オンチップ層内レンズ技術による CCD 撮像素子 光電変換特性の向上

正会員 佐野 義和[†], 重田 陽子[†], 市川 美千代[†]
青木 裕光[†], 梅田 卓也^{††}, 上坂 渡[†]
塚本 朗[†], 千田 浩之[†], 新添 真人[†]

On-chip Inner-layer Lens Technology for an Improvement in Photo-sensitive Characteristics of a CCD Image Sensor

Yoshikazu Sano[†], Yoko Shigeta[†], Michiyo Ichikawa[†], Hiromitsu Aoki[†],
Takuya Umeda^{††}, Wataru Kamisaka[†], Akira Tsukamoto[†],
Hiroyuki Senda[†] and Naoto Nisoe[†]

Abstract An on-chip inner-layer lens has been developed to improve the photo-sensitivity and smear of CCD image sensors. The inner-layer lens structure consists of a boron-phospho-silicate-glass (BPSG) layer and a heat melting transparent resin. The refractive indices for the inner-layer lens was higher than the BPSG layer and the planarization layer. Taking the incident angle into account, we have applied a new three dimensional simulation to the inner-layer lens to investigate the optical pass. We fabricate a 1/4-type IT-CCD image sensor with an inner-layer lens. This fabricated results of an image sensor has been explained well by the new three dimensional optical simulation. The increase of photo-sensitivity using the inner-layer lens technology is 16% without deterioration in the CCD characteristics. Furthermore using the inner-layer lens reduces the smear value by 70%.

1. ま え が き

最近の半導体のプロセス，回路技術の進歩に伴って CCD 撮像素子の性能向上は著しいものがあり，民生用小型ビデオカメラに使用される光学サイズの主流は 1/3 型から 1/4 型に移行しつつある．また画素数は，27 万画素 CCD¹⁾²⁾ から S-VHS，Hi 8 の高画素 36

万³⁾，38 万画素．さらに，電子式手振れ補正機能付き多画素 56 万画素⁴⁾⁵⁾ の CCD まで範囲が広がっている．また放送用では，ハイビジョン用 2/3 型 200 万画素^{6)~8)} が実用化されつつある．

これら CCD 撮像素子に対する小型化，高解像度化は，現在主流である IT (Interline Transfer) CCD 構造では，図 1 に示す単位セル (画素部における 1 つの

キーワード：層内レンズ，オンチップマイクロレンズ，固体撮像素子 CCD，スミア，光学シミュレーション

1995 年 8 月 8 日受付，1995 年 10 月 16 日再受付

[†] 松下電子工業株式会社 半導体事業本部 京都研究所 (〒601 京都市南区西九条春日町 19, TEL 075-681-3181)

^{††} 松下電子工業株式会社 半導体事業本部 LSI 開発センター (〒167 長岡京市神足焼町 1, TEL 075-951-8151)

[†] Kyoto Research Laboratory, Matsushita Electronics Corporation (19, Kasuga-cho, Nishikujo, Minami-ku, Kyoto 601, Japan)

^{††} LSI Development Center, Matsushita Electronics Corporation (1, Yakimachi, Kotari, Nagaokakyo-shi, Kyoto 617, Japan)

図 1 IT-CCD の単位セルの説明図
IT-CCD unit cell.

フォトダイオードと CCD で構成される領域)の縮小化により受光部であるフォトダイオード面積を減少させ、主要特性のひとつである光電変換特性(感度と称する)を低下させている^{9)~12)}。このため、CCD の小型化、高解像度化にとって感度向上技術はますます重要なテーマとなっている。

感度向上の手法としては、各々の受光部に対応した位置にマイクロレンズを設け、入射光を効率良く受光部に集めるオンチップマイクロレンズ技術¹¹⁾¹²⁾や、雑音を減らすための出力増幅器の改善¹³⁾、等がなされている。

本論文は、感度向上の方法のうち、マイクロレンズ技術を中心に最近の技術方向と、今回新たにオンチップフィルタ内部に構成する層内レンズ (Inner-layer lens) 技術と、CCD オンチップ専用光学シミュレーションを開発した。さらに、その効果を 1/4 型 IT-CCD に適用し、感度向上とスミア値低減に寄与する実測結果を今回報告する。

