

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
（低炭素社会創成へ向けた炭化珪素（SiC）革新パワーエレクトロニクスの研究開発）

1. 日時 平成23年9月28日（水）13：30～14：00

2. 場所 中央合同庁舎4号館12階 共用1202会議室

3. 出席者

相澤 益男 総合科学技術会議議員

本庶 佑 総合科学技術会議議員

奥村 直樹 総合科学技術会議議員

青木 玲子 総合科学技術会議議員

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

木本 恒暢 京都大学大学院工学研究科教授（中心研究者）

岡田 道哉 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）

奥村 元 産業技術総合研究所先進パワーエレクトロニクス研究センター
研究センター長

5. 議事

【川本参事官】

それでは、これより研究課題「低炭素社会創成へ向けた炭化珪素革新パワーエレクトロニクスの研究開発」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たいと思います。

本日の総合科学技術会議側の出席者についてはお手元の座席表のとおりです。

このヒアリングにつきましては非公開で行います。関係者がフォローアップを通じて知り得た情報は、フォローアップの目的のみに使用させていただきます。ただし、後日、今後の研究

発表あるいは知的財産権等に支障が生じないことを確認させていただいた上で、議事については概要を公開させていただきます。

時間配分につきましてはあらかじめご連絡しておりますが、研究課題側からのご説明を10分、その後、質疑応答を20分、合計30分ということで時間厳守をお願いをしたいと思います。説明に当たりましては、終了3分前に予鈴、終了時間に本鈴を鳴らさせていただきます。時間が来ましたら質疑応答を優先するというので、説明が途中であっても、そこで一たん中断をお願いをしたいと思います。質疑応答では終了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願いいたします。

【説明者】

本日は貴重な時間をいただきましてありがとうございます。それでは、平成22年度の進捗につきまして、私、木本が説明させていただきます。こちらの資料につきまして説明させていただきます。

私どもはターゲットとしまして、超高耐圧のSiC（炭化けい素）のパワーデバイスを目指しております。特に、電力系統制御、高圧直流送電、高速車両等の大規模高電圧の変換設備におきましては、莫大な電力を廃熱として捨てているという問題がございます。それは現行の半導体シリコンを用いた素子の限界がありますので、これを新しい半導体材料、SiCを用いた素子によりまして、革命を起こしたいというのが趣旨でございます。具体的な波及効果としましては、大幅な電力損失の低減と変換設備の小型化、そして将来のスマートグリッド等の高機能・安定な電力インフラの実現のキーデバイスになると位置づけております。

具体的な目標としましては、13kV耐圧、そして20A級のSiCのIGBTと言われる素子及びPiNダイオードの実現、かつ250℃、5kVのスイッチング動作と、いずれもシリコンでは到達できない数値になっております。そして、これらを可能とする材料科学、デバイス物理、結晶技術の確立ということを目指しております。具体的な体制といたしましては3つのグループ、主に土台となります結晶の技術を電中研に拠点を置いて取り組む、そしてプロセスデバイス技術を産総研を拠点として取り組む、そして、これらのテーマを支える基盤・基礎のグループとしまして、京都大学に拠点を置いて研究開発を推進しております。研究支援担当機関は産総研が担っております。

この意義ですけれども、SiCの高耐圧のIGBTというのは、MOS型のトランジスタ、MOSFETとバイポーラトランジスタの長所をあわせ持った、ある種究極的なパワー半導体素子であります。

この実現はもちろん、これ自体で大きな意味を持っているものですが、それだけでなく、現在、産業界が本格的な実用化を目指しております1 kV級のダイオードやトランジスタの実用化においても、大きな結晶あるいはデバイスの技術の裾野が広がることによって、ポジティブな波及効果を及ぼすというふうに考えております。

具体的な課題ですが、非常に難しい挑戦的な課題になっておりまして、結晶の問題、デバイスの問題あるいは実装回路、いろんな研究課題がございます。結晶につきましては、いかに高純度のものをつくり、欠陥を究極的に減らし、かつ低欠陥まで制御するということが要求されます。デバイスにつきましても、非常に複雑な素子でございますから、非常に高度なシミュレーション、設計、そして10kV級というシリコンでは経験のなかったような未知の技術をいかに確立するかという問題があります。かつ、そういう超高耐圧で高速のスイッチング、あるいは高温での絶縁封止というような問題もございます。

