レンズ・ハウジング５０５によって規定されるチャンバ５２０内の圧力制御ができるようになっている。圧力を下げれば、オペレータが真空力を用いてレンズ５６０をピックすることができる。レンズ５６０が適切なターゲット場所に配置されていれば、やはり圧力を制御することでフォーカシングを行なうことができる。さらに、結合対物レンズと液浸レンズとの間の距離を制御することで、デバイス上の層によって生じるデバイス厚みおよび収差の変動に対して補償することができる。またポンプを用いてチャンバ５２０内に高圧を形成することで、レンズとチップ表面との間の良好な表面接触を保証して、エア・ギャップを回避することができる。大気圧よりもわずかに高い圧力を両凸液浸レンズ上に形成すれば、薄くされたサンプル・ウェハがレンズに「巻きつく」ために、ウェハからの光の集光を増加できるとともに、高いＮＡおよび良好な結合を保証するＳＩＬとサンプルとの間の屈折率整合を低下させるギャップ（エア）（表面の不均一性が原因）を回避できることが、本発明者らによって見出されている。

30

40

【００５２】

図４に対物レンズ・システムと関連して例示される他の特徴は、活性デバイス冷却システム４４０の設置である。この特定の実施形態においては、マイクロ・スプレー冷却システムが設けられている。マイクロ・スプレー冷却システムは、図１０を参照して、より詳細に後述する。

【００５３】

発光検出を行なう場合、レーザ４０５をスイッチ・オフして、ミラー４３５を切り替えて破線像で示す位置にする。この位置では、ＤＵＴから放出されて集光された光が視野レンズ４６５に向けて送られ、像面に配置された機械化されたアパーチャ４７０によって視

50

野が規定される。そして視野レンズ４６５によって、像が検出器４５０上に投射される。ＡＴＥによって、所望のテスト・ベクトルがＤＵＴに与えられると同時に、同期信号がシステム・コントローラと検出器エレクトロニクスとに与えられる。こうして発光（事象）が検出されたときに、同期信号に対する相対的な「到着」時間を記録することで、ＤＵＴの性能のタイミング解析を行なうことができる。

【００５４】

ノイズを低減することができる本発明の別の特徴は以下の通りである。図１の実施形態に関して述べたように、システム・コントローラはＡＴＥから同期信号を受け取る。そのため対象とする各デバイスに対して、システム・コントローラは、発光事象がいつ予想されるのかを「知っている」。したがってシステム・コントローラは、発光が予想される所定の時間まで、発光検出器をオフの状態に保つ。その時間になったら、発光検出器を、所定の時間の間ターン・オンする。検出器がフォトン放出誘導による事象を検出したときに、事象の到着時間を記録して記憶する。具体的には、一実施形態によれば、タイマをテストの開始時にスタートさせ、ＡＴＥからの同期信号に対するフォトンの到着時間を、タイマを用いて計る。他の実施形態によれば、検出器をターン・オンする時間を記録して、タイマをその時間にスタートさせる。こうしてフォトン到着時間を、検出器がターン・オンされた時間に対して観察する。図６～図８に、本発明の実施形態の種々の動作モードを例示する。図６では、本システムが、光源７０５を用いたナビゲーション用にセットアップされている。光源７０５は点灯している状態が図示されている。他方で、光源７７１はターン・オフした状態が示されている。機械化されたミラー７２５が、光源７０５から対物レンズ７４５までの経路内に配置されている。視野レンズ７６５と機械化されたアパーチャ７７０とが、像面に配置されて、後ろ側から照射されている。したがって視野サイズを、アパーチャ７７０を用いて選択することができる。そしてＤＵＴからの反射光が、ダイクロイック・ミラー７２７によってカメラ７２８へ送られる。いったん適切な像が捕捉されて、対象領域が視野内で分離されたら、本システムを、図７に示すセットアップに再構成する。

【００５５】

図７に示すように、光源８０５をターン・オフする一方で、光源８７１をターン・オンする。さらに、機械化されたミラー８２５および８９５を回転させて、光路の外へ出す。アパーチャ８７０によって視野が選択されているため、その視野内で光ファイバを適切に動かすことによって、視野内の一部をイメージングすることができる。このようにして光ファイバを、選択した視野内の小さな領域のみをイメージングするように配置することができる。像はカメラ８２８によって、高い空間分解能で記録される。そして本システムを、図８に示したセットアップに再び再構成する。