2. オンチップマイクロレンズ技術の進展

固体撮像素子の上にマイクロレンズを搭載して感度を向上させる考えが最初に示されたのは、1976 年の特許出願¹⁴⁾からである。これは固体撮像素子の開発が始まった頃とほぼ同時期に、マイクロレンズの重要性が認識されていたことを示す。1983 年に IEDM¹¹⁾の発表で 2/3 型 CCD マイクロレンズが搭載され、その有効性が示された。1990 年の IEDM の発表¹²⁾では、コンピュータシミュレーションを用い実効開口率の高いマイクロレンズの形状を求めて 1/3 型 CCD に搭載し、大幅な感度向上を実現できることが示された。この前後の期間にマイクロレンズ搭載 CCD の量産が開始されている。特にデバイス縮小に伴う感度低下の課題をオンチップマイクロレンズ技術でブレイクスルーできたため、ムービーの小型化のニーズとも重なり、民生用 CCD 市場では 1/2 型から 1/3 型に急速

図 2 CCD オンチップフィルタの模式断面図とその記号説明
Cross sectional view of a CCD on-chip color filter and the symbol.

に置き換わることとなった。以後、民生用途はもとより、産業用から放送用 CCD に至るまでマイクロレンズ技術が必須となり、1994 年「ENG カメラにおける CCD マイクロレンズ技術」および「オン・チップ・レンズ技術」で国内 2 社がアメリカテレビ芸術科学アカデミーからエミー賞を授賞したのは記憶に新しい¹⁵⁾。

3. 最近のマイクロレンズ技術とその課題

このように、素子の縮小化と感度向上という相反する要求に対し、CCD メーカーは素子自身の感度を上げつつ、主流であるマイクロレンズ技術を採用することで進展してきた。素子の高画素化に伴い、マイクロレンズも微細化プロセスで対応し実効開口率を上げてきた。実効開口率は単位セル当たりに入射される全光束に対する受光部フォトダイオードに集光される光束の割合で、次の式で示される¹²⁾¹⁶⁾。

$$EAR = (\Sigma T / \Sigma U) \times 100 (\%)$$

ただし、 EAR ：実効開口率、 ΣT ：フォトダイオード領域に集められる光束量の合計、 ΣU ：単位セルに入射する全光束量とする。図 2 に CCD オンチップフィルタの模式断面図を示す。ここで記号 s は隣接するマイクロレンズ間の距離(スペース)、 t はマイクロレンズ自身の厚さ、 h はオンチップフィルタの高さを示す。また写真 1 にはマイクロレンズの外観 SEM 写真を示す。

感度向上には、単位セル内でより広い面積から光を集め実効開口率を高めることが有効である。この考えから、レンズ間スペース s の距離をできるだけ小さくすることが重要となる。1990 年の発表¹²⁾では、 $s = 0.8 \mu\text{m}$ のサブミクロンスペースであったものが、1994 年の発表⁵⁾では CCD 素子に採用されたマイクロ

写真 1 CCD オンチップマイクロレンズ外観 SEM 写真

A SEM micrograph of an external view of a CCD on-chip micro-lens.

図 3 隣接するマイクロレンズ間の距離 s に対する実効開口率比(レンズなしの開口率を 1 とする)
Effective aperture ratio vs a distance between the adjacent lenses.

変化率 Δ : 標準オンチップフィルタの高さ h_s に対するフィルタ高さ h の変化率: $\Delta = (h - h_s) / h_s \times 100$
図 4 オンチップフィルタ高さ h の変化率に対する実効開口率比(レンズなしの開口率を 1 とする)
Effective aperture ratio vs an on-chip filter height ratio: Δ .

