

携帯電話用超小型カメラモジュール

浜 田 稔

Micro Camera Modules for Cellular Phones

Minoru HAMADA

In recent years, cellular phones with digital camera are becoming popular. Smaller and thinner camera modules with wide angle lens are required. Higher resolution with keeping high sensitivity is also desired. To meet these needs, several optical technologies such as on-chip micro-lenses, AR (anti-reflection) coated gate-electrode and new package structure have been applied on imaging devices. However, there is still room for improvement in camera performance, especially by making a better combination of optics and imaging devices.

Key words: charge coupled device (CCD), micro-lenses, exit pupil, simulation

1. 超小型カメラの仕様

超小型のデジタルカメラを搭載した携帯電話の普及が進んでいる。2002年には1000万台程度の世界市場規模と推定される。

カメラ部分は図1のような小さなモジュールで、組み込み型部品として供給される。自動で露光制御や色バランス調整を行う信号処理回路を備え、小さいながらも完結した撮像機能を備えるデジタルカメラである。

通話者自身を撮影するので水平画角は60度前後、また携帯時の落下衝撃に耐えるために、光軸方向の寸法は薄型の製品に内包できる7mm以下が要求される。

補助光源をもたない製品が多いので、露出時間1/5秒で最低被写体照度5lxの感度が実用上必須であろう。

2. 固体撮像素子の光学技術

低消費電力が求められるので、撮像素子にはMOS (metal-oxide semiconductor) センサーやFT-CCD (frame transfer-charge coupled device) が使われているが、IT-CCD (interline transfer-charge coupled device) を用いた製品も開発されている。いずれの素子も、入射光がシリコン基板のフォトセンサー領域で電荷を発生する機構は共通である。

2.1 マイクロレンズ

IT-CCDやCMOS (complementary metal-oxide semi-

conductor) センサーでは開口率(画素に占めるフォトセンサーの面積比)が20%ないし50%程度であるため、画素ごとにマイクロレンズを設けて光をフォトセンサーに集める。図2にIT-CCDの画素の構造を示す。マイクロレンズは、さいの目型の樹脂を加熱軟化して表面張力で半球状にするのだが、このとき隣接のレンズと接触すると形状が崩れてしまう。接触を避けながらマイクロレンズの間隙を最小にする努力が、半導体微細加工技術を駆使して続けられている。また樹脂の透過率を高めたり、表面反射を抑えるなどの試みも行われている。

入射光がマイクロレンズの光軸から外れるとケラレによる集光率の低下が生じるので、像側テレセントリックな対物レンズが必要とされる。こうした制約を緩和するために、各フォトセンサーからみて、マイクロレンズを対物レンズの射出瞳に向けて配置する工夫が行われる。つまり、撮像中心から離れた画素ほど、マイクロレンズを内側に(撮像中心側に)ずらせるのである。

半導体の拡散工程で、撮像素子の内部にマイクロレンズを作ることも可能である(層内レンズと称される)。図3の例ではシリコン窒化膜(SiN)とシリコン酸化膜(SiO₂)の界面に曲率をもたせてレンズを作り、配線電極(WSi)を避ける光路を実現している。

