

Micro-LEDの光学測定評価事例

評価事例

- ① PL 検査 (UV 照射)
- ② EL 検査 (ダイ評価)
- ③ セル面内サブピクセルの個体バラつき評価
- ④ セル面内ムラ評価
- ⑤ 色変換方式の混色による漏れ光測定
- ⑥ サブピクセル面内ザラつき評価

付録・用語集

はじめに

LCD(液晶)やOLED(有機EL)に続く次世代ディスプレイとして、マイクロLED、量子ドット(QD)ディスプレイ等の開発が盛んに行われています。

既存のLEDに比べてチップサイズを100 μm 以下やnmレベルまで微細化することで、従来のLCDやOLEDディスプレイを凌駕する性能を持つディスプレイを多くの研究機関や企業で積極的に開発されています。高色再現性で高精細なマイクロLEDは、今後の市場拡大が見込まれるAR(拡張現実)/VR(仮想現実)/MR(複合現実)/SR(代替現実)、車載用ヘッドアップディスプレイ(HUD)やマイクロプロジェクタ、スマートウォッチなど、新しいアプリケーションにも最適なデバイスとされています。

●LEDチップ測定の変化

これまでのLEDチップでは管理単位として光束(lm)や光度(cd)、色度、色温度、ピーク波長などを使用し、測定には積分球と分光計測器を組み合わせる方式が一般的に採用されてきました(Fig.1)。

しかしマイクロLEDはチップが非常に小さいため、積分球に設置する際の位置合わせが非常に難しいのが難点となっています。

またマイクロLEDを搭載するデバイスはディスプレイなどを想定しているため、LCDやOLEDといったパネル評価と同様に輝度(cd/m²)や色度で評価する必要があります。

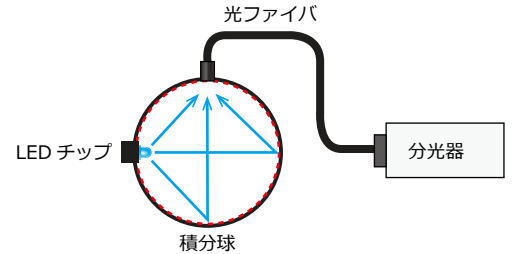


Fig.1 一般的なLED測定

●マイクロLEDの製造の流れ(Fig.2)

マイクロLEDは微細なためLEDダイをウェハから基板に配置する移載プロセス(マストランスファ)が非常に難しく、セルに組み込んだあとの評価では不具合ダイの切り出しや焼き切りなど、修理コストが増大してしまいます。

ウェハレベルでフォト・ルミネッセンス(PL)検査やエレクトロ・ルミネッセンス(EL)検査を行い、ダイの選別が行えるようになれば、歩留まり向上と低価格につながります。

