

山梨県若者海外留学体験人材育成事業(大学生等コース)

県政の課題(テーマ)報告書

平成27年 4月 30日

山梨県知事 殿

本人氏名 竹内 嵩裕

留学先 オハイオ州立大学Kawakami研究室

留学期間 平成26年9月26日

～平成27年3月30日

研究の課題(テーマ)

山梨の新産業・成長産業の拡大発展を進めるためには何が必要か

提出内容

与えられた県政の課題(テーマ)の解決に導く考え方及び対応策等

次頁以降に与えられた県政の課題の解決に導く考え方及び対応策等を示す。

添付書類

詳細について、図・表・写真などの資料も含めてA4縦版5枚以内にまとめて報告してください。

※パソコン・ワープロの使用可(使用する文字は12ポイントとしてください。)

※図・表・写真等を用いて可

山梨県若者海外留学体験人材育成事業（大学生等コース）
県政の課題（山梨の新産業・成長産業の拡大発展を進めるためには何が必要か）
報告書

山梨大学大学院 医工農学総合教育部 工学専攻電気電子コース 竹内嵩裕
留学先：オハイオ州立大学 Roland K. Kawakami 研究室
留学期間：平成 28 年 9 月 26 日～平成 29 年 3 月 30 日

- 与えられた県政の課題（山梨の新産業・成長産業の拡大発展を進めるためには何が必要か）の解決に導く考え方及び対応策等

近年のインターネットやスマートフォンなどのモバイル通信機器に関する技術の急峻な発展に伴い、世界中で生成されるデータの増加は指数関数的に増加し続けており、今後もこの増加は続くと考えられている（図 1）⁽¹⁾。それに付随して、データを保存するためのメモリの容量の増加も必要となっている。その一方で、現在の Si 半導体の回路間のスケールは十数 nm～数十 nm となっており、これ以上間隔を狭める（小型化を図る）と量子論的な影響が大きく従来のシリコン（Si）をベースとした半導体メモリの現在のサイズを保持したままでの容量の増加は限界を迎えつつあるといわれている。

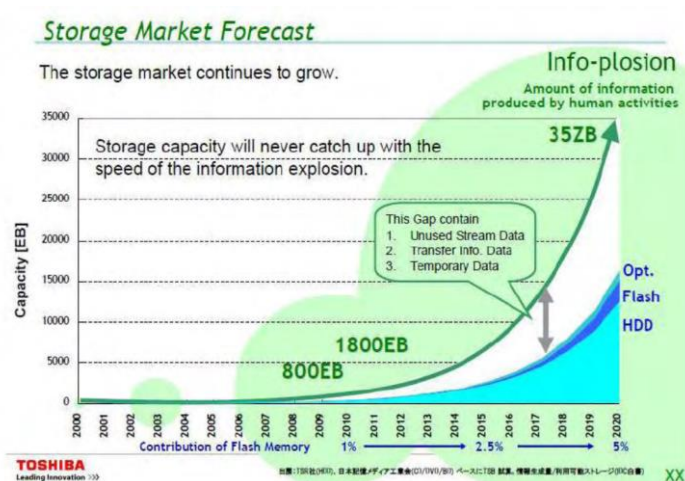


図 1. 情報量の変化

この限界を突破するためのブレークスルーの一つとして、従来のエレクトロニクスに加え、電子の磁石の性質であるスピン（自転）を利用した「スピントロニクス」を用いたデバイス「スピントロニクスデバイス」がある。このスピントロニクスデバイスは大幅な省エネルギー化や小型化、メモリの大容量化など幅広い応用が期待されている。

同様に、2004 年に発見された炭素原子が六角形格子状に並んだ単原子層の素材「グラフェン」⁽²⁾（図 2）⁽³⁾ は 2010 年にノーベル物理学賞を受賞し、建築資材として用いられれば、鋼鉄の数百倍、ピアノ線の 1000 倍以上の強度を持ち、熱伝導度や電流密度など非常に多くの優れた特性を持ち、特にスピンにおいてはスピン寿命、スピン伝搬距離において優れた特性を有している（表 1）⁽⁴⁾。

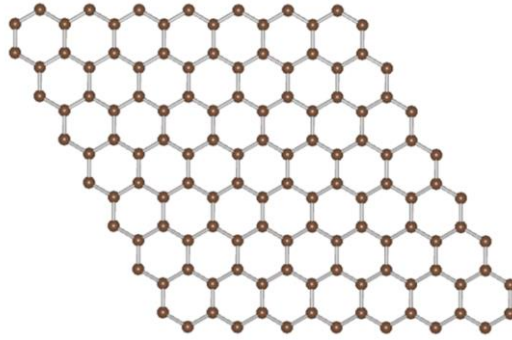


図 2. グラフェンの構造

表 1. グラフェンの特性

特 性	値	他の物質との比較
破断強度	42 Nm^{-1}	鋼の100倍以上
弾性限界	~20%	—
室温でのキャリア移動度	$200000 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$	Siの100倍以上
熱伝導度	$\sim 5000 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$	銅の10倍以上
最大電流密度	$>10^8 \text{ Acm}^{-1}$	銅の100倍
光吸収係数	2.3%	GaAsの50倍

