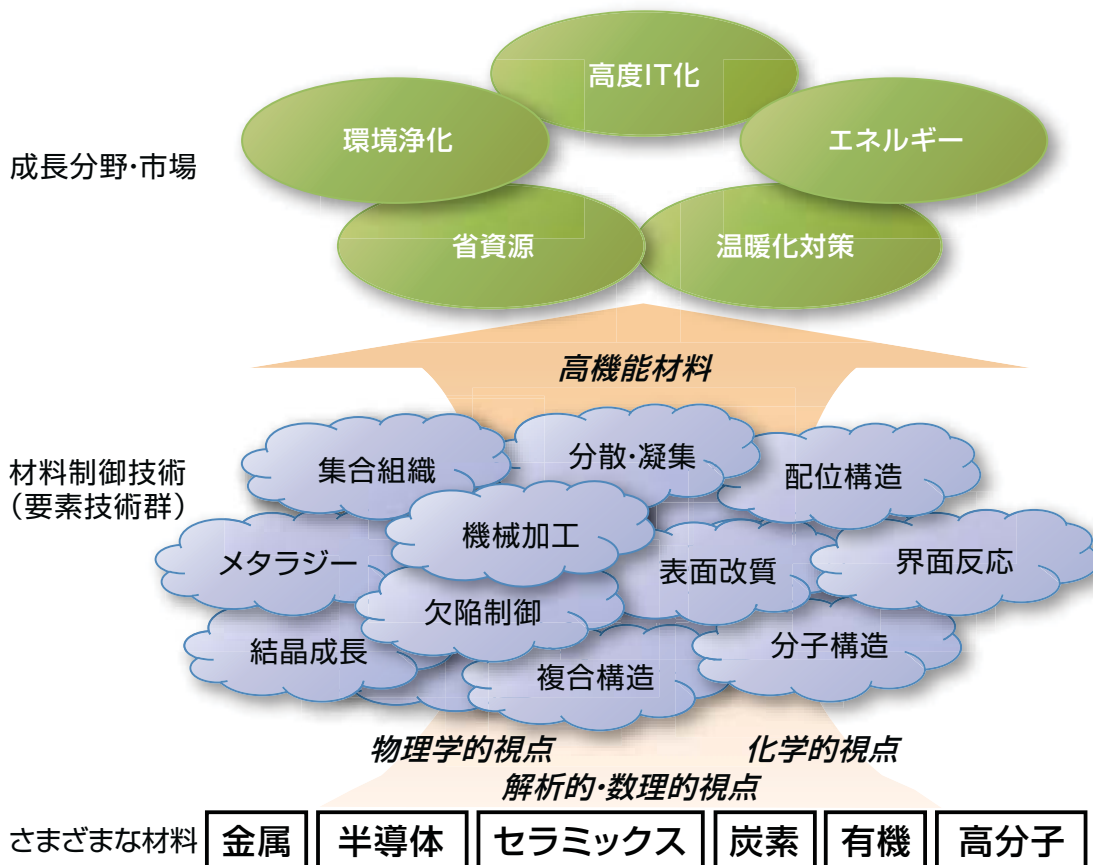


多彩な技術開発で「鉄」を極める(4) 高い要素技術と 独自の発想を武器に、 社会に役立つ新材料を創造

市場ニーズを先取りした スピード感・瞬発力ある開発を

新日鉄先端技術研究所では、長年の研究開発で蓄積した基礎基盤技術を活かし、新しい機能材料の開発に取り組む。一見鉄とは無関係な技術開発を行う強みは、グループ会社を含めた多彩な材料開発で培った要素技術と独自の発想で、さまざまな素材を社会に役立つ高機能材料にまで高める力にある(図1)。それを支えるのは、前号で紹介した原理原則を極める高度な解析技術、情報交換や連携を深化させる研究開発体制、分野の壁を越えて専門性の幅を広げる研究開発風土、そしてこれらを支えるのは専門性を徹底的に追求しチャレンジし続ける個々の研究者のマインドだ。また、世の中にない新たな材料を生み出すためには、高度な要素技術力の継続的な向上と蓄積、市場動向の確かな読み、研究対象を実用化させる信念・執念があつてこそ、スピード感と瞬発力を持ってビジネスチャンスをつかみ、新市場での確固たる地位を築くことができる。

図1 高機能材料の開発イメージ



新日鉄では長年の研究開発で蓄積した知見を礎に、さまざまな分野に適用される機能材料(金属材料、セラミックス材料、結晶材料など)を生み出し続けてきた。シリーズ4回目は、近年の高度IT化や環境対応のニーズに応えるパワーデバイス、エネルギーデバイス開発において、材料に求められる特性を原理原則から考えて技術の本質を追求し、利用技術までを視野に入れて「さまざまな材料を極める」研究者の姿にスポットを当てる。



