

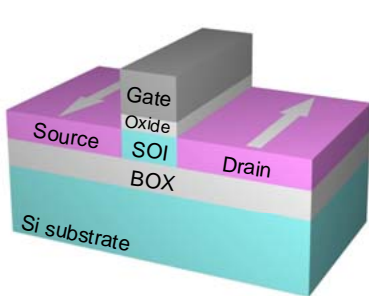
### 「ハーフメタル強磁性体を用いたスピン機能 MOSFET の開発」(菅原チーム)

#### ＜これまで得られた研究成果の紹介、PR＞

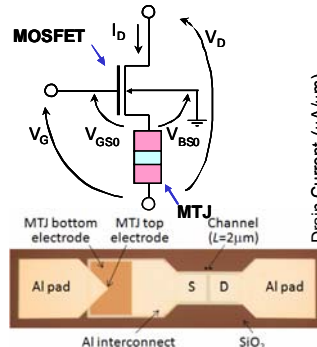
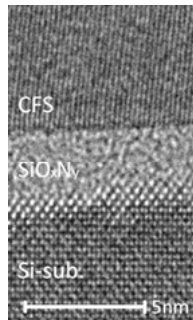
電子は“電荷”と“スピン”を持ちますが、これまではこれら的一方のみに着目してそれぞれ半導体エレクトロニクスと強磁性体ストレージ技術として活用されてきました。本研究課題では、スピン機能MOSFETという“電荷”と“スピン”の融合が生み出す新しい高機能トランジスタを実現し、これまでにない新しいエレクトロニクスの体系を創出するという最終的な目標に向けて研究を進めています。

スピン MOSFET は強磁性体でソースとドレインを構成した高機能トランジスタです。このデバイスは本研究課題の研究代表者によって提案されました。本研究課題ではフルホイスラー合金によるハーフメタル・ソース/ドレイン技術を開発して、これを応用したスピン MOSFET の開発を行っています。Co<sub>2</sub>FeSi や Co<sub>2</sub>FeSi<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub> などのフルホイスラー合金はフェルミエネルギーにおいてスピン分極率が 100%となるハーフメタル強磁性体であり、スピン MOSFET のソース/ドレインに最も適した高機能スピン材料です。本研究課題では遷移金属と Si との化合物からなるフルホイスラー合金に注目して、CMOS プロセスに整合する RTA によるシリサイド化を用いた形成方法を開発しました。フルホイスラー合金のハーフメタル性が発現するために重要な規則度の評価方法を確立、RTA によって形成したフルホイスラー合金が極めて高い規則度を示すことを明らかにしました。また、フルホイスラー合金を用いたショットキー接合やトンネル接合の形成技術も開発し、これらを用いたスピン注入・伝導の評価やスピン MOSFET の開発を進めています。

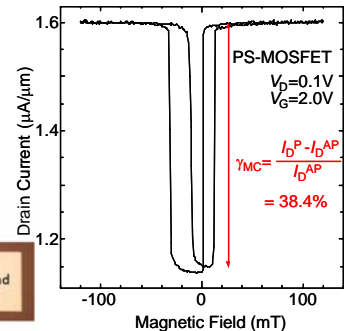
また、強磁性トンネル接合(MTJ)と通常の MOSFET を用いて、スピン MOSFET と同等の機能を再現できる擬似スピン MOSFET を提案・開発しています。特にフルホイスラー合金 MTJ を用いた擬似スピン MOSFET の集積化プロセスを開発して、磁気電流比が数十%にも及ぶスピン依存伝達特性を実現しています。スピン MOSFET や擬似スピン MOSFET などのスピン機能 MOSFET を用いれば、高性能な不揮発性メモリ/不揮発性ロジックを実現できます。さらに不揮発性 SRAM や不揮発性フリップ・フロップの提案・解析を行っており、次世代の高性能マイクロプロセッサに極めて有効な高効率パワーゲーティングシステムなどへの応用も提案・検討しています。