レンズは、ハーフミクロン近くまで微細化されている。今回、1/4 型 IT-CCD に搭載されているマイクロレンズは、サブハーフミクロン ($s=0.4 \mu\text{m}$) スペースレンズを採用し、さらに感度向上を目指したものである。図 3 は 1/4 型 IT-CCD における 3 次元光学シミュレーション結果で、距離 s に対する実効開口率比

(マイクロレンズなしの場合を 1.0 とする)を示す。ここでフィルタ高さ h を一定にし(これを標準高さ h_s とする)、それぞれの s に対しレンズ厚さ t を可変し、実効開口率の最も高い値をプロットした。レンズなしの開口率に対し s のスペース間隔を小さくすることで 2.3 倍 ($s=0.8 \mu\text{m}$) から、2.6 倍 ($s=0.4 \mu\text{m}$) となり、約 15% の増加が得られた。シミュレーションでは $s=0.2 \mu\text{m}$ のスペースで、さらにその比が大きくなることが示されているが、現行の半導体プロセスを用いて隣接するレンズとレンズのスペースを $0.2 \mu\text{m}$ で安定に形成し量産することは難しいため、この手法は限界があると考えられる。

素子の高感度化で特に課題となるのは、低照度撮像時の感度の F 値(カメラレンズの絞り値)依存性である。実撮影では暗いシーンでカメラレンズ絞りは開放となり、その時の感度の高さが要求される。この場合、斜め入射光成分が増加してマイクロレンズによるフォトダイオードの集光量が標準絞り時に対して相対的に少なくなり、感度低下を招く³⁾。

このような斜め成分の多い入射光を効率良くフォトダイオードに導くには、オンチップフィルタの高さ h をできるだけ低くし、それに応じてマイクロレンズ厚さ t を厚くすることにより感度向上が実現する。図 4 は、1/4 型 IT-CCD における 3 次元光学シミュレーションの結果で、レンズ間スペース s を $0.4 \mu\text{m}$ と一定とし、レンズ厚さ t をそれぞれのフィルタ高さ変化率 Δ に対し可変し、実効開口率の最も高い値を選び、実効開口率比をプロットした(レンズなしの開口率を 1 とする)。この図からわかるように、フィルタ高さ h は設計の標準高さ h_s に対し +18% まで高くし、レンズをフォトダイオードから離すと、2.6 倍から 2.3 倍に実効開口率比が下がる。また標準高さ h_s に対し低くし、レンズとフォトダイオードの距離を近づけると 2.8 倍以上向上することが示される。これはフィルタ高さを低くすることにより、斜め光が入射した場合でも受光部周辺の遮光膜によるケラレが少なくなること示している。しかしながら、この高さ h を低くする手法も限度がある。均一なカラーフィルタやマイクロレンズを形成するため充分平坦化できる透明膜や、カラーフィルタの分光に必要な厚さなど、採用するプロセス材料によりフィルタ高さの低減は制約される。現行 1/4 型 CCD でも最も h の高さを低く安定形成できるものを標準高さ h_s としている。

このように、前記のレンズスペース s を小さくし、フィルタ高さ h を低くして斜め成分を含む入射光をより多く集光させるためマイクロレンズ技術は進展し

てきたが、同手法による感度向上は限界に近づきつつあり、新たな感度向上の方法が求められている。なお、本稿では特に言及しない限り感度は開放絞り(F1.4)での記述とする。

4. 新光学シミュレーション

我々は、今回新たに3次元光学シミュレーションを開発した(PANAMILES Mk-2)。すでに発表されている光学シミュレーションPANAMILES⁽¹²⁾⁽¹⁶⁾をさらに発展させ、種々のオンチップフィルタとCCD素子の条件にフレキシブルに対応できるよう設計されている。フィルタ各層の形状を自由にプログラムできて、より正確な3次元シミュレーション結果が得られるようになった。例えば、レンズ形状を表現する場合は、円弧、放物線、変形円弧やサイクロイド(Cycloid)が選択できる。また、実断面のSEM写真に従い離散的にプロットした点を、コンピュータによって滑らかな曲線(Smoothing)を得る機能もあり、極めて高精度の光学検証が可能となった。

また従来、マイクロレンズを有限要素分割法で対応していたが、今回モンテカルロ法を用い、入射光子位置と入射ベクトルを決定する方法を採用し、計算時間の削減とプログラム実行領域の低減を実現した。さらに、高速EWSを使用することにより、シミュレーション時間を約1/60と大幅に削減することができた。図5は、今回開発したシミュレーションを用いてCCD素子における光子軌道追跡を行った一例である。

図5 新3次元光学シミュレーションによる光子軌道解析例

An example of a new three-dimensional optical image sensor simulation.