【００５６】

図８では、両方の光源がターン・オフされている。さらに、ミラー９９５を回転させて光路内に入れることで、入射光を集光光学部材９９６に向けて反射させる。この特定の実施形態においては、ミラー９２７を回転させて外に出すことで、カメラ９２８も光路の外に出されている。この位置においては、ＤＵＴを刺激してデバイス発光が起きたときに、放出光が液浸レンズおよび対物レンズによって集光されて、光ファイバ９９０を介して集光光学部材９９６上へ送られ、そこから検出器９９８上へ送られる。

【００５７】

図９に、前述したどの実施形態のどの対物レンズにおいても使用できる顕微鏡対物レンズのクラッシュ保護システムを例示する。図示したように、対物レンズ１２００に絶縁リング１２１０が設けられており、絶縁リング１２１０の上には導電性カラー１２２０が取り付けられている。導電性カラーは、たとえば３ボルトに電氣的にバイアスされている。フレキシブルな絶縁リング１２３０が導体リング１２２０の周りに設けられており、導電性シールド１２４０がフレキシブルなリング１２３０に取り付けられている。導電性シールド１２４０は接地されているため、電圧印加されたカラー１２２０によって生じる静電放電ＥＳＤからＤＵＴをシールドしている。ブロック矢印が示すように、対物レンズがＤ

U Tに向かって移動するか、または横向きにD U T上のデバイスに向かって移動すると、破線の丸によって例示されるように、シールドが、電圧印加されたカラーを圧迫する。それが起きると、導電性カラーも接地されることになって、その電位が接地まで落ちる。これは電圧計 1 2 5 0 によって検出されて、警報装置 1 2 6 0 が作動する。

【 0 0 5 8 】

図 1 0 に、本発明の一実施形態によるマイクロ・スプレー冷却を例示する。具体的には、D U T 1 1 1 5 がテスト・アダプタ 1 1 0 0 に、当該技術分野において良く知られた方法で取り付けられている。チャンバ 1 1 3 0 がテスト・アダプタ 1 1 0 0 に押し付けられて、Oリング 1 1 1 0 を用いたシールが形成されている。対物レンズ 1 1 2 5 にスプレー・ハウジング 1 1 4 0 が取り付けられており、対物レンズ 1 1 2 5 はチャンバ 1 1 3 0 内に、シールドされた状態で挿入されている。そしてポンプ 1 1 6 0 を用いて、間隙 1 1 3 5 内の圧力を低下させる。これを行なうのは、間隙 1 1 3 5 内の沸点を下げるためであり、すなわち間隙 1 1 3 5 内の圧力を変えることで、間隙 1 1 3 5 内の沸点を可変に制御することができる。低下させる圧力レベルは、使用する冷却流体の特性および所望する沸点にもとづいて計算できることを理解されたい。

10

【 0 0 5 9 】

次にポンプ 1 1 6 5 を用いて、冷媒を配管 1 1 4 5 を通して汲み出して、D U T 上に導入する。この実施形態は特に有利であることを理解されたい。まず、冷却は下から行なわれるので、過剰な流体はD U Tから排出される傾向がある。さらに、S I L 1 1 2 0 を用いているために、D U Tのイメージング部分に到達する流体はまったくない。そのため、スプレー冷却によって像の歪みが生じることはまったくない。またジェットが垂直である従来のスプレー冷却とは反対に、典型的な実施形態においては、スプレー冷却が、イメージング作業ができるように、ある角度をなしている。

20

【 0 0 6 0 】

冷却流体は、D U T 1 1 1 5 上にスプレーされると、間隙 1 1 3 5 内で蒸発する。そして蒸気はチャンバ 1 1 3 0 の壁上で凝縮して、通路 1 1 7 0 を通って流れて、ポンプ 1 1 6 5 まで戻る。次に流体を、D U T 上に再びスプレーする前に、熱交換器 1 1 5 0 内に循環しても良い。この例では、スプレー圧力がD U Tの温度に基づいて可変制御されるため、D U Tの所望温度が維持される。あるいは、適切な冷却レベルを維持するように、スプレーを脈動させて負荷サイクルを変えることができる。