**Spin-MOSFET**



**Pseudo-spin-MOSFET**



#### ＜研究チームの紹介＞

東工大・菅原チーム

左から周藤悠介博士, 高村陽太氏, 林健吾氏. スピン機能 MOSFET に関する材料・デバイス・回路の研究を行っています。

それぞれハーフメタル・フルホイスラー合金薄膜の形成・評価技術, Si へのスピン注入技術, ハーフメタル S/D スピン MOSFET 技術, 擬似スピン MOSFET とその回路応用技術などを担当しています。



#### ＜研究総括からのひとこと＞

スピン分極率 100%というハーフメタルをLSIロジック回路に導入して新しく演算機能を創出しようという挑戦に注目しております。新しい回路構成で実証するための集積化検証では、試作環境の整備の強化を促進したい。

### 「極微細加工用レジスト研究とプロセスシミュレーターの開発」(田川チーム)

#### <これまでで得られた研究成果の紹介、PR>

近年、光リソグラフィの延命化が図られる一方、光リソグラフィの限界が目前に迫っている。私達のチームは 22 nm 以下の DRAM の開発に実用される最有力候補である極端紫外光 (EUV) リソグラフィを実現するために、電離放射線が超微細加工材料に誘起するナノ空間反応をナノパターン形成という観点から系統立てて解明し、得られた知見をデバイス・材料メーカーが有効に活用できるように、プロセスシミュレーターへのデータ提供、材料への適用を行い、光リソグラフィを支えてきた光化学を基礎とした知識インフラに匹敵する放射線化学を基礎とする知識インフラを構築することに取り組んでいる。EUV リソグラフィの実現にはまだまだ様々なハードルを超えなければならないが、電子線リソグラフィの高度化と併せて、実現されれば、今後長く日本の製造業を支える基幹技術になると考えられているので、新しい技術革新に研究メンバーが一丸となって日々研究に打ち込んでいる。最新の研究成果として現行のレジスト開発の問題点を EUV 光、電子線のエネルギー吸収から現像過程までのシミュレーションを実際の実験データに基づいて、初めて系統的に明らかにし、問題点を明示し、EUV レジストと電子線レジストの設計指針を決める結果が得られ、世界標準として広く利用されている。(図 参照)

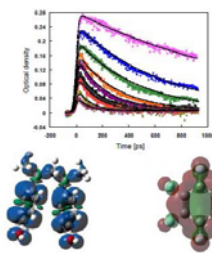


図 1. 中間活性種の解明

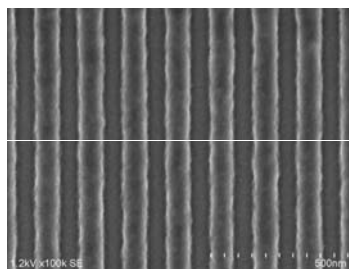


図 2. レジスト性能評価

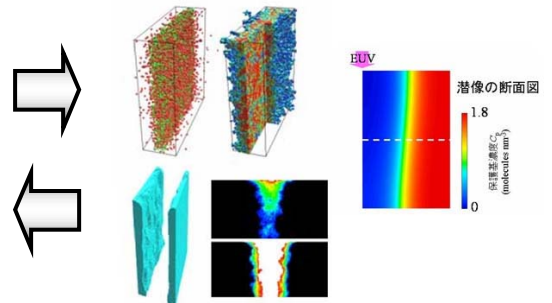


図 3. シミュレーションの結果

#### <研究チームの紹介>

電離放射線 (EUV、電子線等) を用いる極微細加工用レジスト中に起きる反応機構の解明から極微細加工レジストのプロセス・評価を経てプロセスシミュレーターの開発に至る一連の研究をチームが各々の専門性がうまく発揮できるように分担し、お互いに協力して研究推進を行なっています。



