



# ワイヤレス電力伝送シート

染谷 隆夫<sup>\*,\*\*</sup>・桜井 貴康<sup>\*\*\*</sup>  
高宮 真<sup>\*\*\*\*</sup>・関谷 毅<sup>\*</sup>

われわれは、印刷技術を活用して大面積のワイヤレス電力伝送シートの試作に成功した。電子機器がシートに近づくと、有機トランジスタを用いた位置検出システムが機器の位置を非接触で検出する。次に、その位置にある電力伝送用のコイルがシート型の微小機械式スイッチによって選択され、必要な箇所だけ局的に電力を無接点で伝送することができる。選択的に電力を伝送する仕組みによって、電力伝送効率を80%以上に向上することができた。また、40Wの電力を伝送できることを確認した。印刷工法によるので大面積でも低コストであり、将来は生活空間の至るところに貼り付けて、電力供給のインフラとして利用することができる期待される。

**Keywords :** Organic transistor, printable electronics, large-area electronics, plastic MEMS

## 1. まえがき

人々が意識しない階層（アンビエント：環境）にエレクトロニクスが溶け込み、人々の生活を安心・安全・快適にする次世代技術としてアンビエント・エレクトロニクスが期待されている。環境に散りばめられた無数のエレクトロニクスはどうやって電力を供給するかは、重要な課題である。暗い場所に設置されれば太陽電池は使えない。また、常に移動しながら使用されるかもしれない。一方で、定期的に電池を交換する方式も考えられるが、環境に溶け込んだエレクトロニクスは数が多いため、逐一すべての電池交換を行うことは現実的でない。

本稿では、アンビエント・エレクトロニクス素子へ効率よく電力を伝送する新しい電力伝送技術<sup>[1-3]</sup>について報告する。最近、筆者らの研究チームでは、有機トランジスタとプラスティックシートでできた微小機械式マイクロスイッチ（プラスティック MEMS スイッチ）を集積化することに成功し、シート型のワイヤレス電力伝送システムを実現した（図1）。このシステムは、印刷技術を用いて作製されるため、大面積でも低コストに製造することができる。開発した電力伝送シートは、コネクターや電源ケーブルを必要とせず、いつでもどこでも置くだけでエレクトロニクス素子に数ワット以上の電力を無接点で伝送することができ

きる。

これまでにも、ワイヤレスによる電力伝送は実用化されているが、二つの場合に限定されてきた。ICカードのように微弱な電力を移動しながら伝送できる場合と、電動歯ブラシのようにデバイスを決められた場所にセットして電力を伝送する場合である。それに対して、今回は、大面積シート上で細かく分割された領域ごとに独立して電力が伝送できるシートを実現することによって、広い領域の任意の場所で40Wという大電力を80%以上の効率で伝送できた。

今回の電力伝送シートで重要な役割を果たす有機トランジスタは、シリコンなど従来の無機材料素子とは異なり、低温プロセスで高分子フィルム上に形成できるため、軽くて、曲げられるエレクトロニクスを実現するためのカギとなる技術である。また、印刷技術で製造できるため、面積の大きなものを作る場合の製造コストもシリコンに比べて格段に安い。この特徴を利用して、有機トランジスタは、無線タグや電子ペーパーの駆動回路などへの応用が期待されている。一方、筆者らは、有機トランジスタを大面積センサーヤ大面積アクチュエーターに応用する研究に取り組み、ロボット用電子人工皮膚、シート型スキヤー、超薄型点字ディスプレイを実現するなど有機トランジスタを大面積エレクトロニクスに応用する可能性を示してきた。

今回は、大面積エレクトロニクスの新たな展開として、

\* 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 〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1.  
e-mail:someya@ap.t.u-tokyo.ac.jp

分類番号 9.3

\*\* 東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構 〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1.

\*\*\* 東京大学国際・産学共同研究センター 〒153-8904 東京都目黒区駒場4-6-1.

\*\*\*\* 東京大学大規模集積システム設計教育研究センター 〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1.

A wireless power transmission sheet.

Takao SOMEYA<sup>\*\*\*</sup>, Takayasu SAKURAI<sup>\*\*\*</sup>, Makoto TAKAMIYA<sup>\*\*\*\*</sup> and Tsuyoshi SEKITANI<sup>\*</sup>.

