

訪問日 2019年8月19日

東京大学 工学系研究科 マテリアル工学専攻 長汐 晃輔 准教授

研究題名：IoT利用を目指した2次元層状環境発電素子

研究室を訪問し(図1)、助成対象研究の内容・独自性やこれまでのご経験などをおうかがいしました。

#### まず、対象研究の応用領域を教えてください

これからのIoTの世の中では今までより桁違いに多くのデバイスが使われるようになってきます。IoTデバイスはあまり大きなエネルギーは必要としませんが、電源をどう確保するのかに難しさがあります。電池を電源としても、それが切れたら膨大な個数のデバイスを誰が交換するのか、ということが大きな問題です。そこで、デバイスの周辺環境(光、熱、振動など)から電気を得る「環境発電」というものが考えられています。ただ、小さなデバイスサイズに見合った小さな発電素子で「環境」から十分な電力をデバイスに供給できる能力がまだないのが現状です。デバイスの消費電力を下げることに取り組んでいく方向もありますが、私たちはこの「環境発電」の能力を向上したいと考えて、「振動発電」素子材料の研究に取り組んでいます。

#### この研究に取り組んだきっかけはどのようなことでしたか

まず第1のきっかけは、2006年にジョージア工科大学のWang先生が、ZnO(酸化亜鉛)のナノワイヤーを撓ませることで発電できることを実証したNatureの論文でした。普通は圧電材料の膜を電極で挟んで応力が掛かる電気を取り出すのですが、この論文で初めてナノレベルの素子でも発電ができるということが実証されました。デバイスがどんどん小さくなっていくIoTの時代にはフィットしてくる技術なので世界的には"Nano Generator"として注目されています。しかしながら、なぜか日本ではナノスケールでの研究している人はほとんどいません。この分野は、米、中、韓が強いですが、私たちは日本で革新的な圧電材料を創製しようと考えています。

ただ、この論文でのZnOの様なセラミックスは脆くて壊れやすいものです。電源として長期間使うには耐久性に問題があるので、異なる種類の優れた材料が必要だと考えていました。そこで第2のきっかけとなったのは、2015年に二次元層状物質のひとつである「SnS(硫化スズ)」が大きな圧電定数(大きいほど同じ振動でも大きな電力に変換できる性質：図2グラフ右上ほど良い)を持っていることが、理論的に示されたことでした。この「SnS」は伸縮性が高く壊れにくい物質で、その伸縮性の高さは圧電定数の高さの要因(図2右：ヤング率が極小)にもなっています。また、他の二次元層状物質に比べて化学的安定性も高く、毒性もありません。私たちはこれまでグラフェンを中心として二次元層状物質の研究を進めてきたので、まだ理論が示されただけで実証できていないこの「SnS」で優れた圧電素子を作ってやろうと思ったわけです。

二元系層状物質の研究を続けてきましたがこの研究はこれまでとは趣旨が異なり、研究室の中では「萌芽的」な位置づけで、特別な研究だと言えます。

## この研究の独自性はどの様な点ですか

「SnS」は熱電素子などでこれまでも作られてきたものですが、圧電素子としては難しさがあります。通常、二層目の結晶は一層目と逆向きに成長し、更に三層目は二層目の逆になるので、積層すると各層は互い違いの方向になります。そのため、分極が交互に逆向きで打ち消しあってしまい偶数層では発電できません。また、その層数制御は極めて難しくこれまで単層ですらできていませんでした。私たちは、基板、圧力、温度などの工夫で世界で初めて単層成長に成功し、それが圧電結晶であることも確認できました。