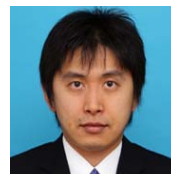
田川精一



古澤孝弘



遠藤政孝



岡本一将



山本洋揮



榎本一之

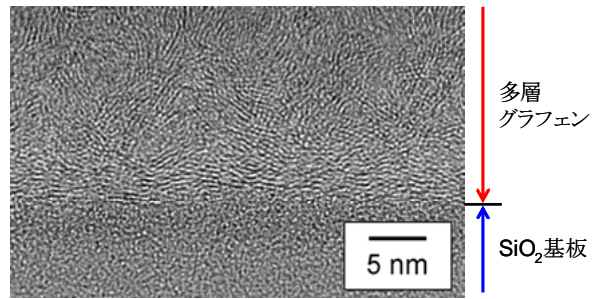
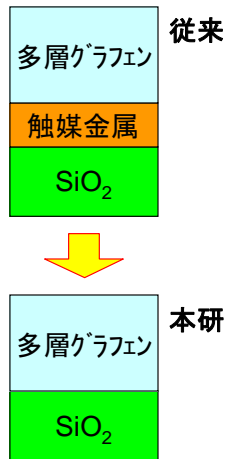
#### <研究総括からのひとこと>

微細加工の寸法精度を決める感光剤・レジストの基本特性は、解像度 (R)・ラインエッジラフネス (L)・感度 (S) の 3 つで表せる。これらの間はトレードオフ関係にあり同時改善が難しく (RLS 問題)、世界中で苦労している。当面ラフネス低減を優先しているが、このチームが提唱するラフネス発生・低減化モデルに世界のデバイスメーカーやレジストメーカーから熱い視線が向けられており、実用シミュレーターの完成に向けた高速化を促進したい。最近レジスト材料の改善だけでなく感光・現像プロセス前後での処理工程で工夫する試みも始まり、トータルソリューションに向けたこのチームの材料科学的洞察力に期待しております。

「LSI用3次元カーボン・アクティブ配線の開発」(二瓶チーム)

＜これまでにも得られた研究成果の紹介、PR＞

低消費電力・高性能 LSI の実現に向けて、微細化だけではなく、カーボンナノチューブ(CNT)やグラフェン等に代表される新しいナノ材料を用いた配線技術の開発は不可欠です。本研究では、LSI 配線の課題である配線抵抗の増大や信頼性劣化を抑えるために多層グラフェンを用いた微細配線技術の開発を行っております。本研究チームは、グラフェン成長(東北大)、グラフェン評価(JASRI/SPring-8)、及びグラフェン配線・デバイス(富士通)の3つのグループから構成しております。従来の化学気相成長(CVD)では、触媒金属薄膜上にグラフェンを析出させる方法が一般的でした。しかし、LSI 配線においては、その触媒薄膜が特性劣化を引き起こす懸念があり、触媒金属を用いない成長が望まれておりました。本研究では、オリジナルな手法である光電子制御プラズマ CVD 法を用いて、触媒金属無しで絶縁膜基板表面にナノグラファイト薄膜(多層グラフェンのナノ粒子が互いに複雑にネットワークした膜)を形成することに成功しました<sup>1)</sup>。現在、光電子制御プラズマ CVD によるグラフェン形成を進展させ、成長メカニズムの本質的な理解を深めながら、配線パターンの電気伝導特性の取得と、膜質/膜抵抗の改善に取り組んでおります。



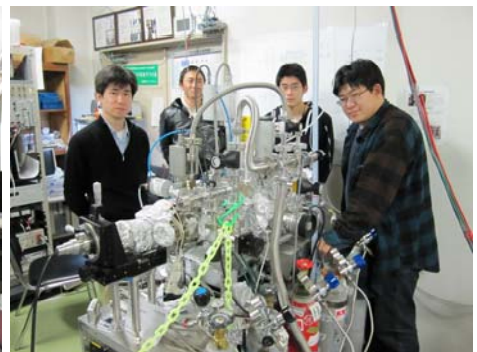
多層グラフェン/SiO<sub>2</sub>界面の構造

1) T. Takami, *et al.*, e-Journal of Surface Science and Nanotechnology, Vol. 7, 2009, pp. 882