30

【 0 0 6 1 】

対物レンズを交換するためには、スプレーを停止して、残っている液体を汲み出す。そして減圧状態を、たとえばバルブ 1 1 7 5 を用いて破って、対物レンズを交換する。対物レンズが異なるとサイズおよび形状が異なる場合があるため、各対物レンズに独自のハウジング 1 1 4 0 を取り付けても良いし、単一のハウジング 1 1 4 0 に対するアダプタを用いても良いことを理解されたい。さらに、配管 1 1 4 5 が単純にスプレー出口として終端しても良いし、特別なスプレー・ヘッドを配管 1 1 4 5 の端に取り付けても良いことを理解されたい。

【 0 0 6 2 】

このシステムを用いることで、D U Tの温度を変えて、その動作特性を種々の温度条件の下でテストすることができる。たとえばオペレータは、D U Tをテストするために特定の動作温度を入力しても良い。D U Tの実際の温度は、D U T近傍の適切な位置に配置されたデバイス（すなわち熱電対）によって検出されるか、またはD U T内に埋め込まれた適切なデバイスを通して取得され、そしてA T Eを通して当該技術分野において知られる方法で読み取られる。たとえば温度ダイオードをD U T内に埋め込んで、その信号をA T Eに送っても良い。これは従来、安全性の理由により、すなわちD U Tが熱くなり過ぎたらシステムを停止させるために、行なわれている。しかし本発明のこの実施形態によれば、D U Tの温度がA T Eからコントローラ 1 8 0 へ送られる。実際のD U T温度を用いることで、コントローラ 1 8 0 は、冷却レート（たとえば液体圧力、流量、キャビティ圧力など）を調整して、オペレータが選択した温度においてD U Tが動作するようにする。冷

40

50

却レートを制御するために、コントローラ 180 は、冷却流体スプレイのレートを調整しても良いし、またはチャンバ内圧力を変えて冷却液体の沸点を変えても良い。

【0063】

最適な冷却を得るためには、異なるスプレイ・ヘッドからのスプレイが互いに交差するのを避けることが有利である。これは種々の方法で実現することができる。たとえば種々のスプレイ・ヘッドを同期させてパルス化することで、それらのスプレイが互いに交差しないようにできる。あるいは、バッフルまたはバリア（要素 1111 によって図示される）を設けることで、交差スプレイを防ぐことができる。

【0064】

図 11 に、本発明のさらに他の実施形態を示す。図 11 の実施形態は、対象とするデバイスを示すことができる「レーザ・ポインタ」の特徴を備える。ナビゲーションの間は、光源 1250 を作動させ、ミラー 1255 を回転させて破線位置にし、ハーフ・ミラー 1220a を例示した位置に配置することで、DUT を照明する。そして DUT から反射された光をハーフ・ミラー 1220a を通過させて、イメージャ 1210 によってイメージングする。DUT 上の対象領域の像がいったん得られたら、ミラー 1265 を回転させて破線位置にし、ミラー 1255 を回転させて実線位置にする。そしてレーザ源 1260 を作動させて、レンズ 1270 を通るレーザ・ビームを形成して、DUT を照明する。DUT から反射されたレーザ光は、イメージャ 1210 によって、比較的小さい「レーザ・ポインタ」像としてイメージングされる。そして対象とするデバイスを「レーザ・ポインタ」が示すまで、ステージを駆動することができる。いったんそれが実現したら、レーザ源 1260 をターン・オフし、ミラー 1265 を回転させて実線位置にし、ソリッド・ミラー 1220b を回転させて、ハーフ・ミラー 1220a が以前占めていた光路に入れる。この位置においては、検出器 1280 の経路が、「レーザ・ポインタ」が以前照明した同じデバイス上に位置合わせされるため、その発光テストを行なうことができる。

【0065】

図 12 に、位置合わせされたデュアル・レンズ配置を有する本発明のマイクロ・スプレイ冷却の別の実施形態を示す。簡単にするために、2つのレンズ 1324 および 1325 だけを図示するが、より多くの対物レンズを用いても良い。図示するように、各対物レンズは、独自のマイクロ・スプレイ・チャンバを有する。各チャンバは、独自のポンピングおよび冷却機器を有していても良いが、各チャンバからの配管を共通のポンピングおよび冷却機器に、適切なバルブを用いて接続しても良い。各チャンバ内の対物レンズは互いに正確に位置合わせされている。そのためターゲット・デバイスが、ある対物レンズを用いて捕捉された場合、その位置合わせを用いたコントローラによってステージを移動させて、捕捉されたターゲット・デバイス上に別の対物レンズを位置付けることが、容易にできる。