先端技術研究所 新材料研究部
研究員
佐藤 信也 (さとう・しんや)
(材料専攻、2009年入社)

図2 素子レベルでの炭化珪素効果
(MOS トランジスタの例)

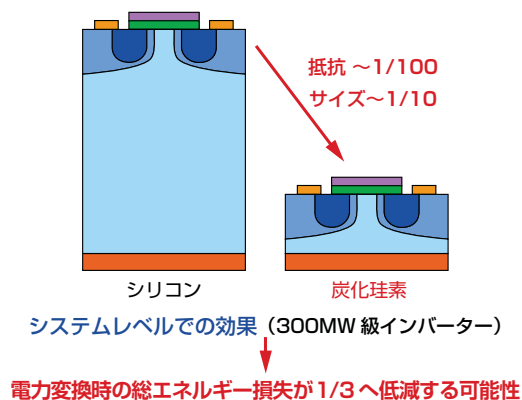
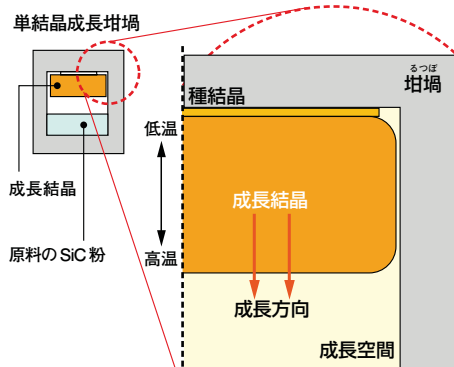


図3 炭化珪素の大口径結晶成長の概略と課題



- 口径方向の温度分布制御
- 欠陥発生を抑える大口径結晶成長法確立
- 結晶割れ抑制 → 内部残留応力低減化

結晶の力学的特性を考慮した成長条件の最適化が必要

写真1 6インチ口径の炭化珪素単結晶基板



※ 昇華法：SiCの粉末を2,000℃以上まで加熱し気化させ、種結晶上に付着させて結晶を成長させる方法。

長年の研究データを活かし、 半導体材料(炭化珪素)の 革新技術開発を実現

今回は、高機能材料開発、中でも成長分野として近年脚光を浴びるパワーデバイス分野やエネルギーデバイス分野において、最先端の半導体基板や部材、フレキシブルディスプレイなどの基板材の開発に取り組む研究者の姿を紹介する。

パワーデバイスの高出力化・高効率化(省エネ化)が求められる中で、パワーデバイス用材料の主流を占めているシリコンウェーハの性能を凌駕する新たなデバイス材料として炭化珪素(SiC)ウェーハが注目されている。炭化珪素はシリコンに比べ、高電圧で使用可能な特性(絶縁破壊電圧)が約10倍大きく、高温動作での熱を逃がす特性(熱伝導率)が約3倍高いといっ

た優れた材料特性を持つため、高性能パワーデバイス用材料として高いポテンシャルを持つ(図2)。しかし炭化珪素はシリコンのようなきれいな単結晶をつくることが難しく、シリコンとほぼ同時期に研究が始まったにもかかわらず、その実用化には長い時間がかかった。開発のポイントは、欠陥を発生させることなく安定的に単結晶を成長させることにあると、新材料研究部研究員の佐藤信也は語る。

「シリコンの単結晶の並び方は1種類ですが、炭化珪素はシリコンと炭素との化合物として結晶の並び方が約200種類もあり、最適なデバイス特性を持つ単結晶構造(4H-SiC)のみを連続的に成長させることに難しさがありました。成長過程で結晶構造がばらつくとデバイスの動作不良をもたらし結晶欠陥が生じます。新日鉄では昇華法※1を利用して結晶成長を行っています(図3)、微量元素の添加

と最適な坩堝構造^{るつぼ}、温度制御方法を見出し、欠陥密度の低い炭化珪素単結晶の製造技術を確立しました」

国内で炭化珪素ウェーハを製造・販売している企業は、この製造基盤技術を持つ新日鉄マテリアルズ(株)だけで、世界でも数社しかない。現在、半導体デバイス製造のさらなる高効率化・コスト削減ニーズにより大口径化が進む炭化珪素単結晶ウェーハの開発において、佐藤は100mm(4インチ)から世界トップクラスの150mm(6インチ)への大口径化実現の一翼を担った。「シミュレーションと実験の両輪で、温度分布などのパラメータを最適化し、炭化珪素単結晶の6インチウェーハをつくり出すことに成功しました(図3)(写真1)。今後は品質面での課題を克服し、パワーデバイスの高出力化・省エネに寄与する高品質材料の開発を目指します」(佐藤)。

