

魔法を織りはじめた スマートフォトニックテキスタイル

クニグンデ・チェレナック、クーン・ファン・オス、リースベト・ファン・ピーターソン

OLEDのようなオプトエレクトロニクスが、それらを堅く閉じ込めている封止状態から自由になり、衣服の内部やわれわれを取り巻く環境のいたるところに存在し、生活にじかに密着している——そんな世界を想像してみたい。

従来の電子回路はコンパクトで高レベルの機能を持つが、加工に使用できる最大基板寸法、基板の剛性や脆弱性といった制限がある。そのような電子回路を衣類などの柔軟性が必要な環境へ完全に一体化させることは不可能だ。その代案としてのスマートテキスタイル(織物)、例えば、有機発光ダイオード(OLED)ベースのテキスタイルはウェアラブルフォトニクス(着用可能なフォトニクス)の進化における新しい一段階である。そしてそれは、いくつかの具体的な一体化への挑戦にもかかわらず、今まで到達できなかった大面積センシングや照明のための表面へ新しい機能を組み込むことに対する意気込みの表れである。

技術者は個々のデバイスの機能性によってOLEDを評価しがちである。基本的なOLED技術研究は、デバイスの性能、製造工程、デバイスアーキテクチャ、材料選択、封止技術などの最適化を目標としている。しかし、製品デザイナーは、より大きなシステムに一体化されたときの「照明体験」や「デザイン美学」の観点でそれらを考察することによって違う方法でOLEDに向き合っている⁽¹⁾。オランダのフィリップス・リサーチ社(Philips Research)は、われわれのOLED研究の実施方法をデザイン中心の考察を含める方向で再検討



図1 LEDに結合された側面照明光ファイバはいくつかの興味深い衣服オプションを作り出すことができる。(資料提供:LumiGram)

する必要がある、と主張する。

OLEDは未来のディスプレイ?

フォトニックテキスタイルは、OLEDが画期的に新しい用途と製品に通じる主要な性能改善をもたらすであろう、将来有望な産業の象徴である。発光す

る布地を使ったカーテン、家具、衣類などで毎日のテキスタイルを置き換えるといったビジョンは、私たちを取り囲む日常の物体内にインテリジェンスとビジュアル・フィードバックを組み込むことで生気のない物体に生命を与えるであろう。

最新のフォトニックテキスタイルは、LEDなどの標準部品と導電性糸を織物中に一体化させるか、あるいは織物構造へと直接一体化させることが可能な繊維形状因子(光輝性高分子でコーティングされた繊維、表面または側面発光性繊維、サーモクロミック(熱変色)インクでコーティングされた糸など)を使ってオプトエレクトロニクスデバイスを開発するか、のいずれかをベースにしている(図1、図2a)^{(2)~(5)、(8)}。フォトニックテキスタイルの創製に向けたOLEDの組み込みは、テキスタイルのユニークな性質(通気性、快適性、低価格)とOLEDの有利な性質(拡散照明、低エネルギー消費)を組み合わせることを望む研究者たちの新しい動向である。

OLEDの利点は、テキスタイルにしばしば使用されてきたLEDに比して、より広い表面積にわたって均一に光を放射することだ。さらに、デザイナーからの反応によると、OLEDの利用で可能になったフォトニックシステムは、追加の光拡散層でテキスタイルを覆わ

ねばならないLEDベース強化テキスタイルに比べて、美学的に喜ばしい^{(6),(7)}。OLEDベースフォトリックシステムは、他の繊維ベースフォトリックシステム、例えばフォトルミネセンス、サーモクロミック、光学などの繊維を利用した織物に比べて、放射輝度が高い。そして最後に、OLEDは軽量で、フラットな形状を持ち、ポリマシート基板上に組み立てられればフレキシブルにもなる。

デザイン上の挑戦

フレキシブルOLEDはテキスタイルディスプレイ向けの完璧な選択肢のように思われるが、解決しなければならない重要な課題が残る。主な課題の1つは、特にフレキシブルなシート基板ベースデバイスにおけるOLEDの寿命である。今のところ、OLEDのために最良のバリアは、ガラス封止層であり、あいにく、これを利用するとテキスタイルへの組み込みに適さない硬いOLEDになる。

フレキシブルなOLEDはまだ市場化されていないが、デザイナーたちは入手可能なOLEDデバイスをすでにデモンストラータの衣装へ組み込んで使い始めている。カスタムメイドの高級婦人服、例えば、パリで最近開催されたコンサート・ツアーでブラック・アイド・ピースのファーギーが着用していた、体にぴったりフィットしたジャンプスーツ⁽⁹⁾ (図2b)におけるOLEDの早期採用はテキスタイルOLEDが直面する動作的な一体化に向けてのいくつかの課題を露呈した。この衣装はエキサイティングな新しい照明美学を使った心地よいOLEDベース衣服をデザインすることが可能であることを示している。しかし、OLEDパネルの硬さは見る目にも明らかであり、このタイプの衣服デザインを制限する要因のまま残