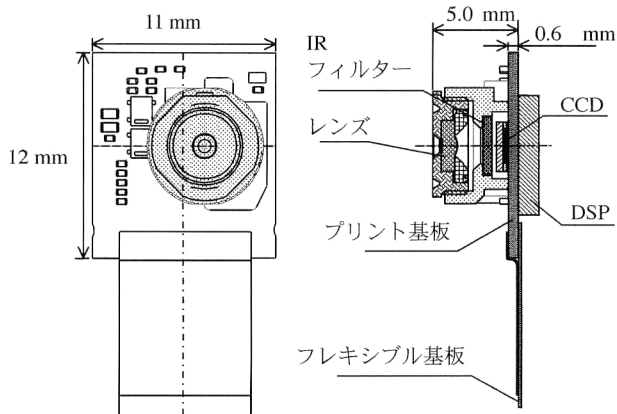


図1 超小型カメラモジュールの正面図と側面図。

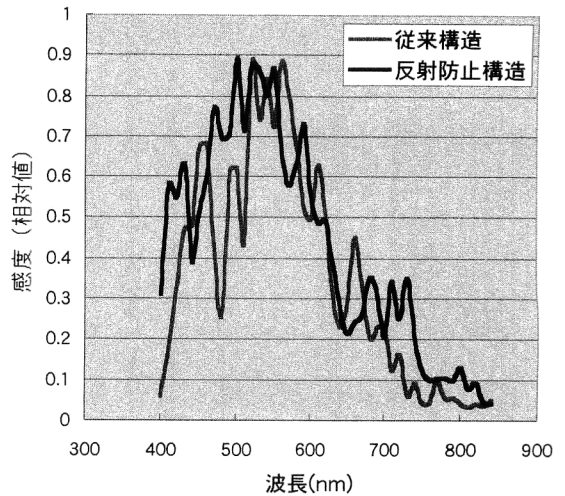


図4 反射防止構造電極による感度改善効果。

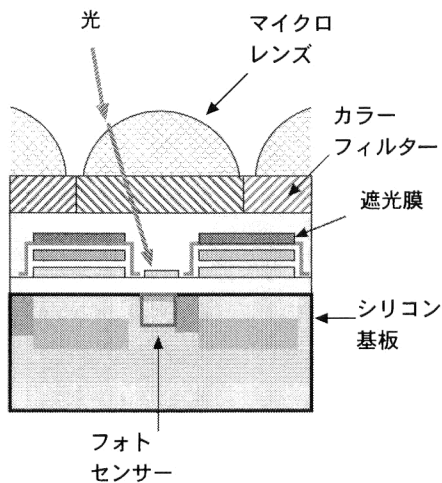


図2 IT-CCDの画素の断面構造。

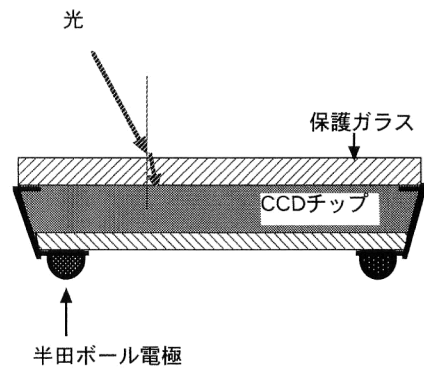


図5 保護ガラス密着型パッケージの断面構造。

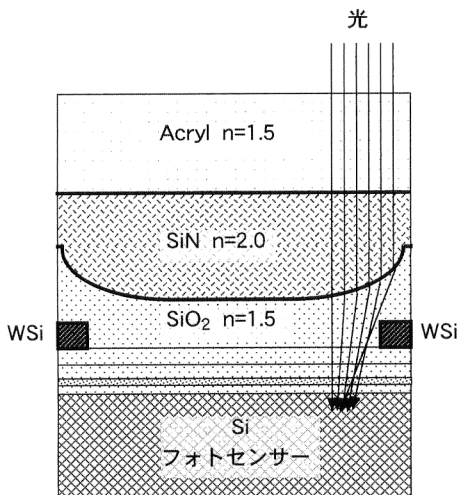


図3 層内レンズの一例。

2.2 撮像素子内部での光の反射や吸収の軽減

撮像素子の表面には多層の配線電極や、これを相互に絶縁する層間膜があり、入射光は反射や吸収を受ける。またフォトセンサー表面でも反射が生じる。対策のため反射防

止構造を採用する例がある。

FT-CCDではフォトセンサーの上部が多結晶シリコンの薄膜電極で覆われている。膜厚は50 nmほどで透明に近いのだが、屈折率は4.3と大きくて表面反射の損失が無視できない。図4は薄膜電極を上下から屈折率2.0のシリコン窒化膜で挟むことにより、とくに400 nmから500 nmでの青色感度の向上を実現した例である²⁾。

2.3 保護ガラス密着型パッケージ

FT-CCDのようにマイクロレンズを省略できる場合には保護用ガラスを直接撮像素子に貼り付けることも可能になる。実施例を図5に示す。保護ガラスの下面と撮像素子表面での反射が抑圧できる。また斜め入射光も矯正されるので、隣接画素へのクロストークも軽減される。このパッケージはウェハーレベル CSP (chip size package) とよばれる量産性の高い技術で製造される。

2.4 光学シミュレーション

撮像素子に入射した光の挙動を追跡できる専用の光学シミュレーターが開発されている³⁾。一方、半導体デバイスシミュレーターにより、シリコン中の不純物濃度分布による

フォトセンサー内部の電界が計算され、光電変換の感度分布が求められる。

両方のシミュレーションを連動させて、フォトセンサーの最も感度のよい領域に光が集まるように、光の経路と不純物濃度分布とのチューニングが行われる。

3. 超小型カメラの光学系

現在標準的なカメラモジュールでは、撮像素子の光学サイズは1/7型(対角長2.6 mm)、画素サイズ5.6 μm 、11万画素であり、対物レンズは $f=2.0$ mm, $F:2.8$, プラスチック非球面の1枚レンズである。人間の視感度に合わせるための赤外カットフィルターには薄型にできる蒸着方式が用いられる。色偽信号を防ぐための光学ローパスフィルターは省略されることが多い。

4. 今後の課題

次世代製品は31万画素、体積0.5 cm^3 、高さ(光軸方向の寸法)5 mm以下が目標仕様になる。1/7型(対角長2.6 mm)光学サイズの撮像素子では画素ピッチが3.3 μm 程度になる。1~2枚の対物レンズで広角かつ高解像度を実現することがカメラの光学系の課題だろう。

デジタル画像処理を利用すれば像歪みや収差を軽減できる。対物レンズ、撮像素子、信号処理の設計を連携させれば、よりよい撮像系が実現できるだろう。

入射光量の制御も課題である。現状は固定絞りのため数lx~数万lxにわたる広い被写体の照度範囲を露出時間制御だけでカバーしているが、良質の画像を得るためには入射光量自体を制御したい。絞りによる回折も避けたいので、電氣的に透過光量を制御できる超小型光学素子の出現が切望される。

文 献

- 1) R. L. Baer: "CCD requirement for digital photography," *Proceedings of 1999 IEEE Workshop on CCD & AIS* (1999) pp. 199-202.
- 2) 岡田吉弘, 大鶴雄三, 伊澤慎一郎, 田井野伸泰, 浜田 稔: "単層ポリシリコン電極を採用した高感度1/4型(対角4.5 mm)36万画素FT-CCDイメージセンサ", 映像情報メディア学会技術報告, **54** (2000) 204-209.
- 3) 武藤秀樹: "層内レンズ構造の3次元波動光学シミュレーション", 映像情報メディア学会技術報告, **54** (2000) 210-215.

(2002年6月10日受理)