\* Quantum-Phase Electronics Center, School of Engineering, The University of Tokyo(7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656)

\*\* Institute for Nano Quantum Information Electronics, The University of Tokyo(7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656)

\*\*\* Center for Collaborative Research, The University of Tokyo(4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153-8904)

\*\*\*\* VLSI Design and Education Center (VDEC), The University of Tokyo(4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153-8505)

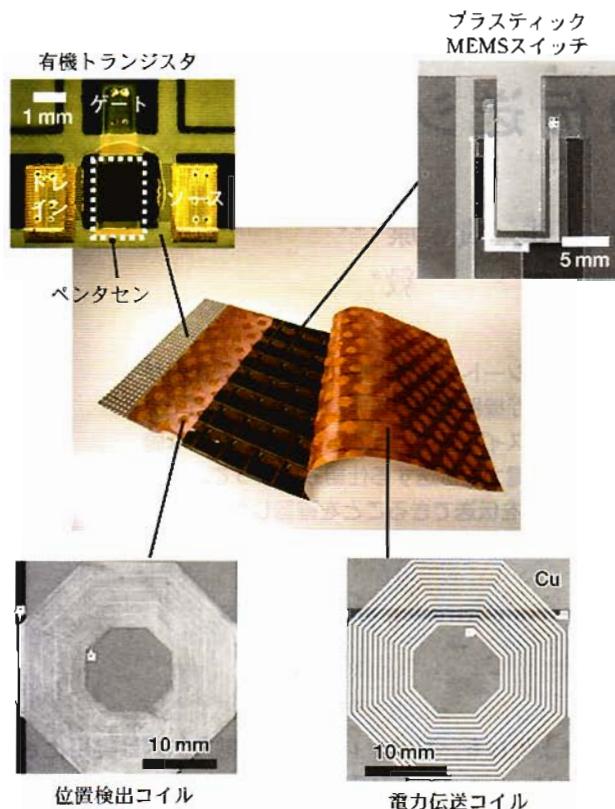


図1 ワイヤレス電力伝送シートのイメージ写真と構成。電力伝送シートは、4枚のシートを貼り合わせて実現される。有機トランジスタとプラスティックシートでできた微小機械式マイクロスイッチ（プラスティック MEMS スイッチ）は、印刷工法で作製されている。

印刷で製造された大面積のセンサーシートとアクチュエーターシートを集積化して、シート型のワイヤレス電力伝送システムの実現に成功した。電力伝送システムのプロトタイプは、実効面積が  $21 \times 21 \text{ cm}^2$  の正方形シートで、厚みは 1 mm で、重さは 50 g である。

## 2. 原理とデバイス構成

ワイヤレス電力伝送シートの原理と構成について述べる。システムは、有機トランジスタによる位置検出シートとプラスティック MEMS スイッチによる電力伝送シートを重ね合わせて作製され、 $8 \times 8$  の電力伝送セルが二次元格子状に並んでいる。

シートにエレクトロニクス機器が近づくと、位置検出コイルのインダクタンスが変化するので、この変化量を有機トランジスタによってリアルタイムで読み出し、機器の位置を非接触で検出する。次に、機器の位置に近い電力伝送セルをプラスティック MEMS スイッチで選択する。電力伝送には、コイル間の電磁誘導を用いるため、非接触で電力を伝送することができる。

新方式は、独自の印刷技術による有機トランジスタと MEMS スイッチで構成されるため、大面積回路も低コストに実現できる。有機トランジスタは、電力伝送を伴わない位置検出機能を担い、高速に位置スキャンを行う。有機