これは3次元でシミュレーションした光子軌道を、 y 方向のレンズ中心位置で x - z 面を切り取り、2次元でわかりやすく表現した出力結果である。遮光部や多層膜の条件を実際の形状にできるだけ近づけることで、より正確な感度予測が可能となった。

5. オンチップ層内レンズのプロセス開発

民生CCD固体撮像素子において1/3型から1/4型に移行しつつある現在、デバイスの感度に対する維持向上の要求はますます高まっている。今回我々は、オンチップにおける感度向上の新たな方法として、従来のオンチップマイクロレンズに加えて、そのフィルタ層内にさらにマイクロレンズを形成した構造のデバイスを検討した。各レンズを区別するため、従来フィルタの上に形成されていたマイクロレンズをトップレンズ(Top lens)と呼び、新たにフィルタ内に形成するレンズは層内レンズ(Inner-layer lens)とする。

斜め入射光をより多くフォトダイオードに集光し、フィルタ高さ h をさらに低く薄膜化できる層内レンズの構造とプロセスを検討した。フォトダイオード構造は図1と図2で示したように、CCDの転送ゲートを覆う遮光膜で囲まれており、くぼんだ形状となっている。この構造の上に層間膜を施し、滑らかな凹形状を形成する工法を検討した。理想的な凹形状が得られ、かつ層内レンズ材料より屈折率の低い材料として、ボロンリンガラス(BPSG)を採用し、凹形状を層内レンズ材料で埋めることにより下向けに凸のレンズが形成されるようにした。この方式にすると、BPSGの凹形状にレンズ材料を埋め込むことにより、層内レンズの位置合わせが不要となる。このセルフアライン構造により、正確にフォトダイオードと層内レンズの中心を配置することができる。

層内レンズの形状はBPSGの堆積厚さにより変化する。写真2はBPSG標準膜厚をAとし、その±25%の膜厚B、C条件の3種の断面SEM写真である。層内レンズ形状とプロセスの安定性から膜厚AのBPSG条件を選択した。BPSGの上を保護膜でカバーし、その上に層内レンズ材料を直接埋め込む構造とした。層内レンズ材料はBPSGや保護膜に対して屈折率のより高い熱溶融性透明樹脂を選択し、層内レンズ形成後は平坦な膜が形成できるようにした。この材料とプロセスを採用することで、従来のオンチップフィルタ構造よりフィルタ高さ h が低く形成できる効果が得られた。また、層内レンズ材料より小さい屈折率をもつカラーフィルタ材料および透明平坦化膜を層内レンズの上に形成した。

BPSG 膜厚：膜厚=B：(A-25%)

BPSG 膜厚：標準膜厚=A

BPSG 膜厚：膜厚=C：(A+25%)

写真 2 BPSG 断面形状 SEM 写真
A SEM micrograph of a cross sectional view of BPSG layer.

図 6 層内レンズ構造模式図
A structure of the inner-layer lens.

トップレンズは、レンズ間スペース s に $0.4 \mu\text{m}$ を採用し、より感度を高めるようにした。さらにフィルタ高さ h は標準高さ h_s よりさらに 6% 程度低くできることが確かめられ、斜め入射光成分に対してもより効率良く集光できることが予想された。図 6 は、今回検討した層内レンズ付きオンチップフィルタの模式構造図である。

6. 層内レンズの感度シミュレーション

今回開発した 3 次元光学シミュレータを用いて層内レンズによる感度向上が可能か見積もった。BPSG から得られる層内レンズの形状決定は、その SEM 断面解析により決定された。その結果、層内レンズの断面形状はサイクロイド曲線が最も適していることがわかり適用した。また、トップレンズの形状は円弧を採用した。

図 7 は、そのシミュレーション結果をグラフ化したものである。トップレンズを通過する全光束に対しフォトダイオードに到達する割合を集光率と定義し、その高いものが層内レンズ効果が大きいとした。

$$\text{集光率} = (\Sigma P / \Sigma L) \times 100 (\%)$$

ここで ΣP ：トップレンズ通過の光束のなかでフォトダイオードに到達する光束量、 ΣL ：トップレンズを通過する全光束量である。トップレンズのみの(現行)構造で集光率の最も大きい値を規格化し 100% とした。トップレンズに加え層内レンズを形成した場合と、さらにフィルタ高さ h を 6% 低くした層内レンズ構造の場合の 3 条件を、レンズ厚さ t を可変にして集光率比をプロットした。レンズ厚さはトップレンズ(現行)構造で最も高い集光率の得られた厚さ t_s で規

図 7 層内レンズとその薄膜化による集光率向上効果
A light concentration effect of the inner-layer lens and the thinner on-chip filter with one.