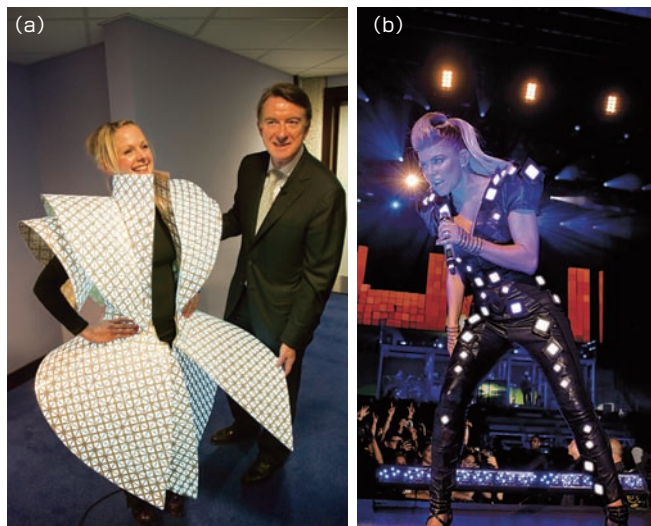


図2 集積エレクトロルミネセンスパネルを使ったデザイナーガレス・ピューのドレス(a; 資料提供: UK Department for Business, Innovation and Skills)と2011年のコンサートでブラック・アイド・ピースのファーギーが身につけていたOLED使用衣服(b; 資料提供: スタジオXO)は、美学的には興味深い、OLEDベースのウェアラブルフォトリックにおけるいくつかの課題を明瞭に示した。

っている。

一般に、今日のOLED技術を使った衣服の織物としての品質は芳しいものではない。これらは日常生活で着用できる衣服ではない。望ましい照明特性と織物の快適さとの間のギャップをさらなる技術開発によって狭める必要がある。

ギャップを狭めること

EU PlaceItプロジェクト(Platform for Large Area Conformable Electronics for InTegration; www.place-it-project.eu/)の目的は集積OLED部品を用いて非常に着心地の良い大面積テキスタイルベース回路を開発することだ。PlaceItプロジェクトのコンソーシアムメンバーとして、フィリップス・リサーチ社は、テキスタイル全体が快適さ、通気性、柔軟性/伸縮性などの望ましい性質を維持していることを保証する予定である。

第1段階として、われわれは、OLEDテキスタイルのデザイン向けに従来のアプローチを改善することが可能かどうかを解明するつもりだ。われわれのビジョンは、リジッドまたはフレキシブルなOLEDタイルをフレキシブルまたは

伸縮自在なテキスタイル生地デモンストラータ上に取り付けることである。個々のOLEDは個々の照明素子に電力を供給するための伸縮可能な相互接続または導電性糸を使って接続されるであろう。その結果は有望ではあるが、デザイナーからの初期プロセスフィードバックによれば、エンドユーザーのニーズを満たすにはほど遠い。

衣服デザイナーは照明要素を現在よりもはるかに巧妙にテキスタイルに組み込むことを望んでいる。われわれは、組み込まれた照明要素の全体的快適さへの影響を最小にするために、より布地に近いフォトリックテキスタイルを開発し、最終デザインの美学を高める必要がある。このデザインの必要性はOLED技術開発に対してどんな意味をもつであろうか? OLEDをいっそうテキスタイルの世界に近づけることは可能であろうか?

テキスタイル特性を持つOLED繊維の開発可能性を考察しよう。OLED照明素子の組み込みは巧妙であり、テキスタイル製造工程で実施され、その後の段階で照明装置を追加する必要がなくなることもあるだろう。個々の製品または衣服の要求に合わせて成形可能

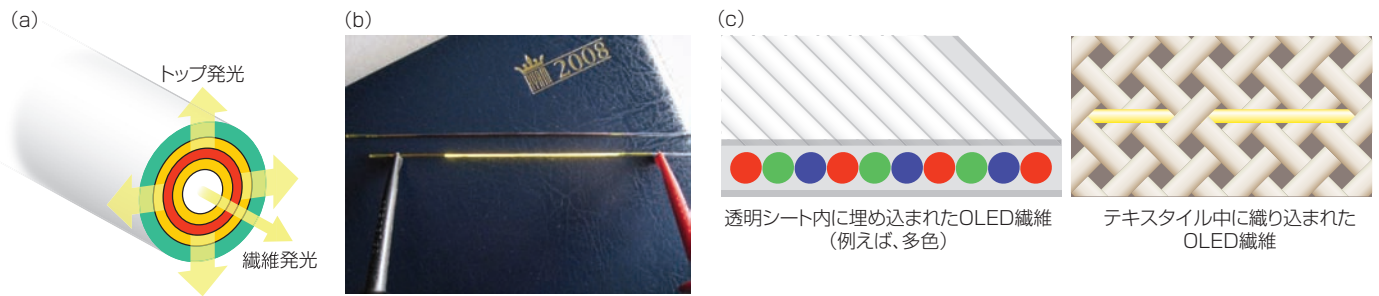


図3 繊維OLEDの可能な発光モードを示す図式(a)、フィリップス・リサーチ社によってガラス繊維上に組み立てられたOLEDの写真(b)、繊維OLEDの可能な統合法。(c;資料提供:フィリップス・リサーチ社のG・リーティーンズ、C・タナセ、H・リフカの諸氏)