写真2 EX1



先端技術研究所 新材料研究部
研究員
小山田 哲哉 (おやまだ・てつや)
(材料専攻、2010年入社)

図4 ワイヤボンディングの仕組み

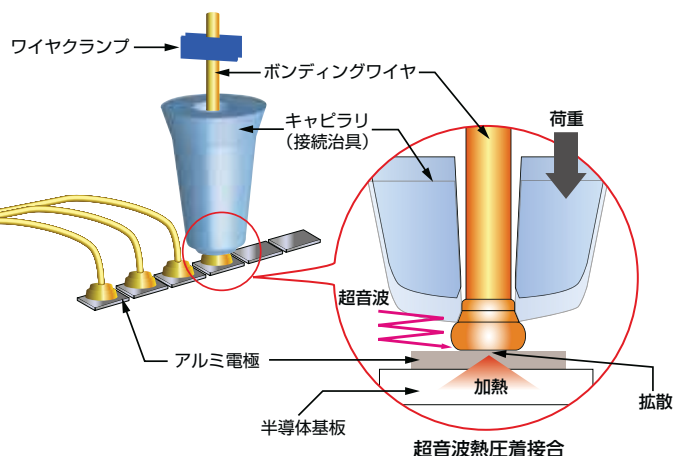
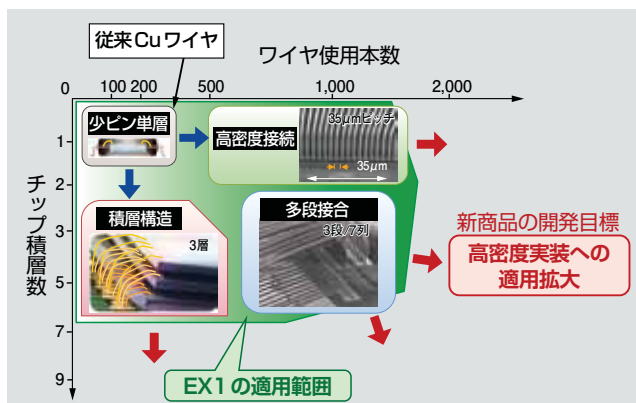


図5 高密度実装に対応するための新商品開発



新日鉄グループは2009年、半導体部材業界の半世紀の悲願だった脱金化と高機能化を両立する複層銅ボンディングワイヤ「EX1」の開発に成功し、世界標準品としての地位を確立した(写真2)(関連記事本誌2012年5月号)。半導体パッケージは携帯電話などの電子機器の小型化・高機能化に伴って高密度化し、ボンディングワイヤの細線化・電極の狭ピッチ化が進む。ワイヤと電極の接合性の向上が求められる中で、材料組織制御をキーワードに新商品開発に取り組む新材料研究部研究員の小山田哲哉はそのポイントを語る。

複層銅ボンディングワイヤの 高密度実装分野への 適用拡大を目指す

「ボンディングワイヤをICチップの電極に接合する際には、ワイヤ先端を溶かして凝固させたボールを加熱したステージ上で、超音波と荷重を加えて接合します(図4)。このとき隣接する電極との接触を防ぐために、ボール接合部の真円性と高い接合強度を担保するための組織制御が重要となります。ボール部分は結晶粒から構成されており、この結晶粒が大きくなるほどボールの異形変形が起きてしまうため、結晶粒を微細化する材料設計を行っています。また、研究で培った確かな理論と実証データに基づき、ワイヤ製造・量産技術を持つ日鉄マイクロメタルと連携して、銅ワイヤを使いこなすための最適な接合条件などお客様へのソリューション提案も行っています」

近年の高密度実装化に伴い20〜18ミク

ロンまでワイヤの細線化が進む中で、小山田は業界の最先端パッケージへの適用拡大を目指して、現在のEX1を超える使用性能向上を目標に研究開発に挑んでいる(図5)。「細線化すると接合性を左右する接合面積の確保が困難になるため、接合時のワイヤ変形を制御して、十分な接合面積を確保するための材料組織制御(金設計)に取り組んでいます。銅の組織制御は非常に複雑で困難ですが、その壁に挑戦する価値は十分にあると感じています。当社が蓄積した鉄鋼技術の知見を活かしつつ、極微量添加元素の存在状態を制御する独自の材料設計に取り組んでいます。さらに、他部門と連携しながら開発のスピードアップを図っていますが、試験を進める中でいくつも新たな発見があり、ブレイクスルーへの期待感を持っています。また将来は、銅ボンディングワイヤに限らず社会に役立つ高機能材料を生み出していきたいと思っています」(小山田)。