図 8 新 3 次元光学シミュレーションによる集光状態断面図
A cross sectional view of the 3-dimensional optical simulation: (PANAMILES Mk-2).
(a) A conventional microlens structure, (b) a thinner inner-layer lens structure.

図 9 層内レンズによる集光効果説明図
Effects of light concentration with the inner-layer lens.

格化し 100%とした。

3 条件でそれぞれ最も集光率の高い値を比較した場合、標準高さ h_s では、層内レンズを搭載することで 11%の集光率向上が示された。フィルタ高さ h を低く形成すればさらに 5%の向上が示され、現行比合計 16%の感度向上が予測された。

図 7 のなかで特徴的な条件について考察する。トップレンズだけの構造の最大の集光状態断面図は図 8 (a) に示し、フィルタ高さ h を 6%低くして層内レンズを採用した状態は図 8 (b) に示す。光子軌跡を解析した結果、層内レンズを採用することにより、従来フォト

ダイオード周辺に拡散していた斜め光が中心方向に集められている様子がわかる。その説明図を図 9 に示す。

層内レンズ構造でもフィルタ高さ h を低くすれば、単レンズと同じように集光率が向上することが明らかになった。またフィルタ高さ h を低くすると、トップレンズの厚さは、標準厚さ t_s に対し 8%厚くすれば最も集光率が高いことがわかった。層内レンズ構造において、トップレンズの厚さ t を最適の集光条件にすれば、従来比 16%程度の集光率向上が得られる。さらに、CCD 固体撮像素子の特性において、スミアの成分の低減は重要である。

スミア発生原因としては一般に、(a)多重反射成分、(b)斜め入射光成分、(c)p ウェル内からの電荷拡散成分が知られている¹⁷⁾。今回の層内レンズを採用した効果として、(a)と(b)の成分を低減できると考える。(a)の場合、フォトダイオードエッジ部と遮光膜の境界に密度の濃い光束が存在すると、遮光膜裏面とシリコン表面の間を光の一部が反射を繰り返し、CCD 部分に混入する光導波現象³⁾を示すが、今回シミュレーション結果の図 8 (a)と図 8 (b)を比較すると、層内レンズ(図 8 (b))の働きにより、スミアの原因となるエッジ部の光束がフォトダイオード中心に集められ、同時に感度向上を実現しているため、スミアの低減が期待される。また(b)の分離領域や垂直 CCD に直接入り込む斜め入射光成分も、フォトダイオード中心に集められていることから、現行構造に比べ密度が薄くなり、同じくスミアの低減に結びつくと考えられる。フォトダイオードと遮光膜境界部分の光束

写真 3 層内レンズ搭載 CCD 素子断面 SEM 写真
A SEM micrograph of a CCD cross sectional view with the inner-layer lens.

図 10 層内レンズの実測感度とシミュレーション結果
Comparison between the experimental results and the simulation.

密度の変化および、集光率 16% の増加による感度向上を考慮すると、3 割程度のスミア低減が期待された。

7. 試作実験結果

前記シミュレーション結果を確かめ、層内レンズの効果を検証するため、1/4 型 CCD の実素子に層内レンズを搭載し試作実験を行った。写真 3 は今回試作した層内レンズ付 CCD の断面の SEM 写真である。BPSG の形状を利用して下向きに凸型の層内レンズが形成されていることが観察される。

図 10 に、実験結果とシミュレーション結果を並記した。縦軸は感度比で、現行のトップレンズのみの実感度を 1 と規格化し、その何倍の感度が得られたか調べた。また、シミュレーション結果は集光率から換算した感度比をプロットした。この図からわかるように、

表 1 層内レンズ効果 (1/4 型 CCD 実測結果)
Comparison between the characteristics with inner-layer lens and without one.

