

最先端研究開発支援プログラム（FIRST）平成22年度フォローアップに係るヒアリング
（グリーン・ナノエレクトロニクスのコア技術開発）

1. 日時 平成23年9月16日（金）14：00～14：35

2. 場所 中央合同庁舎4号館1階 共用123会議室

3. 出席者

相澤 益男 総合科学技術会議議員

奥村 直樹 総合科学技術会議議員

梶田 直揮 内閣府官房審議官（科学技術政策担当）

川本 憲一 政策統括官（科学技術政策・イノベーション担当）付参事官（最先端研究
開発支援プログラム担当）

4. 説明者

横山 直樹 産業技術総合研究所連携研究体グリーン・ナノエレクトロニクスセンター
連携研究体長（中心研究者）

岩田 晋 産業技術総合研究所つくばイノベーションアリーナ推進部審議役
（研究支援統括者）

新谷 利通 産業技術総合研究所連携研究体グリーン・ナノエレクトロニクスセンター
特定集中研究員サブテーマリーダー

5. 議事

【川本参事官】

それでは、これより研究課題「グリーン・ナノエレクトロニクスのコア技術開発」の平成22年度フォローアップに係るヒアリングを始めさせていただきますと思います。

本日の総合科学技術会議側の出席者については、お手元に座席表を配らせていただいております。

このヒアリングは非公開で行いますが、後日、今後の研究発表あるいは知的財産権等に支障がないことを確認させていただいた上で、議事について概要ということで公開をさせていただ

きたいと思います

時間配分につきましては既にご連絡しておりますが、研究課題側からの説明を10分、その後、質疑応答20分ということで合計30分、時間厳守ということでよろしくお願ひしたいと思ひます。説明に当たりましては終了3分前に予鈴、終了時点で本鈴を鳴らさせていただきます。質疑応答を重視するというこゝで、時間が来ましたら説明の途中であっても、そこで一たん中断をお願ひしたいというふうに思ひます。質疑応答に当たりましては、終了3分前に予鈴を鳴らさせていただきます。

それでは、説明のほうをよろしくお願ひいたします。

【説明者】

中心研究者の横山でございます。よろしくお願ひいたします。研究支援統括者の岩田とサブテーマリーダーの新谷が同席いたしております。

この研究課題の目的は、LSIの消費電力を10分の1から100分の1に低減するためのコア技術を開発するというこゝでござひます。LSIの消費電力を桁違いに下げるためには、材料、デバイス、集積化、それぞれにイノベーションと一貫した研究開発が必要と考えております。したがって、本研究課題におきましては0.1~0.3V動作が可能な低電圧動作CMOSの開発、それから低電圧動作CMOS用のチャンネル材料を開発し、低抵抗の3次元の配線を可能とするナノカーボン材料の開発、さらに集積化するこゝでの配線層自身に、不揮発性のスイッチやメモリー機能を持たせるためのバックエンドデバイスの開発を行っております。

なお、本件は予算削減の要請を受けましたときに若干変更しております、変更点は次のとおりです。当初は300mmラインで全て実証しようとしておりましたが、これを100mmラインでの開発に変更しております。それから、バックエンドデバイスとして3種類のデバイスを開発する予定でございましたが、1種類、相変化デバイス1つに絞り込み、かつ、その材料開発をするということに特化いたしております。

この絵が、このプロジェクトを実行するために構築いたしました産官学連携体制でございます。研究支援担当機関である産総研の中に、連携研究体グリーン・ナノエレクトロニクスセンターをつくっていただきました。そして、私は富士通研究所を退職いたしまして、こゝでの連携研究体長を拝命いたしました。この連携研究体の中にルネサスエレクトロニクス、アルバック、富士通、東芝、日立製作所から出向という形で研究員を派遣していただき、産総研内部の方には兼任ということで、この連携研究体に集合していただきました。さらに全国7大学及び物