＜研究チームの紹介＞

定期的に3グループ合同研究打合せを開催しております(左図)。

東北大の光電子制御プラズマ CVD 装置です(右図)。最適なグラフェン成長条件を見つけるために、日夜がんばっております。



＜研究総括からのひとこと＞

カーボンが様々な分子形状をとることはかなり昔から知られていたようですが、これほど魅力的な物性を多彩に発現できる材料であることが判り始めたのはここ 10 数年のことです。しかし垣間見えた魅力を引き出すには希望通りの構造・寸法で再現性良く加工できなければならない。このチームが最近見出した「触媒レス製膜法」には非常に注目している。そのプロセス化学のエッセンスの理解は相当難しそうですが、これを大きく発展させてデバイス化の自由度を飛躍的に高められることを期待しております。

## 「論文化・特許化のすすめ」

研究総括：渡辺久恒

まず、各チームメンバーにお願いしたい。このCRESTチームは大器晩成型のためか、期末駆け込み型なのか、論文化や特許化活動がまだ低調で、CREST平均を下回っております。各チームにはそれぞれの事情があるとは思いますが、是非論文化と特許化を積極的に進めていただきたいとお願いいたします。研究者が成果を形として残しておくことは後世で本人のアイデンティティを構築するためにも非常に重要であります。特に若い世代の方々の成長には欠かせない仕事だと思います。特許に関しても、折角人様から「面白くて有用なアイデアだね」といわれたときに、特許を書いていないことは少々さびしい気がするものです。

さて、論文化とは、研究して得られた事実を整理し、その裏に潜む理屈を推定・確認する作業と思えますが、その姿勢に関し、先日公的研究機関の長がこんなことを仰ってました。「貴方がやっている研究はエンジニアリングですか、サイエンスですか？ エンジニアリングなら具体的な応用を想定していますね、サイエンスなら普遍性を追求していますね。それはどこに書いてありますか？ 業績として評価するときはどちらかの指標でそのインパクトの大小で判断したいと思えます。」この後、「そうは言ってもどっちでもないというテーマが多すぎるように思えるのだがどうしたものか。」とも言われ、そうかもしれないと思いましたが、皆さんならどうコメントするでしょうか。

このCRESTの募集方針説明会で話し、またホームページでも紹介しておりますが、研究開発に取り組むタイプとして「パスツールの4象限」といわれる4つの分類が知られています。原理・真理追究を主目的とする Bohr 型、原理解明と応用開拓を同時達成する Pasteur 型、知見蓄積と新応用を迫及する Edison 型、データ蓄積・報告を主目的とする Peterson 型(俗称バードウオッチング型)の4つです。一方、産業応用上の開発アプローチには「クリステンセンのイノベーションのジレンマ」をベースに考えた3つのタイプがあります。産業パラダイムの変化を誘発する「Disruptive Technology 型」、現業延長の高度化に不可欠な科学的深耕を通して新現象・新モデルの発見を狙う「Discovery Science 型」、既存原理の組み合わせで新機能開拓を狙う「Fusion Device 型」の3つです。この3つのテーマをバランスよく採択したいと考え、現在の18チームでは実際ほぼその通りになっております。皆様方はご自分のチームがどのタイプなのか関心がないかもしれませんが、私としてはそれぞれのチームの出発時点でどのタイプとなるか想定させていただきました。

この分類の動機には、論文数評価となるか特許数評価となるか、あるいはその両方なのかなど、研究テーマの性質やチームの姿勢が現れるのではないかと考えました。しかし、これまでの各種プロジェクトを一部分析してみると、簡単な傾向があるとは見えず、論文数や特許出願数の大小をどう判断していいのかわかりませんでした。予算が多ければ成果が多いはず、論文や特許も多いはずという評価基準は正しいでしょうか。数ではない質だという「数 vs 質」問題は研究費配分者の永遠の悩みです。ただ、最近の事業仕分けには国民が判りやすい判断が前面に出ており、質が理解できない人は結局数のことで攻めてくるでしょう。今後もう少し議論してみたいと思いますので、皆様からの投稿もお待ちしております。