無機・有機の特性を備えた ハイブリッド膜で 新たなスタンダードを目指す

現在、高度IT化や環境対応(省エネ)ニーズが高まる中で、ディスプレイや薄膜太陽電池、今後成長の見込まれる有機EL照明などのフレキシブル化が新たな成長分野として注目されている。新日鉄および新日鉄マテリアルズ(株)ではその主流であるガラス基板に代わるフレキシブルな基板素材として、厚さ数10ミクロンのステンレス



先端技術研究所 界面制御研究部
研究員
伊藤 左和子 (いとう・さわこ)
(総合機械工学専攻、2009 年入社)

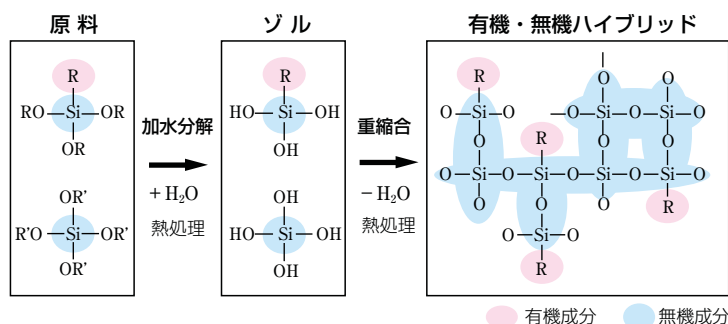
写真 3 絶縁膜付きステンレス箔のコイルと、その断面図



箔に回路の短絡を防ぐ数ミクロンの絶縁膜を製膜した「絶縁膜付きステンレス箔」の開発に取り組んでいる(写真3)。絶縁膜には「有機・無機ハイブリッド」材料を用いるというのがアイデアだ。「有機・無機ハイブリッド膜」は分子レベルで有機と無機が複合化しており、無機材料の耐熱性と有機材料の柔軟性を兼ね備えている。狙っている特性発現のカギは分子レベルの構造制御を可能とする化学的アプローチにあると、界面制御研究部研究員の伊藤左和子は語る。

「原料であるオルガノアルコキシシランを反応(加水分解・脱水縮合)させ合成したゾルをステンレス箔に塗ることによって有機・無機ハイブリッド膜を製膜します。オルガ

図 6 有機・無機ハイブリッドの合成概念図



一般的に、主骨格はシロキサン(Si-O-Si)であり、金属アルコキシドやSiに有機基RがSi-Rと直接結合したオルガノアルコキシシランSiR_n(OR')_{4-n}から合成する。

ノアルコキシシランの種類や加水分解時の触媒の種類や添加量、反応温度や時間などのさまざまなパラメータの制御が必要で、特性と被膜構造を照らし合わせ原料分子構造や反応条件を設計する地道な取り組みが必要ですが、有機・無機ハイブリッド材料であれば耐熱性、柔軟性、絶縁性といった他の材料では両立できない特性を高い次元で発現させることが可能と考えられています(図6)。

実用化に向けた課題は、絶縁性能の信頼性確保と、実際の回路製造プロセスへの適合性にある。本技術の適用によりフレキシブル化を狙うデバイスメーカーでの試験結果を、有機無機ハイブリッド材料の構

新商品の種となる 魅力ある材料・技術を 創造し続ける

造の最適化に結び付ける役割を担う中で、伊藤はデバイス業界からの期待の高さを感じると言う。「例えば、薄膜太陽電池の基板が、従来のガラスから本技術に置き換わることで軽量化効果が発揮され、住宅屋根へのパネル搭載が容易になり、世の中の風景を変えるインパクトがあります。絶縁膜の作製から分析・評価までを自分で行える研究環境を活かして、是非実用化させたいと思います(伊藤)。

先端技術研究所の使命は、グループ全体の材料開発において基礎基盤研究の役割を担い、次の新商品の種を提供するとともに、産業分野ごとの専門メーカーに対抗できる魅力ある材料・技術を自ら創出していくことにある。そのポイントは、鉄を含めた機能材料の幅広い見識とつくり込みの技術(高度なプロセス設計)、量産技術、そして高品質・高機能を実現・実証するための高度解析技術などの「総合力」と、これらによって可能となる「独自性」のあるアプローチだ。

新日鉄では今後も、材料開発における総合力と研究者の高い志、そして基礎研究から新商品開発までのサイクルを円滑に回し、次々に独自の研究成果を実用化する「研究開発のスパイラルアップ」を通して、新たな市場開拓に挑んでいく。