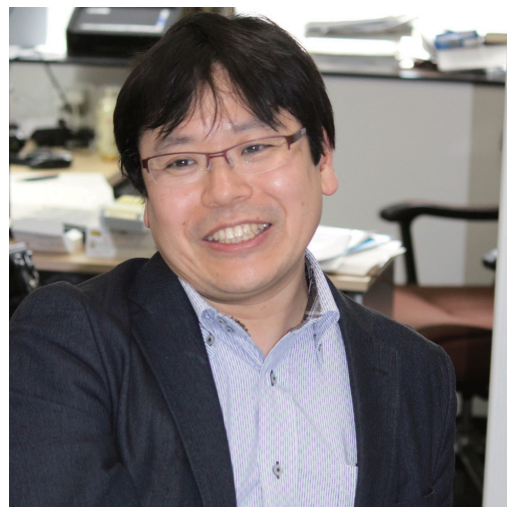


早稲田大学 理工学術院

渡邊孝信 教授

シリコンデバイスや絶縁膜の研究を通じて、計算科学の新たな可能性を追求する。理論計算と実験の両輪を回しながら、材料からデバイス、システムまで、エレクトロニクスを縦断的に研究している。専門分野は半導体界面物性、電子デバイス工学、計算物理。井上科学振興財団第16回井上研究奨励賞(1999年度)、早稲田大学ティーチングアワード(2015年度)。



今後の半導体産業を担う新機軸とは!?

これまで半導体業界を牽引してきた技術戦略に「ムーアの法則」があります。これは「半導体集積回路のトランジスタ数は1年半ごとに2倍になる」というものですが、半導体産業は、この50年間、主に回路線幅を微細化することで集積度を上げてきました。しかし、この「ムーアの法則」はすでに行き詰まりをみせています。これからは原点に立ち返り、新しい応用の開拓によって技術を発展させていく必要があると思います。

そこで今期待されているのが、「IoT(モノのインターネット)」の研究です。これは簡単に言うと、すべてのモノに通信機能をもたせ、さまざまな情報を収集しようとする試みで、実現すればIT空間と実態空間の融合した世界が訪れるかもしれません。

もちろん課題はあります。例えば、すべてのモノに通信機能を組み込もうとすれば、電池の交換は非効率かつ非現実的になってきますので、できるだけ消費電力をおさえ、通信機器自体に発電機能を搭載しなければなりません。そこで求められるのが、熱や電磁波などの自然環境にある微小なエネルギーから情報処理に必要な最低限の電力を生み出すエナジーハーベスタ、つまり発電デバイスなのです。

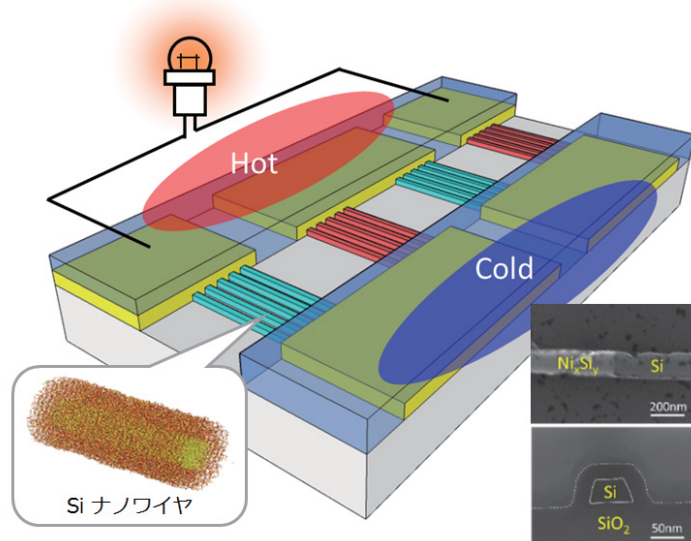
小型の熱電デバイスが環境・防災・医療の在り方を変える

消費電力をおさえ、かつ電池の交換も不要。こうした条件を満たすデバイス開発のプロジェクトが、現在私が最も力を入れている「熱を使って発電する熱電デバイスの開発」です。シリコン基盤の上にナノワイヤを超LSI製造技術で加工し、そこに温度差を生じさせることで発電する仕組みを構築したいと考えています。この研究は、大阪大学と

静岡大学と共同で取り組んでいます。嬉しいことに、国の科学技術研究を推薦するプロジェクト「CREST」から支援を受けることができました。

2015年の12月からスタートしたこの研究ですが、ポイントは「熱エネルギー」を利用することにあります。エネルギーと聞くと、太陽エネルギーを思い浮かべる人は多いかもしれませんが、もちろん太陽エネルギーは利便性の高い資源ですが、常に光を受け続けることはできません。つまり四六時中発電させるのは難しいということです。しかし、熱は温度差があれば電力を生み出すことができますので、暗闇や皮膚の上でも発電させることができます。温度差から効率よく電気を起こすには、熱を伝えず電気のみ通す材料が必要ですが、そのような性質をもつ材料は稀で、ほとんどが熱も電気も通してしまうのが難しい点です。