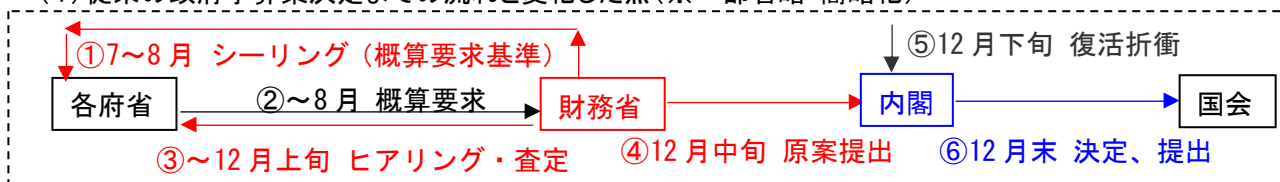
「情報やぶにらみ」

＜領域担当トピック＞ 国家予算の決まり方

連日繰り返された事業仕分けに関する報道の副次効果か、科学技術予算に対するご質問を頂く機会もあり、今回は国家予算、科技予算の決まり方、変化した点を簡単に、私見を交えてご紹介します。

そもそも国家予算は誰が決めているのでしょうか？ 正解は憲法第86条「内閣は、毎会計年度の予算を作成し、国会に提出して、その審議を受け議決を経なければならない。」に従い「内閣が案を作成」、「国会審議後に正式に成立」です。余談ですが86条は国家予算が単年度主義をとる根拠でもあるそうです。

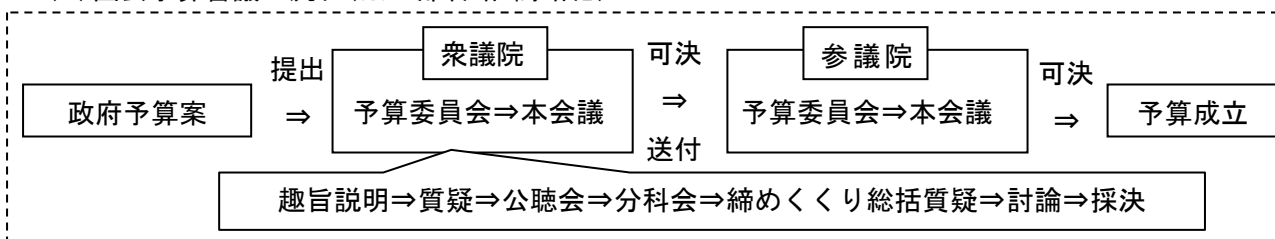
(1) 従来の政府予算案決定までの流れと変化した点(※一部省略・簡略化)



①～④の予算案編成実務は財務省主計局(<http://www.mof.go.jp/mof/zaimusyod.htm>)で、事業仕分けでも論点整理していた査定のプロ「主計官」が担います。霞ヶ関の年末は③～⑥対応で不夜城と化すそうです(見学したことはありませんが…)。H22年度予算の状況(<http://www.mof.go.jp/jouhou/syukei/h22/h22top.htm>)を見ると所得税12.5兆円、法人税6兆円に対して社会保障25兆円と溜息が出る状況ですが、科技予算は例年並みの1.3兆円となりました。科技予算は総合科学技術会議(CSTP)が司令塔となり、優先度判定など様々な取組み(<http://www8.cao.go.jp/cstp/budget/index.html>)を行っています。新政権はCSTPを科学技術戦略本部に改組する方針のようです。文部科学省では政務三役が記者団との質疑応答を全て公開していて、例えば⑥の会見録は次のURLで閲覧できます([http://www.mext.go.jp/b\\_menu/dajin/detail/1289029.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/dajin/detail/1289029.htm))。