質・材質研究機構、それからSpring-8に研究委託を出して、産官学連携研究体制を構築いたしました。

次の絵ですけれども、これが連携研究体に結集した人員構成の遷移でございます。研究員総数で申しますと、連携研究体を創設したときには産総研の人を中心に28名に集まっていたいただき、その後、企業から設備とかインフラの立ち上がり状況に応じて順次、集まっていたいただきまして、現段階におきましては産総研25名、企業の出向者27名という大体同数になっております。ただ、産総研の方は兼務しておりますので、実効的にはこの半分ということで、企業中心のプロジェクトとなっております。テクニカルスタッフ、支援員数を含めると、トータルで68名の陣容でございます。

次の研究体制ですけれども、サブテーマに応じてサブテーマリーダーを決めておりまして、低電圧動作CMOSの関しましては産総研の金山理事、ナノカーボングループは私自身が兼務、そしてバックエンドデバイスグループに関しましては、きょう、同席しております日立製作所からの出向者の新谷でございます。それぞれのグループに各企業からの出向者、そして各大学に委託を出しております。それから、このグループ間で当然、設備を共有しておりますし、ノウハウも共有しております。グループ間にまたがる研究テーマも行っておりまして、グループ間の情報交換を密にする工夫をいたしております。

設備・インフラ関係ですけれども、まず、富士通で使っておりましたJST及びNEDOの設備、これを全て産総研に移設しました。簿価では2.5億円になっております。

次の図面ですが、7ページですが、これが新規に購入させていただきました設備群でございます。検収時期と価格を書いておりますけれども、大型の設備に関しましては選定並びに調達に時間がかかるとともに、震災の影響を受けまして検収が23年度にずれ込んでおりますが、この10月にはすべて納入の予定でございます。このような設備は、すべて産総研のスーパークリーンルーム及びナノテクノロジー推進のための共通基盤施設がございまして、そこに導入いたしました。我々がこれらの設備を使えることはもちろん、以前からあった産総研の設備すべてを使えるという恵まれた環境に現在ございます。

22年度ですけれども、これらのインフラや制度を立ち上げる段階でございましたが、それぞれに成果が出てきております。赤字に示したものが代表的なものでございまして、低電圧動作CMOSに関しては、22ナノ世代移行に対応するNi-InGaAs合金コンタクト層を開発いたしました。さらにナノカーボン材料に関しましては、Cuの上に自己組織的にグラフェンナノリボンをつくることに成功しております。そして、バックエンドデバイスに関しましては大型シミュレータ

一を構築して、既に新しい相変化材料候補を発見しております。さらにGeTe/Sb₂Te₃超格子構造を持った相変化材料におきまして、従来の合金型と比べて10分の1の低電力でスイッチすることを確認いたしております。それから、既に特許14件の出願手続を行っておりますし、また、招待講演12件を含む学会発表29件などを行っております。

次の9ページですけれども、これは実は23年度の成果で、つい最近出た想定外の驚くべき発見がございました。今日はこの図面を持ってまいりました。9ページでございます。超格子相変化材料におきまして、室温で巨大磁気抵抗比約2,000%が得られました。酸化物系で超巨大磁気抵抗が出るということは知られておりますが、すべて200K以下の低温であると認識しております。室温で最大巨大磁気抵抗は、今、MRAMなどに使っているTMR素子でありまして約500%、それ以上の値が、実は出ました。

相変化材料というのは非磁性材料ですので、磁気抵抗が出るとは考えられなかったわけですが、実際にこの絵の左側を見ますと従来の合金型のGe₁Sb₄Te₇におきましては、磁場を加えてもほとんど変化はございません。ところが、右のほうにありますようにブルーの部分、これは磁場0.1T、ピップエレキバンをつけただけで実はこんなに変わりました。磁場のあるときとないときの抵抗比を見ると、2,000%が得られたということです。

現在、この物性を調べているところですが、どうも超格子の界面のところにグラフェンと同じようなマスのキャリアが存在する、いわゆるトポロジカル誘電体ができているのではないかと。そのために磁場に対して敏感になっておりまして、スピン電流が流れて電流の侵入を妨げて、相変化を制御しているのではないかとということがわかりました。この発見をもとに、これをさらに研究発展させたいと考えております。