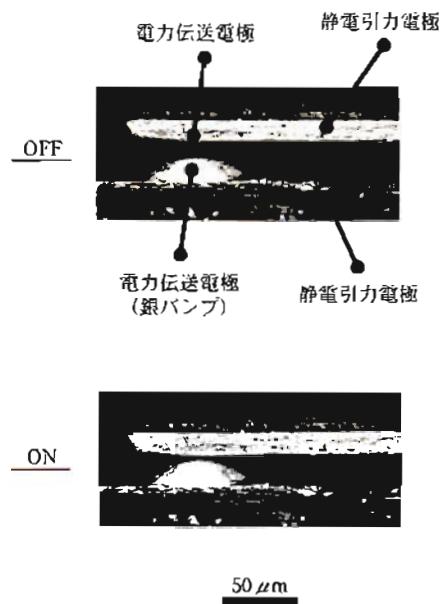


図2 プラスティック MEMS スイッチの断面顕微鏡写真。制御用の電極に電圧を印加すると、電力伝送用の電極同士が静電引力によって機械的に接触する。

トランジスタは、スクリーン印刷とインクジェットを組み合わせた独自の手法で作製されている。

一方、特定の位置にのみ電力を供給するためには、大電力を制御できるスイッチアレイが不可欠である。本研究ではこの目的で、印刷工法によるプラスティック MEMS スイッチを新たに開発した。プラスティック MEMS スイッチは、スイッチング速度は低いが、オン時の抵抗が低いため、低損失に大電力を伝送することができる。印刷によるこれら 2 種類のシート型デバイスを組み合わせた研究成果は、世界初である。

図2に MEMS スイッチの断面顕微鏡写真を示した。静電引力電極に電圧を印加すると、お互いが引き付けあい、電力伝送用上部電極と下部電極が機械的に接触する仕組みとなっている。70 V の電圧を静電引力電極に印加すると、銀の上部電極と下部電極同士が接触し、 $15 \Omega$  という低いオン抵抗が達成される。駆動電圧 70 Vにおいて、MEMS スイッチの周波数応答は、4 Hz 程度であった。この動作電圧ならびに動作周波数は、微細化によって大幅に改善することが可能である。

## 3. 電力伝送実験

位置検出システムの仕組みを図3に示した。標準信号発生器から出力された高周波の交流電流は、有機トランジスタを介して、位置検出コイルに入る。その出力は、 $10 \text{ M}\Omega$  の抵抗両端の電圧  $V_s$  として観測する。受信コイルの有無によって電圧  $V_s$  が変化する。この変化を有機トランジスタで電子式にスキャンし、受信コイルの位置を同定することができる。有機トランジスタと位置検出コイルを接続した回路は、受信コイルがないとき 2.95 MHz の周波数にお

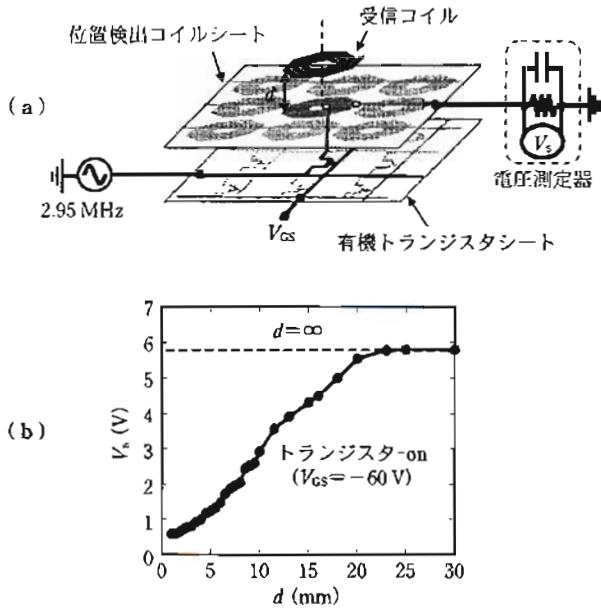


図3 位置検出システムの構成を模式的に示した(a)。位置検出コイルと受信コイルの距離と出力電圧の関係を示した(b)。点線は、受信コイルがないときの出力電圧を示している。

いて共振しており、観測される電圧  $V_s$  は 6 V である。位置検出コイルに受信コイルが接近したときには、回路内のインピーダンスが変化するため共振周波数が変わり、観測される電圧が減少する。受信コイルと位置検出コイルの距離と観測される電圧の関係を図 3 に示す。受信コイルと位置検出コイルが 1 mm の距離まで接近したとき、観測される電圧は 90% 以上変化しており、非接触位置検出システムの感度が高いことがわかる。

機器の位置が検出されると、今度は電力伝送システムにおける電力伝送コイルの一つが MEMS スイッチで選択される。送信コイルに入力される交流電源の周波数は 13.56 MHz である。図 4 に、電力伝送シートの伝送効率と受信電

