

Electronic eyeballs

光学

電子の目玉

染谷 隆夫

曲面上にシリコンオプトエレクトロニクス素子を製作する技術は、これまでになかった特性を備えた撮像システムを可能にする。この革新的な技術には、さまざまな応用の道が考えられる。

Nature Vol.454 (703-704)/7 August 2008

すべての動物は、球面からなる撮像素子を目としてもっている。これに対して、デジタルカメラやビデオカメラなどの人工視覚システムは、平面的な画像記録表面に頼らなければならない。これらの人工撮像素子に必要な半導体光検出器のネットワークは、シリコン微細加工技術を用いて作製されており、現時点では1000万以上の画素を使って画像を作ることができる。しかし、平面的な撮像素子を使って、明るく、ひずみのない画像を作るにはどうすればよいかという大きな問題は、いまだに解決されていない。ひずみはレンズの端で生じるため、うまく撮像するためには、異なるレンズを複数の方法で組み合わせなければならない。ところがその結果、レンズ構成は重く、高額になり、本来よりも暗い画像を作ってしまうことになる¹。

Nature 2008年8月7日号748ページでは、Rogersとその共同研究者であるKoら²が、動物の目からヒントを得て、従来の人工視覚システムに付きまとっていたこれらの本質的な限界をいかにして打ち破ったかを説明している。彼らの電子アイカメラ(図1)は、完全に機械的な圧縮-伸張性をもつように設計されたシリコンエレクトロニクス素子を基礎にしており、半球形の基板の上に形成することができる。

著者らの方法の概略は、その論文の図1(749

ページ)で説明されている。これを可能にしたのは、主として2つの技術的進歩だった。1つは、大きくひずんだ(典型的には50%以上)ときにも弾性的な圧縮性を示す半導体光検出器のネットワークをシリコンウエハー上に製作する技術である。このような圧縮性を実現するかぎとなったのは、光検出器どうしを連結している細い金属線だった。もう1つの革新は、最初に平面的な形に作った光検出器のネットワークを半球形に変形させる弾性材を使用したことである。これにより、撮像素子への実装が可能になる。この技術は、広角で、ひずみが少なく、コンパクトな、新しいタイプの撮像素子の到来を告げるものである。

近年の圧縮-伸張性エレクトロニクス素子の進歩³は、長期にわたって使用できる人工臓器、センサーつき人工皮膚⁴、壁紙などに埋め込んだアンビエント・ディスプレイ、化学機能や電子機能を備え、人間やものや環境と相互作用することができる「インテリジェント表面」など、多くの新しい応用を可能にすることが期待されている。むしろかしいのは、電子回路素子としての基本的要請を満たしながら、すぐれた機械的耐久性と高い電子的性能を実現することである。つまり、ほかの部品に合わせて変形することができる、伸張性のあるエレクトロニクス素子に用いられる材料および回

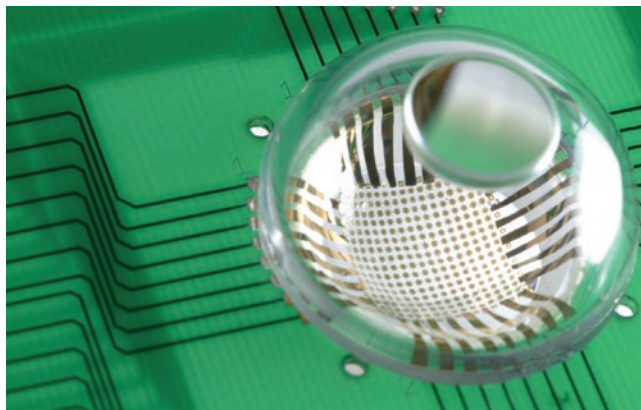


図1 電子アイカメラ。この素子は、Koら²が開発した凹型の光検出器システムを、1個の簡単なレンズを備えた小型カメラに実装したものである。通常は、頂点のレンズは別として、半球状の覆いは透明にはしない。カメラの直径は約2センチメートルである(写真はJ.A.Rogersの厚意による)。

路のアーキテクチャは、製造過程においても、部品として用いられるときにも、機械的完全性と電子的機能性が保持されるように設計されていなければならないのである。Rogersら⁵は近年、この目的のために、1次元および2次元の伸張可能ナリボンや回路を開発した。電子アイカメラに用いられた2次元の圧縮性部品は、この研究の自然な延長線上にある。

この技術の可能性は、Koら²が実証してみせた半球形の構成をはるかに超えたところまで広がっている。例えばそれは、血液中の酸素やその他の成分の濃度を光学的に検出する健康管理装置の複雑な曲線からなる表面にオプトエレクトロニクス素子を組み込むのに用いられるだろう。光学デザインにおける新しい可能性を超コンパクトカメラシステムに応用すれば、光検出器の表面の幾何学的形状を慎重に最適化して、画像のひずみをさらに小さくすることができるだろう。さらに、こうしたカメラシステムの伸張性のある撮像素子を、自在に変形できる基板の表面に作製できるなら、ひずみがなく、適応性の高い焦点調節機構が実現するかもしれない。このように単純化されたシステムは、光学的透明性が大幅に向上しているはずであり、複数のレンズを使うことにより生じていた光学的損失を大幅に減らせる可能性がある。この長

所は、こうしたシステムの工業的応用を増やすだけでなく、基礎研究の分野においても、既存の材料では十分な光学的透明性を確保できなかった波長での研究を可能にするだろう。

我々は、凹型の光検出器システムのさらなる進歩を期待できるだけでなく、凸型の撮像素子の作製についても前進を期待できる。後者の技術は、極めてすぐれた動体視力をもつ昆虫の複眼に似た人工レンズや、360°の視野をもつ魚の目に似た人工レンズに利用できる。幾何学的に変形でき、伸張-圧縮性のあるエレクトロニクス素子やオプトエレクトロニクス素子が開発されれば、光学技術はさらに進歩し、生物にヒントを得た各種の素子を現実のものにしていくだろう。Rogersらは、電子アイカメラの開発を通じて、平面的なシリコンウエハーの制約から解き放たれたエレクトロニクスがどのように進歩するかを端的に示してくれたのである。 ■

染谷隆夫、東京大学工学系研究科附属量子相エレクトロニクス研究センター

1. Born, M. & Wolf, E. *Principles of Optics* (Pergamon, 1959).
2. Ko, H. C. et al. *Nature* **454**, 748-753 (2008).
3. Lacour, S. P., Jones, J., Wagner, S., Li, T. & Suo, Z. *Proc. IEEE* **93**, 1459-1467 (2005).
4. Someya, T. et al. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **102**, 12321-12325 (2005).
5. Choi, W. M. et al. *Nano Lett.* **7**, 1655-1663 (2007).