最後に研究支援体制と知的財産権の件でございます。4名の専任のスタッフを置きまして、そのバックに産総研の本体がついておりまして、それぞれ主担当をつけていただいているという体制でございます。知財権に関しましては、我々研究員全て、産総研の身分で研究を行っておりますので、プロジェクト期間中はすべて産総研帰属といたしております。そして、私、中心研究者主導による知財マネジメントを実施しております。ただし、プロジェクト終了後は有効に活用していただきたいために、発明者の出向元が希望すれば買い取ることができることにしております。さらに、このプロジェクトに参加した企業は、その知財権を使えるというふうな取り決めをしておりまして、この成果を早く社会に還元するという工夫をいたしております。

以上でございます。

【川本参事官】

どうもありがとうございました。

それでは、これから質疑応答のほうに移らせていただきたいと思います。

これからの進行につきましては、奥村先生のほうでよろしく申し上げます。

【奥村議員】

ご発表をどうもありがとうございました。

それでは、私のほうから幾つかご質問させていただきますが、一つは、3つのサブテーマが独立ではないかということ、それで3つを同時にやる必然性があるのかという議論が当初からありまして、裏を返すと、逆にこの1つだけではなく2つあるいは3つを重ねることで、相乗効果のようなものが将来、期待できるのかという点が1点です。

それから、2点目はカーボン系のCNTでもグラフェンでもよろしいんですが、将来への実用化の見通しというのをどんなふうにご考えておられるのかという点です。

【説明者】

応用ですか。

【奥村議員】

応用というか、実用化という点で、将来展望はあるのかどうかという、これはナノチューブでもいいですし、グラフェンでも、いわゆるカーボン系の材料で。それから3つ目は、最後の大発見の相変化の話は、まだメカニズムは分かっていないかと思いますが、そうしますと、今の先生の枠組みだけではない、他の人たちの知恵もお借りしないと難しいのかなということ、全体のチームの編成を若干手直しをされるお考えがあるのかなのかと、以上、3つを最初にお答えいただけますでしょうか。

【説明者】

まず、最初のご質問ですけれども、それぞればらばらの独立した研究テーマではないかという点でございます。まず、LSIの消費電力を下げるために、現在、1Vで動作させているんですね。それを0.3Vとか0.1Vへ持っていかうということ。そのためにはトランジスタだけ低電

圧で動くようにしても駄目なんです。トランジスタだけ低電圧で動作しても配線層で電圧がドロップすると駄目ですよ。さらに、今までは単に配線しているだけだともったいない、配線層にスイッチ機能をつけて実効的に消費電力を下げてしまうと。これをセットでLSIの消費電力を下げられるのではないかということです。したがって、例えば配線層を開発するとき、トランジスタの構造がどうなっているかによっても変わりますし、配線層の中に埋めるデバイスを開発するときにも、配線層とマッチングできていないと意味がないので、一緒にやっている意味があるのではないかというふうに考えております。

それから、カーボンが本当に使えるのかという点ですけれども、グラフェンとかカーボンナノチューブ、これは明らかに、単体でものを持ってきて、例えば電流密度の耐性を見ますと、10の8乗ぐらいを流してももつんです。それで、ポテンシャルとしてはCuを置きかえるのに間違いないと思っているんです。それで、配線層ができれば、16nm以降の配線層には使えると思っておりまして、それを今、狙ってやっております。

それだけではなくて、カーボンナノチューブ、グラフェン、それぞれ熱伝導が良くて排熱に使えるのではないかということで、既に実はMIRAIプロジェクトの後の成果としてカーボンナノチューブでシートを敷いて、イリジウムの代わりに使おうということ、今、半導体セットメーカーで実用化しようとして動いております。我々は、それ以外に、富士通のサーバーを使っているところが、もっとこういった材料を使って、もっと排熱をするものを考えてくれと言っております、こういったテーマも実は少し含めて研究をしようとしております。