LEDダイを配置したあとのセル評価ではLEDダイの個体差バラつきや、面内の波長・発光強度の均一化など、製品特性に直結する光学特性評価も重要です。

以下にマイクロLEDにおける開発・設計及び量産時の評価として最新の測定事例を以下に示します。

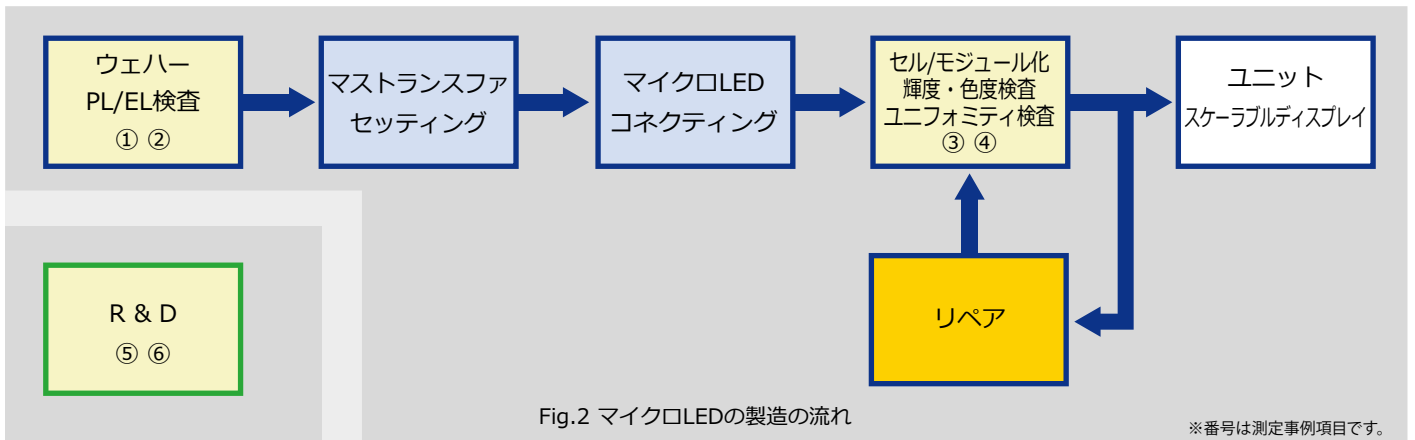


Fig.2 マイクロLEDの製造の流れ

※番号は測定事例項目です。

① PL検査(ダイ評価)

輝度

ウェハ上にUV光を照射すると、表面の色変換が発生します。この特性を利用して、表面の傷検査や成膜ムラの検出で面内素材不均一性を判断します。

高解像度のCCDカメラを使用した相対的な反射強度や、2次元タイプの輝度計を使用して反射輝度の測定を行います(Fig.3)。

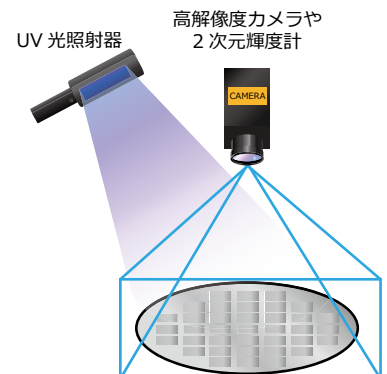


Fig.3 PL検査

② EL 検査 (ダイ評価)

主波長

ピーク波長

放射輝度

一般的にマイクロ LED のダイを評価する際には積分球を発光面に設置して、光ファイバー経由で分光器を用い計測することで、分光スペクトルやピーク波長を計測する評価方法があります (Fig.4)。ただし、ダイサイズが小さくなっているため位置合わせが難しく、また一点一点の発光点にあわせて個別に測定を行わなければならないため、評価に数十時間と非常に長い時間を要します。例えば 6 インチウエハ上の 1 万ダイ以上を検査した場合、積分球を使用したスポット検査に対し 2D 分光放射計 SR-5100 シリーズを用いることで 14 分割で 1/12 程度の時間で検査することが可能です (Fig.5)。

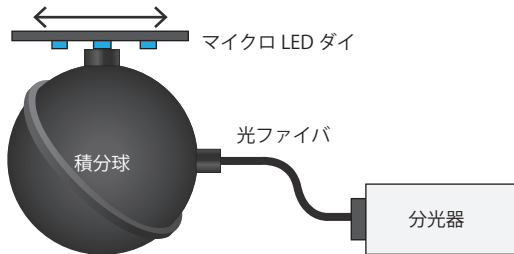
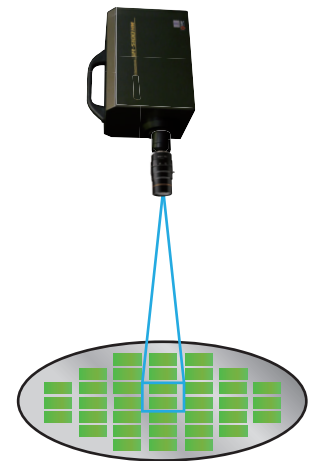


Fig.4 EL検査



チップウエハ (6 inch)
Fig.5 SR-5100 EL検査イメージ

③ セル面内サブピクセルの個体バラつき評価

輝度

色度

ピーク波長

角度特性

マイクロ LED ダイをマストランスファし発光モジュール化したセルでは光学測定評価を LCD や OLED 等のディスプレイパネルと同じ方法で行うことが多いです。

しかし、マイクロ LED セルは従来のディスプレイよりさらに小さいため 2D 分光放射計 SR-5100 のマクロタイプの測定サイズでは画面全体を一括観測することが困難でしたが、ズームレンズなどを使用し画角を広げることで、セル全体の発光状況の確認を行うことができます (Fig.6)。

発光点を自動検出しスポット化ができるアプリケーション機能を使うことでセル面内のサブピクセルに対して、輝度・色度・分光スペクトルを一括測定することが可能です。LED の個体差によるサブピクセルのバラつきが、マイクロ LED ディスプレイへの性能へ与える影響を評価することができます (Fig.7~9)。

