

次世代SWIRカメラを用いたシリコン検査

マーク・ドナヒー

短波赤外(shortwave infrared : SWIR)カメラは、シリコンが光を透過するスペクトル領域で動作するため、ウエハ裏面の検査が可能である。

半導体業界は、世界で最も大規模で重要な業界の1つに成長している。シリコンは、メモリチップ、コンピュータプロセッサ、トランジスタや、私たちのすべてに日常的に影響を与える、ほぼすべてのエレクトロニクス製品のビルディングブロックである。シリコンは非常に特殊な性質を備えている。最も顕著な点は、半導体であり、条件によって電気を通す場合と、絶縁体として機能する場合があることだ。シリコンは、ドーピング(添加)という処理によって電気特性を改変できるため、トランジスタに理想的な材料である。

シリコン製造は、全工程に6~8週間を要し、非常に特殊な半導体ファウンドリ(ファブ)で行われる。シリコン検査(図1)は、パターンの位置合わせ、パターンの欠陥検査、エッジ位置の接合検査という点で、シリコンと半導体のメーカーにとって難しい問題になり得る。製造工程中には、異物や欠陥がウエハの上面、裏面、内部、またはウ



図1 シリコンウエハ検査の様子。

エハとウエハの間に現れる可能性がある。また、ウエハがますます薄くなるにつれて、裏面の欠陥の検出がますます重要になっている。これには、エアポケット、微小亀裂、フォトニック発光に起因するその他の微細形状が含まれる。欠陥は、最初のうちはチップの機能に影響を与えないが、最終的には、チップの信頼性に影響を与えることになる。信頼性は、クリティカルなデバイスにおいて重要な要素である。品質管理は、シリコンメーカーにとって何よりも重要である。

カメラに基づく検査

シリコン表面検査には従来、CCDカメラとCMOSカメラが用いられてきた。これらのカメラに搭載されるシリコンセンサは、350~1000nmの波長範囲に対応する。ディープデプレッションのデバイスは、シリコンのエレクトロルミネッセンスやフォトルミネッセンスによる最も短い発光波長を確認できるだけの高い量子効率(Quantum Efficiency: QE)を備え、シリコンのバンドギャップを上回るエネルギー遷移を伴う光子放射を観測することができる。しかし、そのようなデバイスには長い蓄積時間が必要で、バンド間発光が最も強くなる1100nmを超える領域のバンド間発光は観測できないため、オフラインの前面検査にしか使用することができない。

短波赤外(SWIR)への移行

シリコンには、1150nmを超える波長を透過するという興味深い性質がある。これにより、InGaAs(インジウム・ガリウム・ヒ素)ベースのカメラは、ウエハ接合工程のモニタリングに対して非常に興味深い存在となっている。SWIRで観測すると、純粋なシリコンは室温において透明だが、高濃度でドーピングされたシリコンは、室温の上昇(200°C以上)とともにますます不透明になっていくためである。この性質に基づき、2次元焦点面アレイ(Focal Plane Array : FPA)のInGaAsカメラは、ウエハの欠陥、パーティクル(微小粒子)、ボイド(気泡)や、接合された2枚のウエハの間のその他の欠陥の検出に理想的である(図2)。

InGaAsベースのカメラは、900~1700nmの範囲の光を検出することができる。化学的不純物、物理的欠陥、ディープトラップに関連するサブバンドギャップ発光や、その他の再結合中心は、観測できない。裏面解析(ウエハ前面からの光子放射を妨げる多層金属を使用する場合に必要)には、シリコン基板に光を貫通させる必要がある。

InGaAsカメラはフィルタを使用することにより、ウエハが光を透過する領域のみに、検出波長範囲を制限することができるため、ウエハ検査やエッジ位置接合、ウエハ位置合わせマーク、微小亀裂、エッジ亀裂検査、光子放射、