【0066】

本発明を、特定の実施形態を参照して説明してきたが、これらの実施形態に限定されるものではない。すなわち添付の特許請求の範囲によって規定される本発明の趣旨および範囲から逸脱することなく、当業者によって種々の変形および変更が行なわれても良い。さらに、前述した従来技術の参考文献はすべて、本明細書において参照により取り入れられている。

【符号の説明】

【0067】

100、520、1130 ... チャンバ
105 ... 自動テスト機器
110、260 ... DUT
115 ... テスト・ベンチ
120、685、996 ... 集光光学部材
124 ... テスト・ヘッド
125 ... アダプタ

10

20

30

40

50

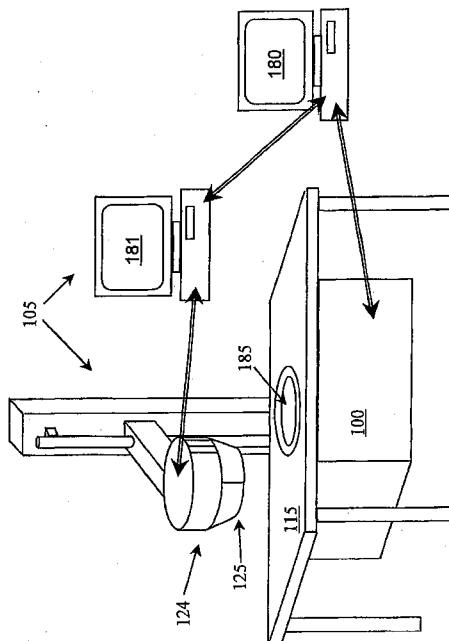
1 3 0、6 0 5 ... 照明源	
1 3 5、4 3 5、6 2 5、6 9 5、7 2 5、8 2 5、9 2 7、9 9 5、1 2 5 5、1 2 6 5 ... ミラー	
1 4 0 ... フォーカシング・システム	
1 4 5、1 2 1 0 ... イメージャ	
1 5 0、4 2 0、4 5 0、6 9 8、9 9 8、1 2 8 0、1 4 5 0 ... 検出器	
1 5 5 ... 高速データ取得エレクトロニクス	
1 6 0、1 6 0 ' ... 偏光子ミラー	
1 6 2 ... 波長板	
1 6 5 ... ビーム・スプリッタ・ミラー	10
1 7 0、4 7 0、6 7 0、7 7 0、8 7 0 ... アパーチャ	
1 7 5 ... ステージ	
1 8 0、1 8 1 ... コントローラ	
1 8 5 ... 開口部	
1 9 0 ... Zアクチュエータ	
1 9 5、4 6 5、7 6 5 ... 視野レンズ	
2 1 0、2 2 0 ... 冷却板	
2 3 5 ... 窓	
2 4 0 ... 出口	
2 5 0 ... 入口	20
2 6 5 ... 周辺デバイス	
2 8 0 ... Yアクチュエータ	
3 7 0、4 6 0、5 6 0 ... 液浸レンズ	
3 7 5 ... センタ・マーキング	
3 8 5 ... 凸状底面	
4 0 0 ... 共焦点レーザ走査型顕微鏡	
4 0 5 ... 赤外レーザ・ダイオード	
4 1 0 ... レンズ・システム	
4 1 5 ... 波長板	
4 3 0 ... 走査器	30
4 4 0 ... 活性デバイス冷却システム	
4 4 5、6 4 5、6 7 2、6 9 6、7 4 5、1 1 2 5、1 2 0 0 ... 対物レンズ	
4 5 5 ... 収差補正リング	
4 6 5 ... 対物レンズ・タレット	
5 0 5 ... 対物レンズ・ハウジング	
5 1 0 ... スリーブ	
5 1 5、1 1 7 5 ... バルブ	
6 2 7、7 2 7 ... ダイクロイック・ミラー	
6 2 8 ... カメラ	
6 3 0 ... 軸	40
6 6 5、1 2 7 0、1 3 2 4 ... レンズ	
6 7 1、7 0 5、7 7 1、8 0 5、8 7 1、1 2 5 0 ... 光源	
6 9 0、9 9 0 ... 光ファイバ	
6 9 7 ... マイクロ・クーラ	
7 2 8、8 2 8、9 2 8 ... カメラ	
1 1 0 0 ... テスト・アダプタ	
1 1 1 0 ... Oリング	
1 1 1 5 ... D U T	
1 1 2 0 ... S I L	
1 1 3 5 ... 間隙	50