	現行単レンズ	薄膜化層内レンズ
感 度 比	1.00 : 規格化	1.16
スミア比	1.00 : 規格化	0.70

シミュレーション結果とほぼ一致した感度実測値が得られ、16% の増加を確かめた。この結果、シミュレーションによる層内レンズの感度見積りの正確さと、薄膜化した層内レンズの感度向上効果が証明された。

今回、スミアの低減に関しても層内レンズ効果が現れると予測していた。今回の試作では、トップレンズのみの現行構造に対し -30% の低減率があった。これは感度向上と共に、層内レンズの働きで光束がフォトダイオード中心部に集められ、その結果、エッジ部の光密度が薄くなり、スミアの光導波現象の成分と斜め入射光成分が低減されたと考えられる。現行構造であれば、感度を上げるためフォトダイオードの開口面積を広げるとスミアが増加し相反する特性となるが、層内レンズでは、フォトダイオード開口面積は変えずに感度とスミアを同時に向上させることができた。他の特性については問題点はなかった。表 1 には、層内レンズと現行レンズの実測値の相対比較の結果をまとめた。

8. む す び

新しいオンチップマイクロレンズの技術として層内レンズ (Inner-layer lens) を検討した。今回新たに開発した 3 次元光学シミュレーション (PANAMILES Mk-2) を使い、光電変換特性 (感度) が 11% 向上することを見積もった。さらに、層内レンズのプロセスを用いてフィルタ高さ h を低くすれば、合計 +16% の感度向上が予測された。

プロセスは BPSG 膜により凹形状を形成し、そのくぼみを熱溶融型透明樹脂で埋め込むレンズ構造とした。位置決めはセルフアラインでフォトダイオードと層内レンズの中心を一致させ形成することができた。1/4 型 IT-CCD で層内レンズ構造のオンチップマイクロレンズを搭載し、シミュレーションと一致した感度実測結果が得られ、従来のトップレンズ構造に対して、16% の増加を認めた。これによりシミュレーションの正確さと層内レンズの感度向上効果が証明された。さらに、スミアの値も現行トップレンズだけの値に比較して -30% の低減を図ることができた。その他の特性に対しては問題点はなかった。

今回、層内レンズを検討した結果、重要な特性であ

る感度向上, スミア低減を同時に実現させることができた。本研究の機会を与えられ、激励をいただいた当社京都研究所 江崎取締役所長, また本研究を行うにあたり有益な助言ならびにご指導いただいた, 井上部長, 寺川部長, 阿知波部長, 黒田室長ならびにピクチャーコンポーネント事業部の古川事業部長, 開発部と工場技術課のみなさま, また, 立川技師のシミュレーションアドバイスと, 素子の試作, 評価に協力いただいた拡散実験部, 製品開発 3 部の関係各位に深く感謝いたします。