他にも LED の指向性から発する角度特性が発光のムラに影響する場合があります、複数角度に設置した輝度計による同時検査で視野角特性を評価することができます (Fig.10)。

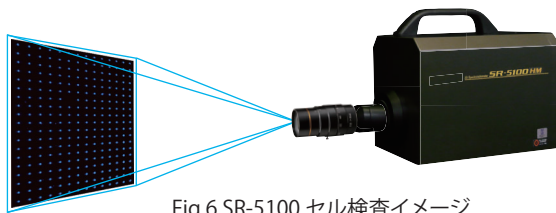


Fig.6 SR-5100 セル検査イメージ

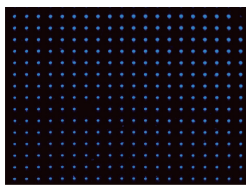


Fig.7 RGB表示

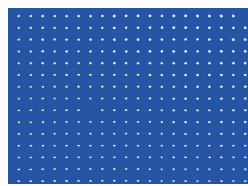


Fig.8 輝度疑似カラー表示

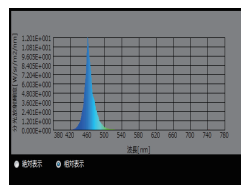


Fig.9 分光スペクトル

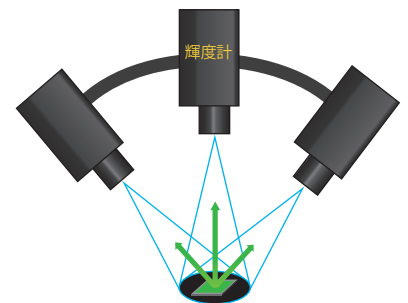


Fig.10 角度特性評価

④ セル面内ムラ評価

輝度

色度

分光スペクトル

ピーク波長

主波長

ユニフォミティ

LED の発光セル全体の均一性を計測する場合、従来のスポット測定方式の分光放射計では複数ポイントを測定する必要がありました。マイクロ LED は一般的な LCD や OLED に比べて半値幅が狭いことから色域が広く、よりリアルな映像表現が可能になっています。それに伴って計測器のニーズも変化しており、より高精度で高機能な計測器が求められるようになってきました。

これに対して一般的な XYZ 受光器を搭載した 2 次元計測器でユニフォミティ評価 (Fig.11) は可能ですが、輝度や色度の絶対値を正確に測定できず、誤差が大きくなる場合があります、また分光方式ではないため発光スペクトル波長のバラツキなどの問題点を見出すことはできません。

全面で分光測定を行うことができる 2D 分光放射計 SR-5100 シリーズを使用することで、面内の輝度や色度の不均一性評価を高い精度で行えるのに加えて、多点での分光スペクトルデータやピーク波長、主波長などの高精度な評価が可能です (Fig.12,13)。

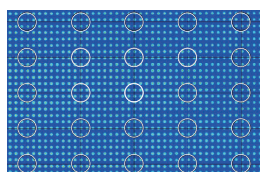


Fig.11 ユニフォミティ評価

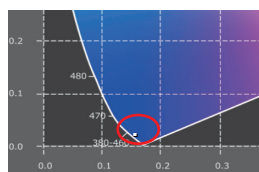


Fig.12 色度座標

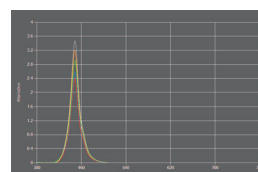


Fig.13 多点分光スペクトル

⑤ 色変換方式の混色による漏れ光測定

輝度

色度

分光スペクトル

主波長

刺激純度

色変換方式はマイクロサイズの青色 LED や UV-LED に QD や蛍光体を使用し発光する色が変わることで RGB を表示する技術です。青色 LED に QD や蛍光体を使用した場合、QD や蛍光体の粒子同士の隙間から青色が漏れ (Fig.14)、G (緑) や R (赤) を発光させたときに青色の分光出力が発生する場合があります、これが混色の原因となります。(Fig.15)。

この混色に起因する色度の変化が、色域に大きく影響する場合があります (Fig.16)。漏れ光による混色はマイクロ LED ダイの一部箇所に発生するため、検証には2次元で分光スペクトルの測定が可能な 2D 分光放射計 SR-5100 シリーズと金属顕微鏡を組み合わせた測定が有効です。XYZ タイプでは測定できません。