- 1 1 4 0 ... スプレイ・ハウジング
- 1 1 4 5 ... 配管
- 1 1 5 0 ... 熱交換器
- 1 1 6 0、1 1 6 5 ... ポンプ
- 1 1 7 0 ... 通路
- 1 2 2 0 ... 導体リング
- 1 2 2 0 a ... ハーフ・ミラー
- 1 2 2 0 b ... ソリッド・ミラー
- 1 2 3 0 ... 絶縁リング
- 1 2 4 0 ... 導電性シールド
- 1 2 6 0 ... レーザ源
- 1 4 0 0 ... A T E
- 1 4 2 0 ... トリガリング回路
- 1 4 3 0 ... 遅延回路
- 1 4 4 0 ... ゲート回路
- 1 4 6 0 ... 捕捉回路
- 1 4 7 0 ... クエンチ
- 1 5 0 0 ... ピコセカンド・タイミング・アナライザ
- 1 5 1 0 ... 時間デジタル変換器
- 1 5 2 0 ... マルチチャネル・アナライザ

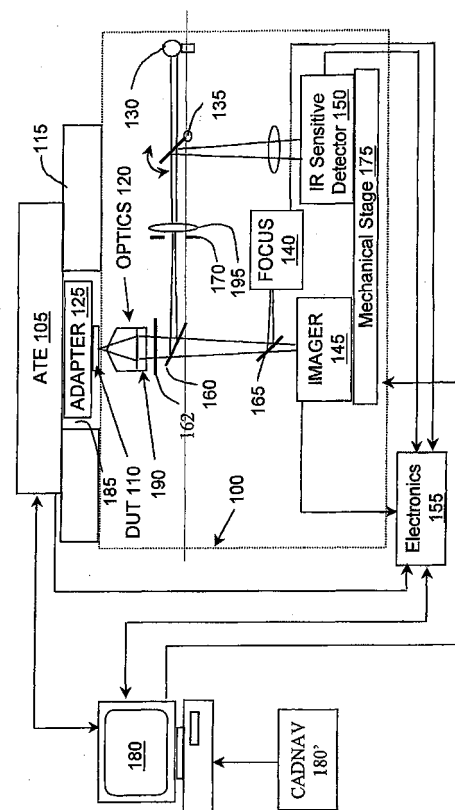
10

20

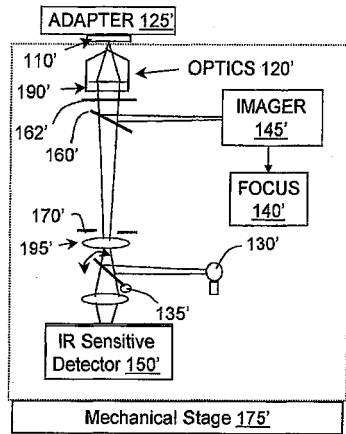
【図 1 A】



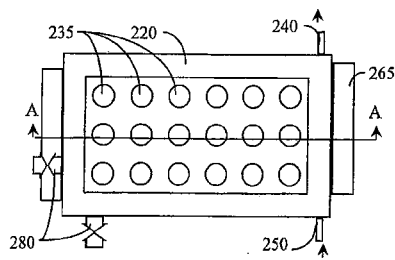
【図 1 B】



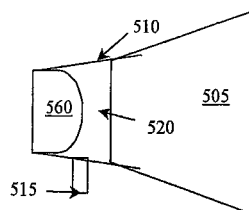
【図 1 C】



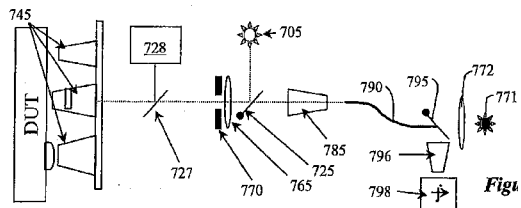
【図 2 A】



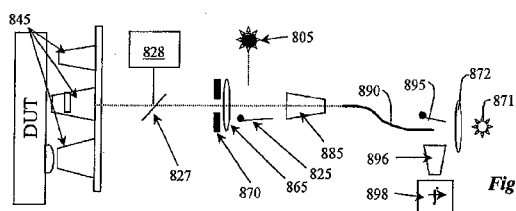
【図 5】



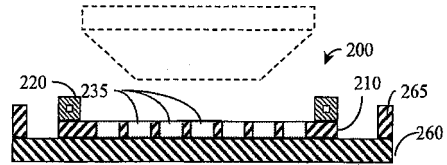
【図 6】