現在、スピントロニクスやグラフェンに関する研究は日本のみならず世界中で盛んにおこなわれているが、その多くが製品化には至っていない。しかし今後、基礎研究の枠を超え、具体的な製品開発に発展することが予想され、アカデミックな機関だけでなく多くの企業が参入していくことが期待できる。そこで、県政の課題である山梨の新産業・成長産業の拡大発展に向けて、いち早く、近い将来世界規模での新産業・成長産業となるであろうスピントロニクスやグラフェンに関する研究・開発を行う企業の誘致等を強めることが非常に有効であると考え。ロールモデルとしては、国立研究開発法人物質・材料研究機構（NIMS）や大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構（KEK）など多くの研究機関や筑波大学などを特定の範囲に集積することで一層の研究活動の発展を目指している茨城県（つくば市）がある。

さらに、平成 39 年（2027 年）に開通予定の超電導リニア⁽⁵⁾によって首都圏や大都市圏への交通アクセスが飛躍的によくなり、人や物の動きが活発になることもなることも強みである。さらに、リニアの特徴である、高速、低振動を生かすことで、大気環境下（特に酸素）では劣化が激しく、また振動による劣化、破損が起りやすいスピントロニクスやグラフェンに関する研究によって作成されたサンプル・デバイスの輸送にも有利に働くことが期待される。

また、産学連携の研究活動を推進することで企業の誘致を一層加速できるのではないかと考える。一例として山梨大学工学部電気電子工学科、先端材料理工学科ではスピントロニクスに関する研究、またはそれに類推する研究が行われており、それらと企業と

の共同研究を推進することで、つくば市での筑波大学と研究機関のような相乗効果が得られることが期待できる。

また、効率的に研究・開発を行う企業の誘致を行うために、その中心となる施設を設立することを推奨する。その施設の中核となる設備としてスピントロニクスや表面界面の研究において非常に需要の高いスピン偏極走査型トンネル顕微鏡（Spin-Polarized Scanning Tunneling Microscope: SP-STM）（図3）、多探針走査型トンネル顕微鏡（Multi-Probes Scanning Tunneling Microscope : MP-STM）（図4）⁽⁶⁾を挙げる。SP-STMは一般的なSTMで測定可能な試料の原子スケールでの2次元的なイメージ（トポグラフィ）及び試料の原子的・分子的なエネルギーの値を示すエネルギー準位の分布状態を示す状態密度（Density Of State: DOS）の測定（スペクトロスコピー）に加え、強磁性体でできた探針を用い、試料および探針に磁場を印加した（スピン偏極した）状態で測定を行うことで、試料中での電子のスピン状態が測定可能な装置である。また、MP-STMは従来のSTMで測定可能な事象に加え、多探針の強みを活かすことで多様な測定が可能である。いずれの装置も設備投資に多くの費用がかかり、企業単位、研究室単位で所有、維持することは容易ではなく、また、測定にあたり専門的な技術や知識が必要である。近年、SP-STMは製品化されているものもあり、徐々に普及しつつあるが、MP-STMは未だ、製品化されておらず、その応用の幅に相反して普及が進んでいない。MP-STMの第一人者としては東京大学長谷川修司先生山梨大学白木一郎先生などが挙げられ、これらの第一人者と協力をはかることで、企業誘致の中核となる施設の設立及びその中のSP-STM、MP-STMといった装置の運用が可能であると考えられる。



図3.スピン偏極走査型トンネル顕微鏡の一例
(写真は留学先であるオハイオ州立大学 R.Kawakami 研究室の SP-STM)

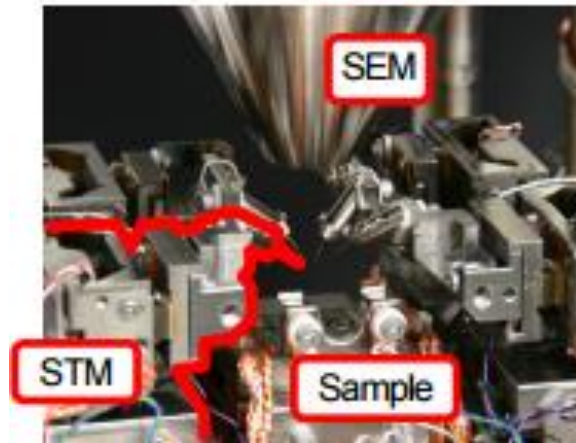


図4.多探針走査型トンネル顕微鏡の一例
(SEM : Scanning Electron Microscope 走査型電子顕微鏡)

以上の点から、山梨の新産業・成長産業の拡大発展を進めるために、近い将来世界規模での新産業・成長産業となるであろうスピントロニクスやグラフェンに関する研究・開発を行う企業の誘致等を強めることが非常に有効であると考え、その中核を担う施設にSP-STMやMP-STMといった装置を導入することで、誘致を進める上で大きな強みになると考える。

・参考文献

- (1) 喜々津哲：JST CRDS フォノネンエンジニアリングワークショップ報告書(2015.3)p31
- (2) “Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films”, K. S. Novoselov, A. K. Geim et. Al., Science Vol. 306 pp. 666-669 (2004)
- (3) “シリコン基板上のグラフェン薄膜作製に初めて成功”，末光 眞希,末光 哲也, 国立科学技術振興機構 (JST)
- (4) NTT ジャーナル ”グラフェン研究への取り組み” 日比野浩樹 2013.6
- (5) 山梨県 HP より (<https://www.pref.yamanashi.jp/miryoku/linear/>)
- (6) 固体物理<走査プローブ顕微鏡で見る固体物理>特集号 ”4 探針STM でなにができるのか” 長谷川修司, 吉本真也, 保原麗 Vol.42 No.11 pp.63-70 (2007)