こちらが全体の最終年度までの計画と、その線表でございます。平成22年度がこっちになっておりますけれども、赤字の部分が22年度に達成しました項目でございます。大体、順調に進んでいるかと思っております。ただし、一貫プロセスの準備等につきましては、産総研を拠点としておりますために、震災の影響でクリーンルームが数カ月停止するというような事態も発生しましたので、今、全力でそのキャッチアップを図っております。その影響につきましては今年度の年度末に再度、検討したいと考えております。

それでは、具体的な成果につきまして少し紹介させていただきます。

まず、キャリアの寿命、ライフタイムという問題がこの半導体では重要な問題となっております。このSiCでは間接遷移型という構造をとるために、キャリアの寿命は長く、例えば10 μ sec、30 μ secというものは、本来、出るはずで、それがまた良い素子をつくるために絶対必要という指標です。しかし、従来はそのライフタイムが1 μ secにも満たないという大きな問題がありまして、その原因も分からないと、全く手つかずの状態でした。しかし、幸いにしまして、連携を進めることによりまして独自の2つの方法、このライフタイムを制限している欠陥を突きとめまして、それがかつカーボン（炭素）の空孔であるということから、その知見をもとに過剰なカーボンを外から導入して拡散させるという手法を用いまして、カーボンの注入とアニール、あるいは熱酸化という方法によりまして、この欠陥を10の10乗台/cm³と、このレベルまで下げることに成功しました。これはシリコンであっても容易に達成できないようなレベルの非常に高品質の結晶と言えるかと思っております。

その結果としましてライフタイムが着実に上がりました。従来の市販の世の中の標準の技術

では、大体、 $0.7\mu\text{ sec}$ しか出ません。しかし、私どもの結晶の技術では、結晶の成長技術もすぐれているために既に $3\mu\text{ sec}$ と。これに新たなプロセスを適用することによって、 18 、 $19\mu\text{ sec}$ という世界最高の寿命を達成することができました。

また、拡張欠陥、転位や積層欠陥につきましても系統的な評価を行っております。SiCはこういう欠陥がございますので、これをいかに減らすかというのも大きな課題でございます。世界のいろんな機関では例えば電子顕微鏡だけ、あるいはフォトルミネッセンスだけと、そういう研究はたくさんあるわけですけれども、私どもは放射光を使ったX線トポ、フォトルミネッセンス、TEM、エッチングからX線回折等、さまざまな観点で評価しまして、おのこの拡張欠陥がどういう本当の構造を持っておいて、それがどういう性質を持っているのかということの一つずつ着実に明らかにしていくという研究を展開しております。これは特にこの分野の欠陥物理の分野で大きな貢献をしているというふうに考えております。

また、この一例としまして界面転位という特有の欠陥があります。これはデバイスの信頼性を低下させる非常にまずい欠陥なんです、これを減らすための指針というものを明らかにすることができました。主に熱ストレスからくる転位のグライドによるものであるということを実験としまして、高温処理時の温度分布を低減することによって、この発生を低減できるということを明らかにいたしました。

また、低濃度のn型、p型の成長技術も確立しました。ここに1点だけミスがございます。おわびいたします。左側は低濃度のpではなくてn型でございます。申しわけございません。こっちはn型です。p型、両方とも高純度で厚膜のものと、そういう結晶をつくることにも成功いたしました。

デバイスのほうにつきましては、先ほど申し上げましたライフタイムをけた違いに高揚することができたと。これを実際にPiNダイオードに適用いたしました。その一例です。この順方向電圧、これをいかに下げることができるかが大切ですが、従来のプロセスではこの電圧が高く、かつばらつくという問題がありましたが、新たな転位欠陥を無くすという方法を使うことによって、ダイオードのオン電圧を改善し、かつばらつきを低減できたと。これは高性能のバイポーラ素子、IGBTであろうが、PiNダイオードであろうが、必ず避けて通れない根幹的な技術であるというふうに考えております。

また、 15 kV という超高耐圧を得るための指針も得ることができました。これはまだ原理実証の段階でありますけれども、接合終端電界集中を抑制するために、独自の接合終端構造を考案しまして、それによって非常に広い範囲で確実に高耐圧を得るということを達成しまして、