その他の微細形状のイメージングに理想的である。

SWIRカメラは、インゴット成長後の純粋な半導体材料(一般的にはシリコン)の品質検査に使用できる。また、その後ウエハを作成するために切断されるインゴットについても、同じようにして欠陥や亀裂を検査することができる。インゴットを加工してウエハを作成するとき、ブリックやインゴットの中の不純物は、製造装置に損傷を与える可能性がある。ウエハはその後、オプトエレクトロニクスやエレクトロニクスのデバイスに加工される。半導体デバイスの場合、最後の工程は、ウエハを個々のチップに切断する処理で、ここでも、のこぎり刃やレーザーの位置合わせにSWIRカメラが使用される。SWIRカメラは、封止検査、気泡や割れ目の検出、デバイスの欠陥検査、限界寸法(Critical Dimension: CD)やオーバーレイの測定を行うことによって、MEMS製造の歩留まりの改善にも利用することができる。ウエハ製造とデバイスチップ化の技術を組み合わせた手法である、ウエハレベルパッケージング(Wafer Level Packaging: WLP)では、複数の品質評価処理にSWIRカメラを使用することができる。

SWIR光子放射顕微鏡法(Photon Emission Microscopy: PEM)は、マイクロエレクトロニクスの故障解析のための、確立された受動的な欠陥位置標定手法である。光子放射は、電子がエネルギーの高い状態から低い状態へと遷移するとき発生する。差分エネルギーのすべてまたは一部が、電磁波として放出される。欠陥からの光子放射は、順方向及ぶ逆方向バイアスを印加したpn接合、飽和状態のトランジスタ、または絶縁破壊に、一般的に関連付けられる。

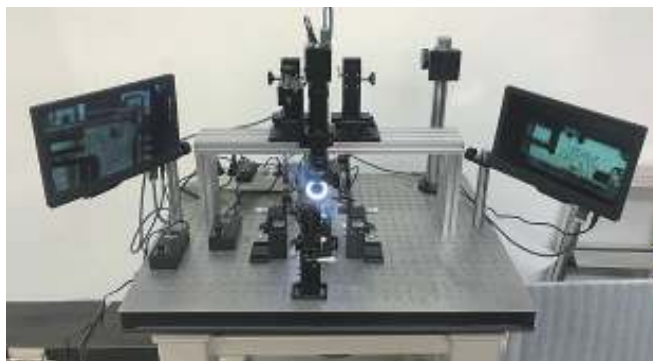


図2 ウエハ検査システムに組み込まれた、ラプターフォトニクス社の「Vis-SWIR」カメラ。

InGaAsカメラは、すべて同じにあらず

SWIRカメラは、30年以上前から存在する。この歳月の間に、センサの品質と感度は大幅に改善され、解像度は高まり、ピクセルピッチは小さくなり、露光時間を長くできるように冷却が導入された。カメラは小型化が進み、高速実行が可能になっている。シリコン検査業界にとって最も興味深いのは、最も小さいサイズの欠陥を捉え、最も高速なフレームレートで動作し、最も広い視野で撮影を行うものである。

24時間年中無休体制の製造ラインで稼働するカメラにはそれ以外にも、非常に信頼性が高く、堅牢で、コンパ

クトであることが求められる。計測器に組み込まれたカメラは温度が上昇するため、一貫した結果を得るには、安定した冷却機構が必要である。その他の重要な検討項目としては、解像度とピクセルサイズ、より多くの検査対象シリコンをとらえるための広い視野、スループットを上げるための高速なフレームレートなどがある。ラプターフォトニクス社(Raptor Photonics)の「Owl 1280」などのInGaAsカメラは、そうした機能をすべて備える上に、検出波長範囲が拡張されていて600~1700nmのイメージングが可能で、基本的に2台のカメラシステムの代わりに使用することができる。このカメラは既に、多数のOEMのシリコン検査システムに組み込まれている。

シリコン検査は、半導体業界に不可欠な工程となっている。目的が、シリコンウエハや太陽光発電パネルの亀裂や欠陥の検出(図3)であるか、集積回路の故障解析であるかにかかわらず、欠陥検出は、歩留まりや全体的な生産性の向上につながる。InGaAsカメラは、ますます重要な実現手段になりつつある。



図3 太陽光発電所の太陽光発電(PV)パネルを検査するドローンに搭載されたVis-SWIRカメラ。

著者紹介

マーク・ドナヒー(Mark Donaghy)は、アイルランドのラプターフォトニクス社(Raptor Photonics)のセールス及ぶマーケティング担当副社長。e-mail: mailto:mdm@raptorphotonics.com URL: raptorphotonics.com