それから、バックエンドデバイスに関してですが、実は当初、予算の都合がありまして、2年間で実は終了する予定でしたけれども、実はこういった発見が出てきましたので、さらに2年間、続けようとしているところでございます。

それと、この物性は先ほど申しましたようにナノカーボンのグループで行っているグラフェンと同じ系の、いわゆるまさに二次元のシートと物性がどうも同じだということで、実は既にナノカーボングループと融合してやろうと進めておりまして、そういった意味ではすごくいい環境にあると思います。

それから、共同研究ということで我々のグラフェンの材料に注目されている方がおられまして、東京大学や東北大学へサンプルを提供して、物性を調べることをやっていただいております、そういったパスも使って、新しい相変化材料等も研究していただいて、それをフィードバックをかけて、いろんなアプリケーションを考えていきたいというふうに考えております。

【相澤議員】

当初の予算が大きく変更になって、それに対応して、こういう展開をさせていただいているので、その点はほっとしているところです。けれども、先ほどのお答えいただいた点にも関わりますが、プロジェクトフォーメーションと、それからこの図で出されているファイナルにターゲットとしているプロダクトが、どういうことになるのかということで、結局、サブテーマそれぞれが独立に動いていて、全体を先ほどのようなLSIでも断面図にあるような、それをトータルシステムとしてつくり上げるというところは、どういう形で、今、動いているのか。これはあるフェーズになってからそこを目指すのか、この辺がちょっと見えにくいんですけども、いかがでしょうか。

【説明者】

このプロジェクトはつくばの拠点、今、つくばイノベーションアリーナ（TIA）と申しておりますが、その拠点の一角として行っております。それで、TIAにナノエリア拠点をつくる時に、各社にいろんな意見をお伺いしているんですけども、例えば富士通におきましては今の10ペタプロップスのコンピュータ、世界1位なんですけれども、その次は2020年ぐらいにやはり0.3~0.5Vで動作するサーバーをつくりたいという思いがあります。

そのときに必要なのは我々の技術はもちろん、それ以外に例えばシリコンフォトニクスのような光インターコネクションであるとか、いろんな別途の技術も要るんですね。それらを統合して2020年にそういったサーバー等をつくりたいというふうに考えております。

従って、我々の成果だけで即サーバーとはいかないんですけども、実は各グループごとに例えば低電圧動作CMOSに関しましては、実は東芝さんがメインのプロジェクトになっておりまして、この技術ができただけでも東芝さんのLSIを低消費電力化するのに、今、使えそうだとということで、これだけでも一応、アウトプットがある。

ナノカーボンに関しましては先ほど申しましたように、そういった排熱応用と、あと富士通のバックには富士通セミコンダクタ社というのがございまして、例えば32nm以降の技術を手にした場合に、恐らくファウンドリーを使ってつくらせることになると思うんですけども、そういった影響力を持ってやる、そういったアウトプット。

それから相変化デバイスに関しましては、日立製作所さんがハードディスクの後継のフラッシュの置きかえであるとか、あと、某メモリーメーカーが実は着目しておりまして、それぞれにバックに産業界がいて、あと、これプラス他のプロジェクト、つくばで行われている研究を

統合して次の世代のサーバーのほうに、実用化に持っていきたいというふうに考えております。

【相澤議員】

それぞれのサブテーマはそういう形で広がり求めて展開しているので、それ自体は非常にいい状況で進んでおられるけれども、初めに出された、全体をシステムとしていくところに、このプロジェクトの意義があるんだということを強調されているので、それはどういう形で実現するのかをお伺いしているわけです。

【説明者】

このプロジェクトはあと2年半しかないので、こういった技術を統合して、例えばサーバー開発するという、別途の何か枠組みが要るかと思います。この最先端プログラムの中だけで統合して、これら技術を全部統合して何かを見据えるというところまでは、今は計画しておりません。