〔参 考 文 献〕

- 1) 栗山ほか: “1/3 インチ 27 万画素 CCD 撮像素子”, テレビ学技報, **14**, 16, pp. 39-44 (Feb. 1990)
- 2) T. Kuriyama, et al.: “A 1/3-in 270000 Pixel CCD Image Sensor”, IEEE Trans. Electron Devices, **38**, 5, pp. 949-953 (May 1991)
- 3) 溝内ほか: “1/3 インチ 36 万画素 IT-CCD 撮像素子”, テレビ誌, **47**, 2, pp. 197-202 (1993)
- 4) 大前ほか: “1/4 インチ高解像度手振れ補正機能付き CCD 撮像素子”, **49**, 2, pp. 182-187 (1995)
- 5) S. Terakawa, et al.: “Advanced High Performance CCD Technology for a 1/4-inch 560K Pixel IT-CCD Image Sensor”, CICC, pp. 479-483 (1994)
- 6) K. Harada, et al.: “A 2/3-inch 2M Pixel FIT-CCD HDTV Image Sensor”, ISSCC, pp. 170-171 (1992)
- 7) M. Morimoto, et al.: “A 2M Pixel HDTV CCD Image Sensor with Tungsten Photo-Shield and H-CCD Shunt Wiring”, ISSCC, pp. 172-173 (1992)
- 8) Y. Toyoda, et al.: “A 2/3-inch 2.0 M-Pixel M-FIT CCD with a Single Channel HCCD for HDTV Camera”, ISSCC, pp. 220-221 (1994)
- 9) 広島: “画素を競う撮像素子; 80 dB と 430TV 本を両立させた 1/2 インチ CCD”, 日経マイクロデバイス, pp. 104-111 (Nov. 1998)
- 10) 川島ほか: “HDTV カメラ用 1 インチ 150 万画素 IT 型 CCD 撮像素子”, テレビ学技報, **16**, 18, pp. 25-30 (Feb. 1992)
- 11) Y. Ishihara, et al.: “A high photosensitivity IL-CCD image sensor with monolithic resin lens array”, IEDM Tech. Digest, pp. 497-500 (Dec. 1983)
- 12) Y. Sano, et al.: “Submicron Spaced Lens Array Process Technology for a High Photosensitivity CCD Image Sensor”, IEDM Tech. Digest, pp. 283-286 (Dec. 1990)
- 13) 盛田ほか: “1/3 インチ 512 H 画素 IT-CCD 撮像素子”, 1990 年テレビ年次大, pp. 51-52
- 14) 和田, 照井, 吉野, 太田: “固体撮像装置及びその製造方法”, 特許公報, 特願昭 51-151123 (Dec. 1976)
- 15) 佐野: “脚光浴びる CCD マイクロレンズ技術”, M & E 誌, pp. 114-124 (Feb. 1995)
- 16) Y. Sano, et al.: “Submicron Spaced Lens Array Process Technology for a High Photosensitivity CCD Image Sensor”, Optoelectronics—Dev. & Tech., **6**, 2, pp. 219-229 (Dec. 1991)
- 17) 秋元ほか: “IL-CCD 型固体撮像素子におけるスミアの解析”, テレビ学技報, **12**, 12, pp. 19 (Feb. 1988)

佐野 義和 1974 年, 同志社大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年, 松下電器産業(株)に入社。現在, 松下電子工業(株)京都研究所に勤務。CCD 固体撮像素子のプロセスとオンチップマイクロレンズおよびデバイスの開発に従事。同研究所室長。正会員。

重田 陽子 1991 年, 奈良女子大学理学部化学科卒業。同年, 松下電子工業(株)に入社。CCD 固体撮像素子のオンチップマイクロレンズおよびカラーフィルタの開発に従事。現在, 同社京都研究所に勤務。

市川 美千代 1992 年, 奈良女子大学理学部化学科卒業。同年, 松下電器産業(株)に入社。現在, 松下電子工業(株)京都研究所に勤務。CCD 固体撮像素子のオンチップマイクロレンズおよびカラーフィルタの研究開発に従事。

青木 裕光 1982 年, 大阪府立大学工学部応用化学科卒業。1984 年, 同大学院修士課程修了。同年, 松下電器産業(株)に入社。松下電子工業(株)半導体研究所, 電子総合研究所を経て, 1990 年より, 同社京都研究所に勤務。以来, 化合物半導体, CCD カラーフィルタの研究開発に従事。

梅田 卓也 1983 年, 広島大学理学部大学院修士課程修了。同年, 松下電器産業(株)入社。松下電子工業(株)R&D センター, 京都研究所を経て, 現在, 同社 LSI 開発センターに勤務。入社後, 回路シミュレータの開発に従事。現在, デバイスシミュレータ開発業務担当。

上坂 渡 1985 年, 金沢大学工学部電気工学科修士課程修了。同年, 松下電器産業(株)に入社。松下電子工業(株)にて, プロセス技術の開発に従事した後, 1988 年より, 固体撮像素子の研究開発に従事。現在, 同社京都研究所に勤務。

塚本 朗 1987 年, 大阪大学理学部物理学科大学院修士課程修了。翌年, 松下電器産業(株)に入社。松下電子工業(株)京都研究所に勤務。CCD 固体撮像素子のデバイス開発に従事。

千田 浩之 1990 年, 関西大学工学部金属工学科修士課程修了。同年, 松下電器産業(株)に入社。現在, 松下電子工業(株)京都研究所に勤務。CCD 固体撮像素子の半導体プロセスの開発に従事。

新添 真人 1992 年, 同志社大学工学部電気工学科卒業。同年, 松下電器産業(株)に入社。現在, 松下電子工業(株)京都研究所に勤務。CCD 固体撮像素子のプロセス開発に従事。