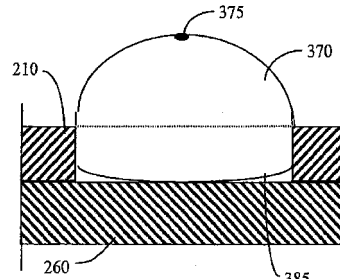
【図 7】



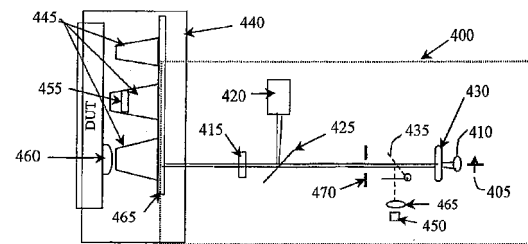
【図 2 B】



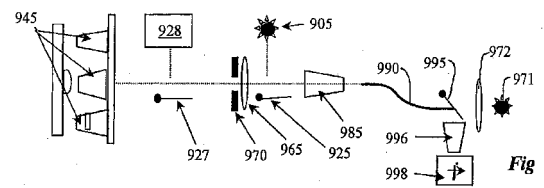
【図 3】



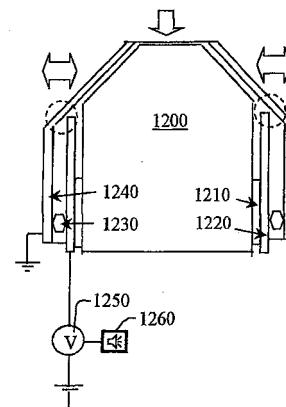
【図 4】



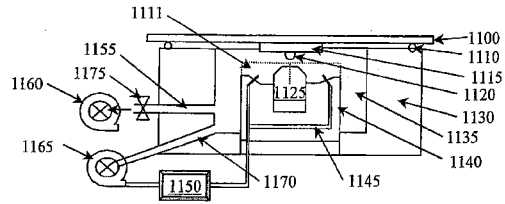
【図 8】



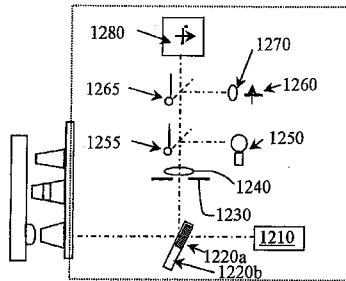
【図 9】



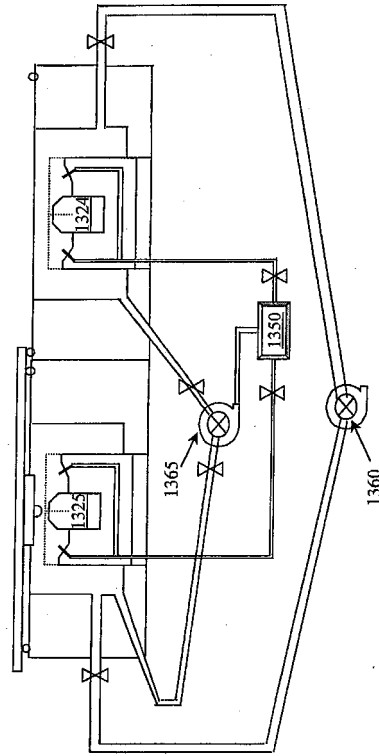
【図 10】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

(72)発明者 ネイダー パクダマン

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 0 3 0 ロスガトス ヴィラストリート 1 6 7 ユニッ
ト 1 3

(72)発明者 ジェームズ スクイア ヴィッカーズ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 2 5 サンノゼ コーストラインアベニュー 2 0 0 2

(72)発明者 トーマス ウォン

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 0 2 5 メンロパーク ヘッジロード 2 7 5

Fターム(参考) 2G132 AA00 AD07 AF14 AG01 AL09 AL11

4M106 AA01 AA02 BA04 BA08 BA14 CA18 DH13 DH31 DH45 DH46