

# トピックス

## 新しい磁場配向制御装置を開発 ～リニア駆動型回転変調磁場発生装置～

京都先端科学大学工学部の堀井滋教授らは、連続製造プロセスに適用可能なリニア駆動型の回転変調磁場発生装置(図(上))を開発した。

現在の磁場配向法は、回転変調磁場を利用することにより、3軸磁気異方性を有する物質の三軸結晶配向を室温で実現できる。言い換えれば、磁場配向技術は、エビタキシと並ぶ三軸結晶方位制御技術である。従来、主に静磁場(常伝導電磁石、超伝導電磁石など)環境下で、“試料”を回転・静止させることで相対的な回転変調磁場を発生させてきた。従って、これまで、シート成形などの“直線的”にかつ連続的に搬送される製造方法と、“回転”磁場(あるいは“回転”変調磁場)の印加の親和性は極めて低いものと考えられていた。

堀井教授らは、直線方向に磁場方位の時間変化(回転磁場)を生み出す方法として、磁場方位の空間変化を有する磁石を直線運動させ磁場方位の時間変化に変換することを着想した。図(下)が、磁場方位の空間変化をもつ配列磁石の模式図である。上部および下部

配列磁石間の点線で示した領域にシート状の試料などを設置すると、配列磁石を水平方向に直線往復運動させることで、以下の2種類の磁場が試料に印加できる。磁場方位が鉛直方向で空間変化しない領域(①～②および⑥～⑦)では、直線運動により磁場方位が時間的に変化しないので静磁場配向が実現できる。また、磁場方位が上向きから下向き(あるいはその逆)に空間的に反転する領域(③～⑤)では、直線運動により磁場方位が時間とともに変化するので、回転磁場配向が期待できる。実際、三軸結晶磁気異方性を有する常磁性の希土類系高温超伝導物質ですでに原理証明を行い、配列磁石の直線往復運動により回転変調磁場を連続的に発生できることを示した。

現状、永久磁石を使った配列磁石の最大磁場は約0.8～0.9テスラ程度であり、高磁場化が課題である。また、配向させたい対象物質によって磁場配向条件が異なるため、最適な配列磁石の仕様が異なる。これらの課題については、配列磁石の設計や最適化が重要であり、シミュレーションが有効な手段となる。

本研究の一部は、科学研究費補助金(17H03235)および科学技術振興機構・研究成果最速展開支援プログラム(A-STEP)の支援を受けて実施されたものである。(京都先端科学大学工学部機械電気システム工学科 教授・学科長 堀井滋

[連絡先]〒615-8577 京都市右京区山ノ内五反田町18 E-mail: horii.shigeru@kuas.ac.jp  
参考文献: S. Horii, I. Arimoto and T. Doi, J. Cer. Soc. Jpn. 126 (2018) 885.

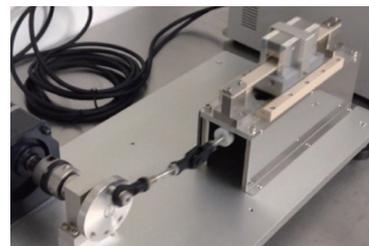


図 リニア駆動型回転変調磁場発生装置の外観(上)および配列磁石の断面模式図(下)。  
[2020年6月15日]

## パワーデバイス材料SiCの 表面再結合速度を数値化

電車や自動車の速度の制御や、送配電システムの電圧の変換には半導体素子であるパワーデバイスが用いられる。そのようなパワーデバイスを作るための材料として、シリコンカーバイド(SiC)が期待されており、すでにSiCパワーデバイスは新型の新幹線に採用されるなど、一部の分野で実用化が始まっている。しかしながら、発電所から送電システムなどの電力インフラにおいては、さらに大きな電力に対応する大電力パワーデバイスが必要とされている。そのような大電力パワーデバイスの作製には、半導体中の電子と正孔の両方を電気伝導に寄与させるバイポーラ型の構造が有効である。ただしバイポーラ型のデバイスにおいては、表面で電子と正孔が再結合する現象が起こる。この表面再結合現象は避けられないが、デバイス設計のためにはその現象の速度(表面再結合速度)の数値

化が必要である。これまでSiCにおいて表面再結合の数値化ができていなかったため、バイポーラデバイスの設計が困難であった。

名古屋工業大学 加藤正史准教授の研究グループはSiCの結晶表面(Si面, C面, a面そしてm面)に対してパルスレーザーを照射しSiC内部に電子と正孔を生成し、それらの再結合速度を測定した。このとき、パルスレーザーは2種類の波長のものを使うことで、膜厚の異なるSiCを試料として用いることで、表面の影響の度合いの異なる複数の測定結果を得た。そしてその結果を計算モデルと比較することで、表面再結合速度を数値化した。また表面再結合速度の温度依存性を得るとともに、n型とp型のSiCの表面再結合速度の比較も行った。