政権交代後の編成過程(ex. [http://dailynews.yahoo.co.jp/fc/domestic/budgeting\\_2010/](http://dailynews.yahoo.co.jp/fc/domestic/budgeting_2010/))では報道で大きく扱われた「11月～ 査定に事業仕分け導入」、「12月 復活折衝・陳情を民主党幹事長室への一元化」以外に「10月 概算要求の再提出」とそれに先立つ「シーリング撤廃」が印象的でした。政治主導の方針でH22年度予算では旧政権で設定されていたシーリング(<http://www.mof.go.jp/jouhou/syukei/h22/h22glb.pdf>)が撤廃されたのですが、財政規律を考えるとH23年度以降もシーリングの行方が気になるようです。

(2) 国会予算審議の流れ(※一部省略・簡略化)



予算委員会では大物議員の基本質疑や政治スキャンダルに関する集中審議など、質問者と答弁者が向き合った風景がよく放送されますが、今年は「政治とカネ」集中審議がニュースを賑わせていました。なお、「衆議院の優越」で衆院に過半数をもつ政府・与党提出の予算案はおおむねそのまま成立するため、12月提出の予算案が正式予算のように見なされる風潮が定着しているのかな、と想像しています。

(文責: 松村)

## 「情報やぶにらみ」

### ＜事務局による情報提供＞

「化学」という雑誌の新年号に日本イノベーション物語の特集記事が眼に入った。日本人による明治以降のイノベーションの歴史として、乾電池の発明(1885年)を始め30数件ほど挙げられている。いずれも社会や人間の生活に影響を与える発明・発見であり、その中から発明の瞬間の興味深い逸話を3件紹介している。

はじめの例は、1982年の佐川真人氏(当時住友特殊金属(株))による「ネオジム磁石」。強力なサマリウムコバルト( $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ )系の希土類磁石の開発中に、希土類とFeの化合物でFe間の原子間距離を広げるためにCやBなど原子半径の小さな元素を添加して合金化させるアイデアを思いつき、多くの実験を重ねた結果、Nd-Fe-B合金が強い磁石の主相であることを突き止めた。会社から実用的でないとの判断でテーマを変えられたが、遅い時間や休日返上で4年間研究を続け、世界最強のネオジム磁石( $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ )を実現できた。後にFeの原子間距離に関係なくBの化学相互作用であることが理論的に解明され、開発時の仮説の誤りにも拘らず、粘り強い研究継続によって新しい磁石を見付けることができ、今ではHDD応用など社会の隅々まで利用されている。

もう1つの例として、1986年の吉野彰氏(旭化成(株))の「リチウムイオン二次電池」。新型二次電池の研究では、負極材料(従来金属リチウム)に課題があり、1981年に研究着手したばかりの導電性高分子ポリアセチレンにn型ドーピングして負極材料にできないかと考えた。しかし、当時の正極材料にはLiが含まれた材料がなく、たまたま論文で見つけた新規材料の $\text{LiCoO}_2$ も正極材料として全く注目されなかった。ポリアセチレン電極と新しい $\text{LiCoO}_2$ 正極の組み合わせで見事に電池として機能したとき、新規性の観点で発明の瞬間であった。金属リチウム負極の商品化を妨げていたのは安全性で、この手作りリチウムイオン電池のクラッシュ試験の結果、火を噴くこともなく進歩性の観点でも発明の瞬間を得た。後にポリアセチレンから同じ $\pi$ 電子化合物のカーボンに替わり、現在のリチウムイオン二次電池に発展した。

最後の例は、1961年の進藤昭男氏(元工業技術試験所)の「PAN(polyacrylonitrile)系炭素繊維」であるが、同様に発明の瞬間を経験し、その後大型航空機用の複合材料として実用化開発に弾みがついて、商品化した日本企業3グループの世界シェアは現在70%である。いずれも研究開発の成果を実用化させる意気込みとその瞬間に出会った喜びが伝わってくる。

(文責:遠藤)

発行人:研究総括 渡辺久恒

連絡先:遠藤伸裕(nendo@nexteled.jst.go.jp)、松村 郷史(s2matsum@jst.go.jp)