混色の箇所を検証評価する場合、2D 分光放射計 SR-5100 と 20 倍の金属顕微鏡の対物レンズを使用する (Fig.17) ことで、 0.5mm の面積を 500 万ポイント ($0.17\mu\text{m}/\text{Pixel}$) での測定を行い、ダイのサブピクセル内での輝度・色度・スペクトルのバラツキ評価を行うことが可能です。

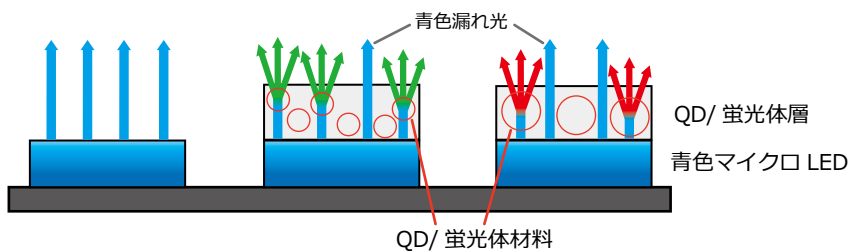


Fig.14 色変換方式の漏れ光

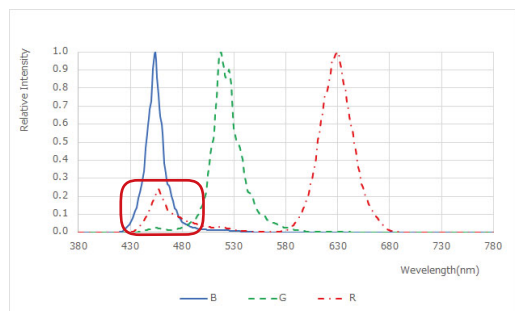


Fig.15 混色時の分光スペクトル

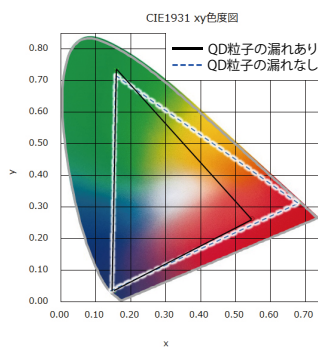


Fig.16 混色による色誤差



Fig.17 SR-5100+金属顕微鏡

⑥ サブピクセル面内ザラつき評価

輝度

色度

分光スペクトル

主波長

刺激純度

マイクロ LED 製作時のウェハー成膜時に成膜ムラがあった場合、ダイのピクセル内にザラとよばれるザラつきが発生します (Fig.18)。このザラの発生によりダイのピーク波長や輝度が影響を受けますが、マイクロ LED ダイの輝度は非常に高いため、顕微鏡での目視では確認しづらい場合があります。そこで 2D 分光放射計 SR-5100 と金属顕微鏡を使用することで面内の輝度均一性の視認性が向上 (Fig.19)、さらに複数ポイントの一括指定で輝度や色度、分光スペクトルなどの比較・評価も行うことができます (Fig.20,21)。

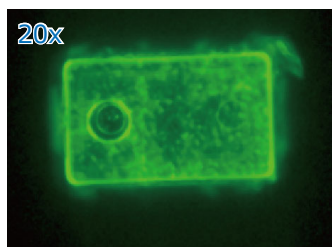


Fig.18 RGB表示

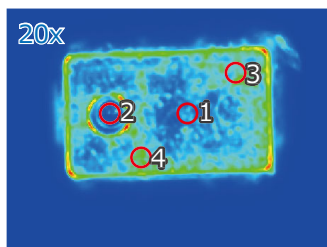


Fig.19 輝度疑似カラー表示

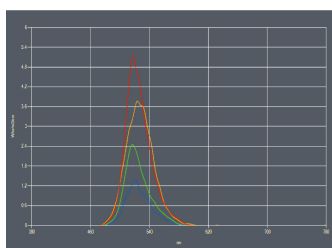


Fig.20 分光スペクトル

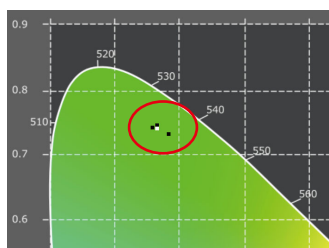


Fig.21 色度座標

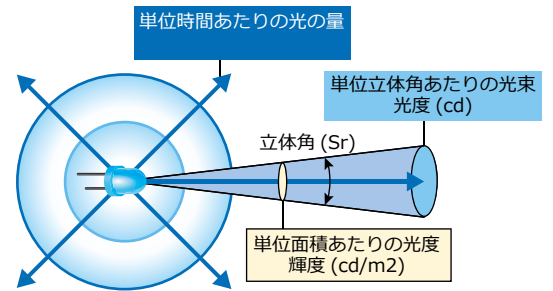
付録・用語集

・光計測の単位

光が電磁波として広がる放射量としてあらゆる方向に単位時間あたり出力する光を放射束、特定の方向に単位立体角あたりに出力する光を放射強度、単位面積あたりに出力する放射強度を放射輝度と表します。