15. 4kV、理論耐圧の95%と、このような耐圧レンジでは例外的な高性能を得ることもできました。

また、最終目標であるIGBTにつきましても着実に進んでおります。設計によってどういう構造にすべきかの目処も立ちましたし、あと、p型MOSの界面についても、界面の窒化という手法を用いまして、今までで一番いいような界面の品質を得るということもできました。また、高温・高耐圧の絶縁封止についても、いろんなモジュールを作製しまして、今、試験を実施しているという状況でございます。

以上をまとめますと、ここに書かせていただいたとおりであります。特にライフタイムの増大と、それが実際にデバイスの性能の向上に直結したというところが、一番誇れるところであるかなというふうに考えております。今後につきましては、p型、n型の多層のエピ、これはIGBTの作製に必須であります。かつ、信頼性向上をさせるために、基底面転位をいかに低減するか、そして今年度にはIGBTの試作に着手したいというふうに考えております。

説明は以上です。ありがとうございます。

【川本参事官】

どうもありがとうございました。

それでは、これから質疑応答に移りたいと思います。ここからの進行につきましては、奥村先生、よろしくお願いします。

【奥村議員】

それでは、最初に質問をさせていただきたいと思いますが、要素技術については着実に進歩されているという印象を持ちました。特にご指摘のように、ライフタイムが大幅に伸びるという結果が得られたのは、大変プロミシングだろうと思います。ただし、大事なことは、13kVのIGBTをちゃんと作って動作するということを目標にされておられますので、恐らく一発ではそう簡単にはいかないのだろうと思いますので、試作とそこに書かれていますけれども、ぜひ早目にトライされて、もし達成しないとすれば改めてどこに欠陥があるのかと、やはり何回かサイクルを繰り返して完成度を上げていただくように期待しております。

1点は質問で、1点はコメントですが、他の30テーマの中で相対比較、目的・目標も違うので一概に言えないんですが、30テーマを比較しますと、このテーマは、特許ですとか論文ですとか、口頭発表でもいいんですけれども、そういういわゆる目に見える、外形的なアクティビ

ティを示す指標が少ないんです。私なりに見ますと、このプロジェクトは、ゼロからのスタートではなく、ある程度の高みのところからスタートしているので、そこから上、8合目から上に、言ってみますと胸突き八丁みたいのところから始まっているというのが私の理解で、そう簡単に新しいことが次々に出てくるとは思いきいですが、さはさりながら、やはりちょっと少ないと思います。何か少ない原因があるのか、それから来年以降、さらに新しい知見が増えてくるのか、感触を聞かせていただきたいというのが最初の質問です。

【説明者】

ご指摘をありがとうございます。確かに少ないと思いますけれども、逆に本当にこのプロジェクトで新たに得たものだけをカウントさせていただいたところがございます、初年度はですね、実は今年度に入りまして急激に増えております。ですから、今後、もちろん積極的にいろいろな発信をしていきたいと思ひます。

【奥村議員】

それで、研究支援担当機関は産総研ですから、恐らくされていると思うんですが、特許というのは自然に出てくるものではなくて、やはり知見があつたら特許にしようという意思が、方針があつて、実施例も増やして特許にしていくわけですね。そのあたり、産総研の知的財産支援、積極的に特許化を促すような活動をしていらっしゃると思うんですが、それを一層強化していただきたいという、これはお願いです。

【説明者】

わかりました。承知いたしました。

【奥村議員】

それから、もう一つはコメントですが、やはりこのテーマはもう一つ、ほかのテーマと違って分かりにくいといひますか、社会に与えるインパクト、目標が明確であることはよろしいんですけれども、逆に専門的過ぎて、冒頭、例えば電力系統といったことを書かれていますが、こういう世界がどう変わるのかということが、なかなか普通の人には分かりにくいと思ひます。ですから、どこかで専門家のいらっしゃる場所でプレゼンされるときには、ちょっとこれだけでは不親切で、こういったものは何がどう変わるのかというのが見えにくいので、もう少し

し社会に与える影響の中身をきちっとご紹介されるように工夫されたほうがよろしいかと思えます。

【説明者】

ありがとうございます。

【奥村議員】

それから、これは研究支援担当機関に1点、事務的なことで、人件費の計上がこの報告書に何百万円と上がっているんですが、臨時の研究者の人数を書いていないんです。事務局、確認してください。