得られた表面再結合速度の数値により、SiCバイポーラデバイスの設計が容易となり、大電力パワーデバイスの製造コスト削減に繋がると考えられる。製造コストが低減された大

電力SiCパワーデバイスの普及により、将来的には電力インフラでの省エネルギー化が期待できる。

名古屋工業大学大学院工学研究科 准教授 加藤 正史  
[連絡先]〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 E-mail: kato.masashi@nitech.ac.jp  
URL: http://ik-lab.web.nitech.ac.jp/

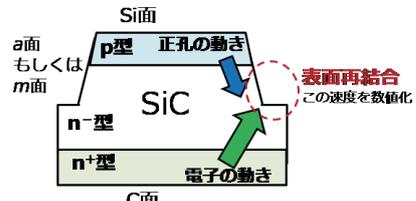


図 大電力SiCパワーデバイス構造の例  
[2020年6月17日]

## 原子の並び可視化 —金属酸化物薄膜 秩序形成

高知工科大学、住友重機械工業(株)及び(株)リガクの研究グループはガラス基板上アモルファス状態金属酸化物薄膜(膜厚50nm(1nm:0.001ミクロンメートル))において加熱による多結晶化過程で生じる金属(M)原子と酸素(O)原子との並び度合いの可視化に成功した。「原子の並び」は多結晶薄膜内秩序を指し、結晶子内原子配列秩序と結晶子間配向秩序との両方を含む。可視化は異種材料接合部材での機能制御につながる。

異種基板上に薄膜成長するときのポイントには結晶核発生を抑えることでM及びO原子との短距離秩序のみの「アモルファス状態」を実現することである。理由は前記発生は多結晶化後、残留圧縮応力を誘発し、異種材料接合では負の因子となるからである。無加熱条件成長、M原子フラックス低エネルギー化の下、M原子凝集を抑えるべく結晶核種(エンブリオ)となるM—O結合種を設計的に生成させた。低融点金属を扱う薄膜成長ではM原子凝集抑止は必須である。本研究ではフラックスエネルギー制御を可能とさせる反応性プラズマ蒸着装置(住友重機械工業株式会社製)

を用いた。加熱方法は基板裏面からのヒータ加熱であり、初期温度を室温とし、5℃/分なる昇温条件で300℃まで加熱した。基板/薄膜界面と気相/薄膜界面では温度が異なり、膜中でエントロピー生成(乱雑さの促進)が誘発される。

研究目的はエントロピー生成が与える秩序形成抑止への負の効果は結晶子内原子配列、結晶子間配向、或いは両方に跨ぐのか、秩序形成因果関係の解明にある。現象の時間経過に沿うことで因果のつながりを可視化する有効手段として高速2次元X線検出器付設のX線回折装置 SmartLab((株)リガク製)を用いた。解析の結果、結晶化過程は次の通りである。

I (@185℃):アモルファス薄膜中でのエンブリオが凝縮した結晶核の発生、

II:結晶核が互いに独立に3次元成長、結晶子化へ進展、

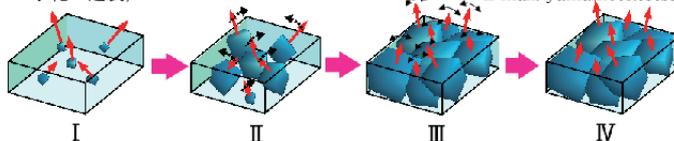


図 アモルファスから多結晶状態への変遷  
[2020年6月18日]

III:結晶子間相互作用の下、結晶子内原子配列面を互いに合わせる配向調整の回転が並行する衝突と合体、

IV (@195℃):前記配向とエントロピー抑止効果との競合。結果、ある程度での配向飽和として舵取りされる。ここまでは多結晶薄膜の全体秩序形成である。その後の加熱供給エネルギーは配向秩序度一定維持の下、結晶子内長距離秩序向上のみに費やされる。

今後は研究成果を異種材料接合部材での機能自在設計へつなげる。

高知県立大学法人高知工科大学大学院教授、総合研究所/マテリアルズデザインセンター長 山本哲也、  
[連絡先]〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185  
E-mail: yamamoto.tetsuya@kochi-tech.ac.jp