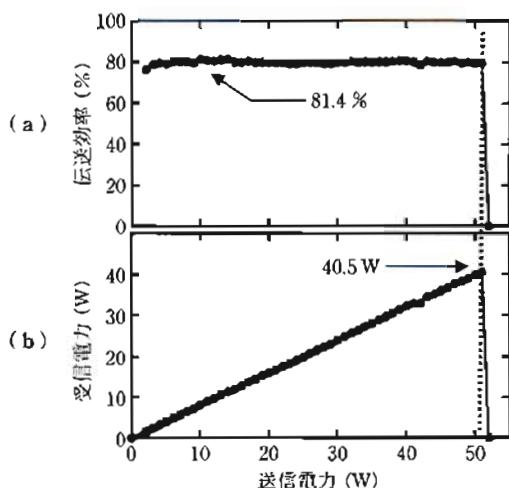


図4 電力伝送システムにおける電力伝送効率(a)と受信電力(b)を送信電力の関数として示した。点線は、MEMS スイッチの電力伝送電極が壊れる電力を示す。



図5 電力伝送実験のデモ写真。21 個の発光ダイオードで飾られたクリスマスツリーを電力伝送シート上に置き、2 W の電力を無接点で伝送し、点灯させた。

力の関係を示した。機器の置かれた位置だけに選択的に電力を伝送できるので、電力伝送の効率を 81% まで高めることができた。また、外径が 1 インチ寸法のコイル一つ当たり、受け側で最大 40 W の電力を伝送することに成功した。

さらに、この電力伝送システムを用いて、クリスマスツリーに飾り付けられた発光ダイオードを光らすことに成功している(図 5)。ツリーの底にはシート状のコイルが貼り付けられており、このコイルから直列に 21 個の発光ダイオードが接続されている。2 W の電力を無接点で伝送して点灯させた。

#### 4. 集積回路

本章では、電力伝送シートの集積回路について述べる。図 6 に電力伝送シートの回路図を示した。回路設計の大重要なポイントは、伝送効率をいかに向上できるかということにある。

すでに述べたように、高効率の電力伝送を実現するため、開発されたシートでは、電力を伝送する領域を空間的に細分化して二次元コイル・アレイを構成し、必要な場所だけを選択的に活性化できる仕組みになっている。しかし、機器の位置を検出しても、なおコイルの微妙な位置ずれによって、電力伝送効率が劣化してしまう問題が残る。そこで、本研究では、送信コイルと受信コイルの中心位置がずれた場合にも、高い伝送効率が維持できる技術を開発した。

前章で述べた実験では、同一形状の送信コイルと受信コイルを用い、1 個の送信コイルのみ活性化していた。この場合の、電力伝送効率の位置ずれ依存の実測結果を図 7 に示す。この図では、送信コイルと受信コイルの中心間の位置ずれを  $y$  とし、位置ずれ量を送信コイルの間隔 25.4 mm で規格化した unit という単位で扱っている。位置ずれがない場合( $y=0$ )は、電力伝送効率は約 60% と高い。しかし、位置ずれが増加すると電力伝送効率は急激に減少し、例えば、位置ずれが 0.5 unit、すなわちコイルの半径に相当する量だけずれた場合、電力伝送効率は 5% 以下になってしまう。一方で、受信コイルの直径を送信コイルの 2 倍に変更