【相澤議員】

サブテーマが3つに分かれていますよね。それで、現段階ではわかりにくいのがサブテーマ3だと思うんです。このプロジェクトのファイナルプロダクトとして、サブテーマ1と2の研究開発してきた最高のものを集約してサブテーマ3とする、というふうに見えるんですが、それだけに現段階でサブテーマ1と2がどんどんいい成果を出してくる。サブテーマ3は、ここに書かれている最先端のところを集積してデバイスにするという狙いのはずだけども、現段階ではそこまでいっていないようにも見えるし、この辺が先ほどの研究成果のところにもつながることではないかと思うんですが、何となくサブテーマ3だけは着々とやっておられるというふうに見えるんですが、いかがでしょうか。

【説明者】

サブテーマ3というのはデバイスのところですか。現在、最初の土台となる結晶の部分が少し目立っているかと思うんですけれども、デバイスの部分も非常に地味な、地道なシミュレーションとプロセスの積み重ねをやっております。その成果というのはなかなかすぐに形として出にくいものですから、今日の紹介では少し省略済みでしたけれども、次年度には必ず目に見えやすい形としてお示しすることができると思いますので、頑張りたいと思います。

【相澤議員】

そのときに、例えばサブテーマ2でやっているエピとか薄膜の技術、そのトップレベルの

ものがベースになってつくられるという、この流れが、今日のフレームでの内容としては見えにくいところがあります。

【説明者】

申しわけありません。1、2の連携によりまして最高品質の結晶をつくることによって、それをグループ3に提供することによって、最高性能のデバイスを実現すると。それがこのプロジェクトの流れでございます。

【相澤議員】

そうですね。私もそう理解しているんですが、ちょっとそれが本当に動いているのかなという印象を受けましたので、これはぜひ。

それから、それぞれのサブテーマ、例えば1は基礎ではあるけれども、この基礎自体が一般論としてのSiCの応用展開として極めて重要だという位置づけもあるのかと思うんですけれども、その辺はいかがでしょうか。先ほど奥村議員が指摘された、いろいろと絵にかいてあらわれるところ、これはどうでしょうね。この基礎のところで作っておられることとか、あるいは次のサブテーマ2の薄膜の技術、これをそのまま展開していくというところに大きな出口もあるという、そういう理解をしていいのかなんてんですが。

【説明者】

そのとおりでございます。サブテーマ1のグループでは結晶だけではなくて、回路あるいはシミュレーションのモデルというようなことも取り組んでおりますので、単にこのグループが結晶のお手伝いをするというだけではなくて、デバイスのほうにも貢献するというのが趣旨でございます。

【相澤議員】

ですから、社会から見ても分かりやすいところにつなげるために、そういうような出口のところを明確にされると。

【説明者】

より意識して発信するようにいたします。ありがとうございます。

【奥村議員】

例えば、最近でも問題になっている、4島間で、日本の四国、九州、北海道との間で、一回、電力が直流に変換されていて、ご存じのように損失の関係で無駄にもなっているわけですよね。そういう話もあるし、例えば車両は政府としてもインフラ輸出したいというような側面もあります。ですから、さっきのコメントですけれども、ここに書かれているようなことがどういうインパクトを持っていく可能性があるのかということは、やはりきちっと何らかの取り組みはお示しになったほうがよろしいかと思えます。

それから1点、SiCのIGBTに関して、世界とのレベル感というか、ベンチマークというのはどこかに何か書かれていましたか。

【説明者】

IGBTにつきましては、全くないわけではございません。アメリカの方で試作が始まりつつあります。

【奥村議員】

同じクラスの13kVの同じレベルのものが、試作が始まっている。

【説明者】

まず、試作の1つ目がアメリカのほうで出たという状況です。絶対に負けられないと思えますので頑張りたいと思えます。

【奥村議員】

ですから、そういう外国の状況というのも、きちっとお話しされたほうがよろしいかと思えますよ。

【説明者】

わかりました。

【川本参事官】

よろしいですか。

それでは、これでヒアリングを終了させていただきます。どうもありがとうございました。

—了—