【相澤議員】

そうですか。ですから、そこが……。

【説明者】

私のほうから少し補足させていただきますと、それぞれ独立に見えますけれども、実はLSIの中で一緒にしなければいけないんですね。シリコンのところにはほかの材料を持ち込むというのはとても難しいことでして、できたからすぐ入れますかという、それはコンタミだから入れませんと、そういう拒絶反応で互いになかなか一緒にならないものなわけです。それを既に前段の段階で一緒に始めている、お互いを知って同じウエハに乗せる、そういうことを想定しておりますので、まず、心からと、それから相手の材料を知ることによって、一緒にする方法を一緒に考えていると。

それから、つくばの中では横山さんのプロジェクト以外にも共通な基盤としていろんな材料を入れていく、そういうコンセプトがございますので、シリコンに対して例えばカーボンの材料と一緒にする、どういうふうにやったら一緒にできるのか、一緒にするための技術、そういうことを考えていますので、決してばらばらじゃなくて、将来、一緒にするために必要なことを既に始めていると、そう理解していただければと思います。

【相澤議員】

そう理解をしたいので、ぜひ、それが具体的にちゃんとストラテジックに進んでいるというところを見せていただく必要があると思います。これが、先ほど奥村議員からもありましたように、それぞれ別個のプロジェクトとしてスタートしていいような内容ではないかと、採択するときに議論があったところです。それで、やはり今回も、最初、私はこの図を見て、これが実際的にそういうところに向かって、具体的に形ある形、形あるというのは進め方が形あるところで進んでいるのかと思うんですが、ちょっとそのお話がないので。

【説明者】

現実、インフラでは300mmのシリコン、それから100mmのシリコンのラインがあるわけですが、そこに他の材料を乗せるための、今、工夫を入れております。そういう意味では本当の実態として一緒にやろうとして進めております。

【相澤議員】

そういう流れのことをこの報告の中に入れていただかないと、やはりいつまでもばらばらではないかということになってしまうのではないかと思います。

【奥村議員】

そういう意見は当初からありましたので、ご指摘のことはきちっと受けとめていただいたほうがよろしいですね。技術的にも、装置の共用のことについても、難しい、今すぐできないことは十分わかります。ただし、やはりそういうことをいずれ目指しているということは、きちっと表現いただいたほうがよろしいかと思いますので。

【説明者】

今、言われたのは、それぞれで出た成果をいかに統合して何を目指すのかをクリアにしてほしいと、その枠組みを見せてくださいという意味ですね。

【相澤議員】

そうです。それと一つのプロジェクトでいろんな立場の人が1カ所でやっていて、そして、

しょっちゅうディスカッションも通してやっておられるんだから、ばらばらでやっているのと全く違うところですよ。これがこの一つの大きなプロジェクトのメリットでもあるわけで、そのメリットが具体的にどこに向かって、そこから何か成果が具体的に出てくるという、そういう流れを示していただきたいと思います。

【説明者】

わかりました。

【奥村議員】

今のインテグレーションの話と逆に受けとめられたらちょっと困りますが、スペシフィックなことでお伺いしますが、グラフェンのノーベル賞をもらったチームが、最近、結構大きなファンドを国からもらって、グラフェンのアプリケーションを大々的にやっているのはご存じだと思います。そういう意味で、グラフェンのエレクトロニクス分野の実用化を狙っている研究は、国内、日本では先生のところは規模としてはやっぱり一番大きいんでしょうか。もちろん、グラフェンプロパーでやられているわけではないですけども。

【説明者】

グラフェンの部分、我々はあくまでエレクトロニクス応用に絞っています。それ以外にいわゆる透明電極とか、そういったプロジェクトが別途ございまして、それはそちらのほうが大きいと思います。

【奥村議員】

そういう断面でも競争があって、先生のところのグループはいろいろな断面で競争の比較になりやすいグループなので、予算を減らしておいて注文ばかりと言われそうですけれども、そういう意味で非常に期待が大きいし、また、世界でいろいろな人たちが注目している分野なので競合は激しいと思いますけれども、そんなことをご質問させていただいているんです。