そうしたなか、私たちが注目しているのがシリコン。現在の半導体産業で広く利用されている素材です。実はこのシリコン、これ自体に



オン・シリコン熱発電デバイス



熱を電気にする性質があることが、2008年くらいからわかってきました。シリコンもナノワイヤレベルの細い線に加工すると、熱が全くといっていいほど伝わらず、電気だけをしっかりと通すことが明らかになりました。また、比較的簡単に制御ができ、再現性の高い素材でもあります。再現性が高いというのは、生産技術においてとても重要なファクターですからね。

ただ、やはり課題もあって、微細な構造に温度差をどう設けるか、このシステムの構築に頭を悩ませています。温度は状況や場所によって絶えず変化しますから、どのような状況でも温度差を維持できるようなものを開発しなければなりません。すでにナノワイヤの技術はあり、計算科学と先端計測の手法は私たちの得意分野ですので、これらをどう活かせるかがこの研究の鍵でしょうね。

私たちはこの熱電デバイスを小型、かつ低コストでつくることを目指していますので、実現すれば、さまざまなモノに組み込むことができますでしょう。そうなれば、防災や医療分野だけではなく、スマートハウスやカーエレクトロニクスといったさまざまな分野に応用できるようになる。結果、半導体産業が活性化してくれば、研究者冥利に尽きますね。

昆虫型ロボットが大空を舞う日が訪れる!?

私の研究室では、エレクトロニクスの研究を原子レベルからシステム応用まで幅広く展開しています。そのなかのひとつが羽ばたき型自律飛翔ロボットの開発です。インターネットに接続された昆虫型ロボットが、空を飛びながら必要な情報を収集するイメージでしょうか。

よく「ドローンを使えば」と言われますが、ドローンは飛行中、絶えずプロペラを回す必要があるため、航続距離と時間に限界があります。改善はできるでしょうが、飛躍的に進歩する見通しは立っていません。

一方、昆虫型のロボットは、離陸のときは羽ばたく必要がありますが、それ以降はグライダー飛行でも移動できるので、少ない電力で遠くまで飛行することができます。それにルンバのように電池を自分で充電するようなシステムを搭載すれば、利便性はかなり高まります。

実は、このロボット開発はすでに企業と共同研究を始めています。ロボットの「眼」に相当する高速画像処理技術の開発に成功しています。この技術は「ロボットビジョン」と呼ばれますが、街中や建物の中など線分情報の多い環境での空間認識に利用できます。

いつか、これらの画像センシング技術を昆虫型ロボットに搭載したいと考えています。完成すれば、大気の温度を細かく収集して、天気予報の精度をあげることもできますし、CO₂やPM2.5、酸性濃度などの情報を集め、環境問題に貢献することもできるでしょう。それだけではなく、東日本大震災のときのようにメルトダウンした原子力発電所へ飛ばして、内部状況を観察することにも役立つはずです。まあ、二度とあってはならない事ではありますが……。

代表論文

1) Tomofumi Zushi, Kenji Ohmori, Keisaku Yamada, and Takanobu Watanabe, "Effect of a SiO₂ layer on the thermal transport properties of <100> Si nanowires: A molecular dynamics study," *Physical Review B* Vol.91, 115308, (2015). doi:10.1103/PhysRevB.91.115308.

2) Akito Suzuki, Takefumi Kamioka, Yoshinari Kamakura, Kenji Ohmori, Keisaku Yamada, and Takanobu Watanabe, "Source-induced RDF Overwhelms RTN in Nanowire Transistor: Statistical Analysis with Full Device EMC/MD Simulation Accelerated by GPU Computing," *IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM 2014) Extended Abstract*, 30.1, pp.713-716 (2014). doi:10.1109/IEDM.2014.7047139

3) Takefumi Kamioka, Hiroya Imai, Yoshinari Kamakura, Kenji Ohmori, Kenji Shiraishi, Masanori Niwa, Keisaku Yamada, and Takanobu Watanabe, "Current fluctuation in sub-nano second regime in gate-all-around nanowire channels studied with ensemble Monte Carlo/molecular dynamics simulation," *IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM 2012) Extended Abstract*, 17.2, p.399-402, (2012). doi:10.1109/IEDM.2012.6479058

4) Takanobu Watanabe, Kosuke Tatsumura, and Iwao Ohdomari, "New Linear-Parabolic Rate Equation for Thermal Oxidation of Silicon," *Physical Review Letters*, Vol. 96, pp.196102.1-196102.4, (2006).doi:10.1103/PhysRevLett.96.196102

5) Takanobu Watanabe, Hiroki Fujiwara, Hidekazu Noguchi, Tuji Hoshino, Iwao Ohdomari, "Novel Interatomic Potential Energy Function for Si₂O Mixed Systems", *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 38, pp.L366-L369, (1999). doi:10.1143/JJAP.38.L366