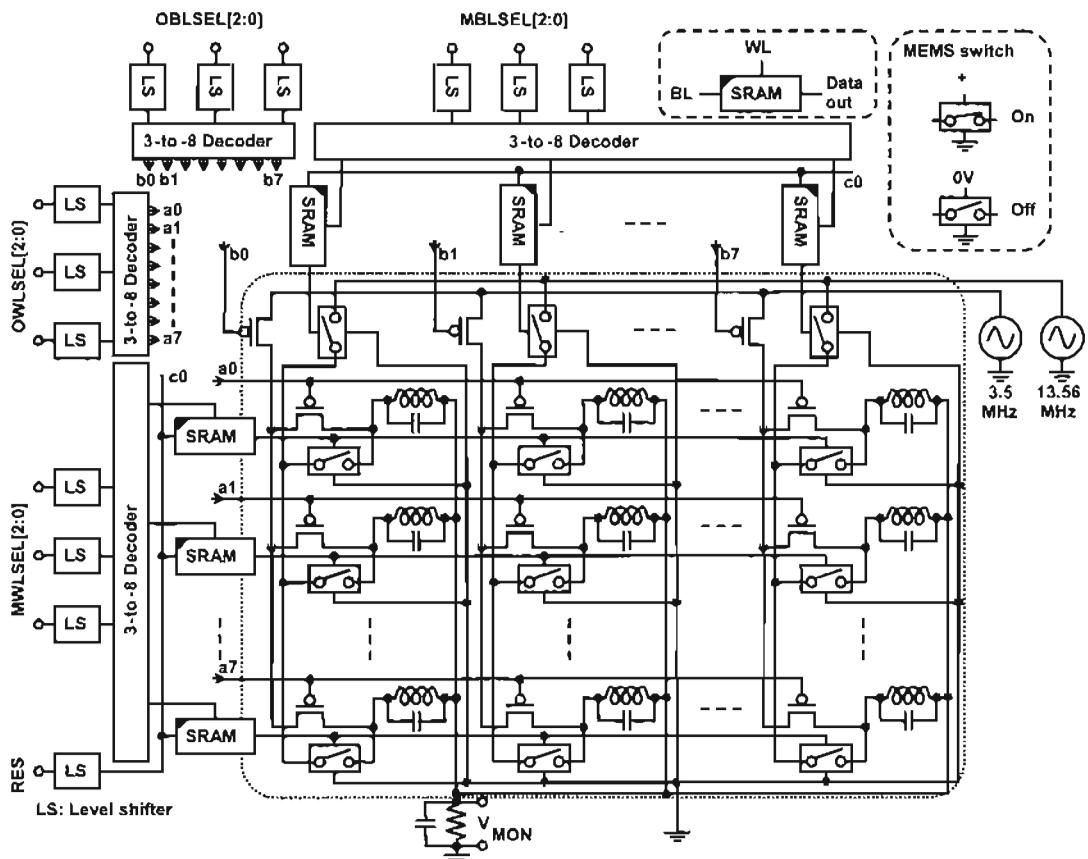


図6 ワイヤレス電力伝送シートの回路図。1枚のコイルシートを電力伝送と位置検出に用いるために、プラスティック MEMS スイッチと有機トランジスタを混載した構成になっている。また、複数の送信コイルを同時に活性化させるため、有機トランジスタの SRAM を利用している。

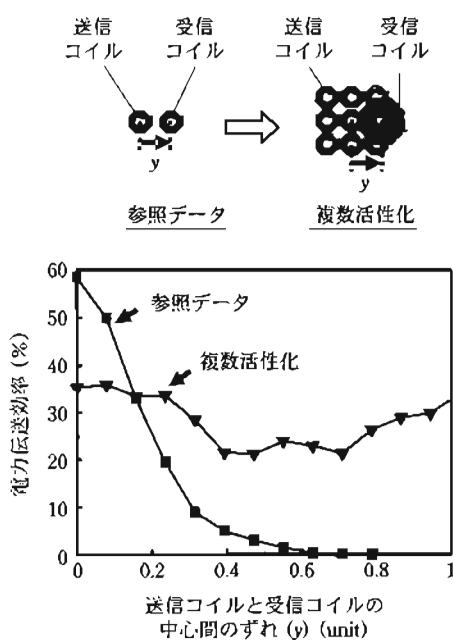


図7 送信コイルと受信コイルの中心のずれが、電力伝送効率に与える影響を測定した。参考データは、送信コイルと受信コイルが同じものを用いた場合である。複数活性化として示されているデータは、送信側のコイルを3×3個同時に活性化されている場合である。

し、さらに、送信コイルを3×3個同時に活性化させる。図7に示したように、さまざまな位置ずれ量に対して電力伝送効率が安定して高い傾向があることがわかった。

本研究では、複数コイルを同時に活性化するために、有機トランジスタでSRAMを構成する集積回路を実現している。従来の行/列デコーダーでは、送信コイル・アレイの1個のコイルしか選択できなかったが、行/列選択に有機トランジスタのSRAMを用いることにより複数個の送信コイルが同時に選択できるようになった。

前章の伝送実験では、位置検出と電力伝送のためのコイル・アレイとして、2枚の異なるコイルシートを用いていた。この場合、コイル間の電気的干渉が問題となり、またコスト増になる。そこで、図6に示したように、1枚のコイルシートで電力伝送と位置検出を行うための回路技術を新たに開発した。特に、プラスティック MEMS スイッチと有機トランジスタを混載した集積回路を試作して、実際に動作確認に成功している。

## 5. 課題と将来展望

実用化に向けては、有機トランジスタとプラスティック MEMS スイッチの信頼性と安定性向上することが重要である。MEMS スイッチは、大気中では10,000回程度の寿命しかないが、窒素雰囲気では2けた程度改善できるこ