もう一つ、お伺いしたいのは、装置メーカー、アルバックが入っていたと思いますが、そういう意味でも、製膜装置等を含めて装置上の工夫がいろいろなことで要るだろうと思います。プロパーの装置を買ってきてというわけには、なかなかいかないと思います。そういう意味での装置側、装置メーカーとの協力等は十分といいますか、ご協力いただけているんでしょうか。

基本的にはアルバック以外は、発注側になるわけですね。

【説明者】

まさにアルバックさんはカーボン系の成長関係でご協力いただいております。別途、同じ屋根の下で経済産業省の別途のプロジェクトが動いておりまして、そこでもカーボンをやっていますが、実は我々のところでやろうとしていたテーマではなくなってしまったので、そちらのほうは東京エレクトロンさんと協力してやっております。ただ、アメリカのように最新の設備を寄附してとか、そういう形にはまだなっていないですね。

【奥村議員】

わかりました。

【相澤議員】

横山さんは前からいろいろご活躍ですが、富士通を辞められて、退職されて……。

【説明者】

退職しました。今はいわゆる顧問という感じの非常勤ですので、産総研100%、これだけに命をかけて。

【相澤議員】

それで伺いたいのは、産総研に居を定めてこういう形態でやられたほうが、富士通をベースにやられるよりも、やはり全体的にはやりやすいですか。

【説明者】

やはり、いろんなメーカーの方に集まっていただくので、富士通色ではなくてニュートラルな立場でいるべきだと考えまして、当初からこういう覚悟と言いますか、こういった立場のほうがいいんじゃないかということでやっております。

【相澤議員】

そうですね。それで、これからの展開で、このプロジェクトの次に広がりが見えてきている

こともあるので、そういう意味では、このFIRSTのプログラムが、これからのやるべき本当のところ、大きな基盤を与えたというふうに理解させていただいてよろしいのでしょうか。

【説明者】

この最先端の分野は欧米が大変進んでおりまして、組織的に動いているんです。今、このFIRSTがあったからこそ、今、産学が結集できて外国勢と競争できるような立場ができました。もし、これがなければ恐らく皆ばらばらで、こんな規模はできませんので、それぞれ独自にやると小規模になってしまうんですね。そうすると恐らく負けていったかなと思っていまして、このおかげで、こういう体制を組めたということで本当に感謝いたします。

【奥村議員】

同じような質問で、このチームはTIAの中の主要な一角ですよ。TIAの中にいることの相乗作用、良い効果は何かありますでしょうか。

【説明者】

先ほども申し上げましたけれども、別途、経済産業省のプロジェクトが動いておりまして、そこと産総研が共同研究を結んで我々といろんな情報交換ができます。特に新谷が見ている相変化グループに関しましては、サンプルを交換したりとか、情報を交換したりとか、そういったメリットがございます。それと、例えば相変化で、今、大きな磁気抵抗が出たんですけれども、例えばLEAP（超低電圧デバイス技術組合）のほうでそういった磁性のデバイスをやっているところがありますので、そういったところと情報交換ができるとか、そういったメリットがございます。

あと、ちょっと蛇足ですけども、産総研にはいろんなすばらしい評価装置とか設備がございます。日本にはここしかないというような装置を見つけまして、例えばヘリウムイオン顕微鏡があったんですけども、それを使ってグラフェンの加工をすごくダメージレス、少なく加工することができまして、そういった環境の良さとか、あと、いろんな研究者がおられて、TIAの中でいろんな方と相談できると、大変いい環境下だと思っております。

【川本参事官】

それでは、これでヒアリングを終了したいと思います。先ほどご指摘のあった3つのサブ

テーマの相互関係と、プロジェクトが終了した時点での3つを糾合した出口の姿、これについては後ほどわかりやすい形で、それは絵でも構わないと思いますが、提出いただきたいと思います。提出期限につきましては、できれば来週水曜日あるいは木曜日あたりに、事務局のほうに、メールで結構ですのでご提出をお願いしたいと思います。

では、よろしく申し上げます。どうもありがとうございました。

—了—