な「OLED布地」を思い描くことができるであろう。これらのOLED布地はより多くの設計自由度を提供し、さまざまなニーズに合わせた調整を可能にするであろう。

OLED繊維のもう1つのユニークな性質は、従来の平面で平坦なデバイスのような1次元ではなく、それらの全表面積に沿って光を放出する能力であろう(図2b)。OLED繊維から作製されるフォトニックテキスタイルはデザイナーの戯れによって新しい様式が導入され3次元になる可能性がある。しかし、OLED繊維を製造することは可能であろうか? 答えはイエスだ。

研究者たちは、様々なタイプの糸や繊維上でOLED材料を加工することによってテキスタイル対応のOLED繊維を開発する方法を研究した。ここでは、適切な透明電極材料と適切なバリア層を見出すなどのOLED組み立て時に直面する通常の問題に加えて、繊維構造がユニークな挑戦となった。

これらのOLEDは、表面に沿ってまたは繊維軸に沿って発光するように加工することができるはずだ(図3a)。フィリップス社では、照明と装飾対象の両方に適した光ファイバの発光構造をガラス繊維の外表面上にOLEDを組み立てる方法で作製した(図3b)。ファイバの自然な円筒形状とファイバ内部の屈折面の洗練された変化を利用して、

光を効率良く抽出することができた。その小形化されたサイズと高いフレキシビリティとにより、発光セグメントの複数配置が芸術的な光の効果を表すテキスタイルまたはプラスチック内への組み込みを含めて可能になる(図3c)。

Texoledプロジェクトの研究者たちは、十分に均一であるが層間の適切な接着が難しいOLED層で繊維をコーティングすることに奮闘した⁽¹⁰⁾。表面が非常に粗いため、彼らのOLED繊維では発光を実現できなかった。しかし、米ミシガン大学では、テキスタイルOLED繊維による発光の実証に成功した⁽¹¹⁾。480 μ m厚みのポリイミドで被覆されたシリカファイバの周りに同心円状に形成されたOLEDデバイスの1つの1mmセグメントは順方向電気バ

イアス下で緑色光を放射した。このデバイスの発光は半透明外部電極を通して起こり、光の放射の広がりは無指向性であった。このタイプの繊維を大量に製造し、強力に作製できるならば、3次元の大面积発光表面が可能になるであろう。

大面积OLEDテキスタイルを織るのに利用できるOLED繊維が入手可能になれば、様々な新しいアプリケーションへの鍵が間違いなく開くであろう。しかし、この可能性の実現前に、多数の課題を乗り越えねばならない。しばらくは、比較的にリジッドなOLEDを従順なテキスタイルに組み込む発想が将来のウェアラブルフォトニックテキスタイル製品の最も有望なルートであり続けるだろう。

参考文献

- (1) <http://karinasiegmond.com/poeticrealismblog/>
- (2) D. Graham-Rowe, Nature Photon., 1, 1, 6-7(2007).
- (3) K.L. Yi Yang et al. Light-Emitting Diodes: Research, Manufacturing, and Applications IX, Proc. SPIE, Vol. 5739 (Mar. 7, 2005).
- (4) O. Shapira et al., Opt. Exp., 14, 9, 3929-3935(2006).
- (5) <http://material.media.mit.edu/?p=354>
- (6) K.H. Cherenack et al., IEEE Electron Dev. Lett., 31, 7, 740-742(2010).
- (7) www.photonics21.org/uploads/4Y4g2K7EIX.pdf
- (8) www.fashioningtech.com/profiles/blogs/gareth-pughs-unwearable-oled
- (9) <http://community.lighting.philips.com/blogs/lighttalk/2011/08/11/the-black-eyed-peas-costume-designers-behind-the-scenes>
- (10) www.mstonline.de/mikrosystemtechnik/smart-textiles/medien/2-Textoled_mst-Statustreffen_2009_Berlin.pdf
- (11) B. O'Connor et al., Adv. Mat., 19, 22, 3897-3900(2007)

著者紹介

クニグンデ・チェレナック (Kunigunde Cherenack)、クーン・ファン・オス (Koen van Os)、リースベト・ファン・ピーターソン (Liesbeth van Pieterse) はオランダのフィリップス・リサーチ社 (Philips Research) の科学者である。
e-mail: kunigunde.cherenack@philips.com; www.research.philips.com.