図8 電力伝送シートをおもちゃの家の内側に貼り付けて電力伝送実験を行った。2Wの電力を伝送し、15個の発光ダイオードを点灯させた。このシートは軽量・薄型であるため、電子壁紙や電子カーペットのように壁や床に貼り付けることが容易であり、コンセントやケーブルのない新しいライフスタイルを実現していくと期待される。

とを実験で確かめている。そこで、有機トランジスタとともに、MEMS スイッチについても適切な封止膜を施すことによって、より寿命を延ばすことができると考えられる。また、現在のデバイスでは、上下の電極パッドをつなぐビア部分の抵抗による熱損失が少なくない。ビアを含む配線抵抗を低減することによって、さらに伝送効率や伝送電力を向上できると期待される。

この電力伝送シートは、プラスティックシート状に作製されているため、軽量・薄型であり、曲げることもできる。そのため、机、床、天井、壁など生活空間のいろいろなところに埋め込むことが容易であり、将来は、さまざまな電子機器に電力を伝送するためのインフラとして利用されることが期待される。例えば、机の上におかれた携帯電話やノートパソコンに給電・充電することができる。また、床に埋め込めばコンセントが届かない場所でも掃除機などを使い続けることができる(図8)。コネクターを必要とせず、電磁誘導を利用しているため太陽電池が使えない暗闇でも簡単に電力伝送できる。コンセントや電源コードから人々が解放されて、もっと自由に電子機器が使用できるなど、大きな波及効果が期待される。

## 6. む す び

本稿では、最近筆者らが開発に成功した電力伝送シートの原理と特性について解説した。電磁誘導を利用した無接点型の電力伝送方式は実用化されているが、シート型は世界初である。印刷工法で製造される有機トランジスタとプラスティック MEMS スイッチを組み合わせることによっ

て、シート型デバイスが電力用途に利用できる可能性を示すことができた。今後、信頼性・安定性の問題が解決され、印刷工法による大面积エレクトロニクスの可能性がますます広がっていくことを期待したい。

## 謝 辞

本研究の一部は、文部科学省科学技術振興調整費、科研費、JST/CREST の助成を得て進められた。また、研究に参加した研究室メンバーに感謝する。

## 文 献

- 1) T. Sekitani, M. Takamiya, Y. Noguchi, S. Nakano, Y. Kato, T. Sakurai and T. Someya : *Nature Materials* 6, 413 (2007).
- 2) M. Takamiya, T. Sekitani, Y. Miyamoto, Y. Noguchi, H. Kawaguchi, T. Someya and T. Sakurai : # 20.1, 2007 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC), p. 362, February 2007.
- 3) T. Sekitani, M. Takamiya, Y. Noguchi, S. Nakano, Y. Kato, K. Hizu, H. Kawaguchi, T. Sakurai and T. Someya : 2006 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM), December 2006.

(2007年7月9日 受理)

さわやか たかひろ  
染谷 隆夫



1997年東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻博士課程修了、博士(工学)。東京大学助手、講師を経て、03年から工学系研究科量子相エレクトロニクス研究センター助教授(後に、准教授)、現在に至る。有機トランジスタ、有機・分子エレクトロニクスの研究に従事。

さくとう たかやす  
桜井 貴康



1981年東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻博士課程修了、工学博士。(株)東芝入社、CMOSメモリー、高速プロセッサー、世界初の MPEG 2 用 LSIなどを研究開発、96年より東京大学教授。高速、低消費電力 LSI 設計の研究に従事。IEEE AdCom メンバー、IEEE フェロー、IEEE distinguished lecturer.

たかみや まこと  
高宮 真



2000年東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻博士課程修了、博士(工学)。NEC入社、高速マイクロプロセッサーの回路設計、および、LSI上のパワーインテグリティ、シグナルインテグリティなどを研究開発。05年より東京大学大規模集積システム設計教育研究センター助教授(後に、准教授)、現在に至る。ワイヤレス通信向けの LSI 設計、有機トランジスタ回路設計の研究に従事。

さとうじ ひろ  
鶴谷 豪



2003年東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻博士課程修了、博士(工学)。同年から東京大学工学系研究科量子相エレクトロニクス研究センター助手(後に、助教)、現在に至る。有機トランジスタ、有機・分子エレクトロニクスおよび有機半導体の物性物理に関する研究に従事。