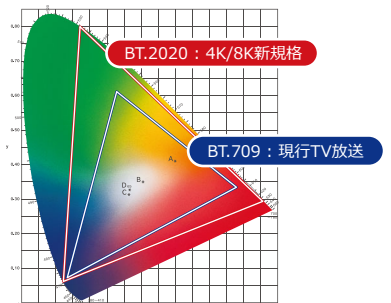
放射輝度は発光スペクトル(分光放射輝度)の積算量から計算できます。物理的な放射量に対して人の目は明るさに対する感度をもち、その波長特性を加味した量が測光量であり、それぞれの単位を光束(lm)、光度(cd)、輝度(cd/m²)と呼びます。

放射量	単位	測光量	単位
放射束	W	光束	lm
放射強度	W/sr ¹	光度	cd
放射輝度	W/(sr ¹ ・m ²)	輝度	cd/m ²



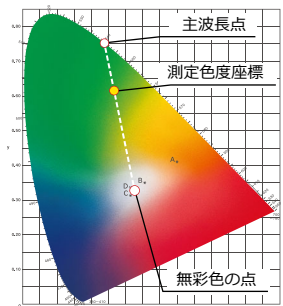
・色度の新規格:BT-2020

ディスプレイで表示できる色度内の範囲を色域とし、用途を反映したさまざまな色域規格があります。最近では2012年に非常に高色域規格をもつ超高精細度テレビジョン(8K)用の映像フォーマット Rec.ITU-R BT-2020が発行されました。色域の拡大により色度図上のRGBを頂点とする三角形が外側に広がったことで、一般的に彩度を高くするにはスペクトルが狭くなるため、計測器としても高い色度精度が要求されます。



・主波長(ドミナント波長)

人の目が見た際の色に相当する波長を表します。光源のxy色度値を用いて求める数値で、概念的にはその光源の色が一番大きく影響を受けている波長(単波長)というイメージになります。色度図では無彩色の点(基準白色点)と色度座標の延長線上のスペクトル軌跡との交点に対応する波長で、色度の誤差が直接主波長精度に影響します。

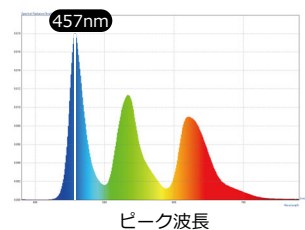


・刺激純度

光源の色の鮮やかさを表した数値です。無彩色の点と色度、色度と主波長点の比率を示し、1(100%)が最大値になります。色度が無彩色(基準白色点)に近いと純度は低く、主波長点(色度外延部)に近いほど純度は高くなります。

・ピーク波長

主波長とは異なり、分光スペクトルの出力が一番高い波長を表します。色度誤差は光源の発光波長シフトの発生によることが要因の一つとしてあります。ユニフォミティや階調表示に直接影響する可能性があるため、発光スペクトルが正常に出力されているか確認するためにピーク波長を確認することが有効です。



2D分光放射計 **SR-5100** シリーズラインナップ

標準 + 広角レンズ仕様



SR-5100HWS

望遠レンズ仕様

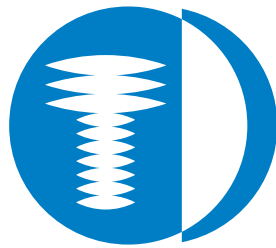


SR-5100HT

マクロレンズ仕様



SR-5100HM



TechnoOptis

<https://www.techno-optis.com>

株式会社 テクノオプティス

旧社名：株式会社トプコンテクノハウス

〒174-0043 東京都板橋区坂下2-4-1 Imas Itabashi BASE 4F

TEL.03-3558-2666 FAX.03-3558-4661

E-mail: techno-info@techno-optis.com

テクノオプティス

検索