最近では、複数層でも同じ向きの結晶が積層できる可能性が確認できつつあり、これができると単層より何倍もの圧電性能を持つ素子が得られると考えられます。

## 10年ほど前までとそれ以降では研究内容がかなり変わった様ですが

大学を卒業してから数年は Si 系材料の「結晶成長」に関する研究をやっていましたが、東京大学に来て急に「デバイス」の研究をやることになりました。それまでは、材料物性にもほとんど着眼せず結晶化過程そのものの研究だったところから、「デバイス」というのは分野が違いすぎて何からやったらいいのか全く分かりませんでした。でも、やってみるとそれぞれの分野で研究の面白さがあります。半導体デバイス分野で色んな手段を利用して研究していることは非常に面白く、酸化物の状態を酸素の同位体を使って解析することなどは「結晶成長」だけをやっているときは全く知らなかったことでした。最初は大変苦労しましたが、非常に良い転機になったと思います。

本研究では、先に述べた複数層での性能向上には「結晶成長」の制御が今後のブレークスルーのキーになって来ると考えています。「デバイス」の研究を突き詰めてきた結果、逆に過去に行っていた「結晶成長」のスキルが今後の研究に生きてくる状況になってきたと思います。

## 研究の面白さ、楽しさはどの様なときに感じられますか

私は、発見した現象が「面白い！」と思ったら、とにかく他の人に話したくなります。自分だけがテンション上がっていて、学生はほとんど聞いてくれないことも多いですが（笑）。発見したことが小さなことでも大きなことでも、それを誰かに話していることがとても楽しいですね。

## 後記

実験室見学では、長汐先生が自ら顕微鏡を操作しながら実際の基板上の素子の様子を詳しく説明して下さいました。上記の研究説明の中でも私たちの質問に対して、「そこすごく大事なところですよ」「実は、それを将に今確認しているところなんですよ」と各所で力のこもった熱い解説が印象的で、まだ萌芽段階の研究の芽をととても楽しく育てているんだなと感じました。未公開のデータやこれからのやりたいこと、研究の裏話など色々とお話して頂いたことはどれも面白く(また、笑いも多く)、本当は書きたいことが数々あるのですが、そこは先生の論文発表までお待ちいただきたいと思います。

『振動による発電効率世界一のナノデバイスの誕生！』、期待しています。

(矢崎財団技術参与 池田実)

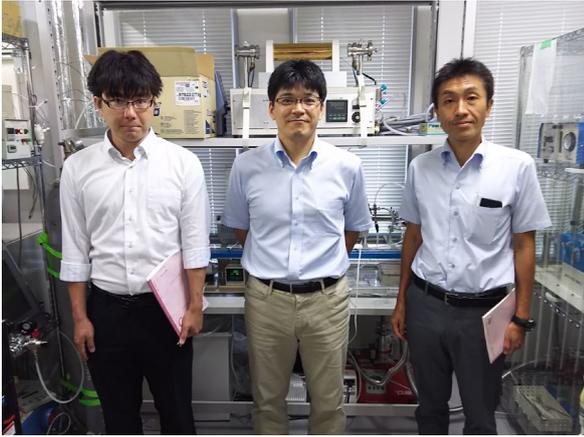


図1 中央が長汐先生

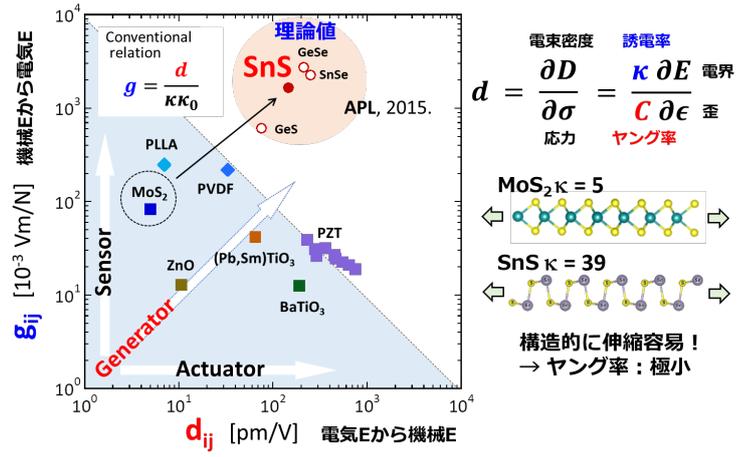


図2 SnSの圧電特性と要因