

**研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム**  
**本格研究開発ステージ シーズ育成タイプ 事後評価報告書**

研究開発課題名	: 超高効率エネルギー変換を可能とする次世代パワー半導体用誘電体キャパシタの開発
プロジェクトリーダー	: (株)村田製作所
所属機関	: (株)村田製作所
研究責任者	: 宮山勝 (東京大学)

### 1. 研究開発の目的

現行の SiC パワー半導体を炭化珪素(SiC)ベースの次世代パワー半導体に置き換えることで、電力損失を 70-90%削減できる。SiC パワー半導体の実現には、200℃以上という高温で使用可能な誘電体キャパシタが必須である。しかし、現行のキャパシタは最高で 175℃までしか使用できない。SiC 用の誘電体に求められる仕様として、200℃以上で使用可能であること、高い誘電率を持つこと(500~1,000)、容量温度変化率 ( $\Delta C/C$ ) が小さいこと(10 %以下)、鉛等の有害元素を含まないこと、が挙げられる。本提案の目的は、技術シーズ「新規誘電体材料群の発見」を基盤として、次世代パワー半導体用誘電体キャパシタを開発することである。

### 2. 研究開発の概要

#### ①成果

次世代パワー半導体用の誘電体キャパシタとして、スナバ回路用のセラミック積層キャパシタと、SiC 半導体基板上に直接形成することが可能な薄膜キャパシタの開発に取り組んだ。これらの材料には組成不均一性と構造不均一性を巧みに取り入れた材料設計を採用し、いずれもこれまでに無い優れた誘電特性と熱安定性を示すものが得られた。試作したセラミック積層キャパシタと実際の SiC 半導体回路と組み合わせてスナバ回路を形成することで所望のインダクタンス低減効果が得られ、モジュールの大幅な小型化が実現できることが明らかとなった。また薄膜キャパシタを実際に SiC 半導体基板上に形成して共振子を試作し、正常に作動することが確認できた。

研究開発目標	達成度
①新規高温誘電体材料の開発、物性・構造評価	①組成不均質性と構造不均質性を積極的に導入する材料設計により、CT1 規格および CT2 規格ともに満たす新規誘電材料(誘電率 1400、容量変化率 4.2%)の開発に成功した。
②新規誘電体材料のエピタキシャル薄膜の作製、物性・構造評価	②SiC とのプロセス整合性の観点から、東大グループが開発した[BiTiO <sub>3</sub> ]-[Bi(Mg,Nb)O <sub>3</sub> ]系バルク材料の薄膜プロセスの開発に成功し、誘電率 400 以上、熱安定性5%以下を達成した。
③メカニズムの解明と材料設計指針の確立	③セラミックスの局所的な微細構造解析と組成分布解析を行い、構造不均一性と組成不均一性の存在を明らかにした。組成不均一性によって形成されるコアシェル構造の形成とドメインサイズのナノス

<p>④積層型キャパシタの作製・各種特性評価・SiC システム評価</p>	<p>ケール化により誘電率 500 以上、容量変化率 5%以下を示す誘電特性が得られ、材料設計指針が得られた。</p> <p>④CT1 材の組成を調整することで、Ni 内部電極との共焼成を可能とし、評価用 MLCC を作製した。作製した MLCC は、十分な容量を有していたが、外部電極間で放電が発生するという、課題を有していた。</p> <p>熱シミュレーションによりインバータ熱成立点にて 220°C の耐熱性が必要であることを明らかにし、耐熱性の要求仕様を提示した。その要求仕様を基に村田製作所で試作した評価用キャパシタの温度特性評価から実装時の電極材料の耐熱性等の課題を明確にした。SiC システムへの適用のためのモジュールの低インダクタンス化に取り組み、従来技術と比較して 80% のインダクタンスの低減効果を確認した。</p>
<p>⑤SiC デバイス基板との熱膨張率差を考慮したキャパシタの設計・試作</p>	<p>⑤物質材料研究機構に対して SiC 基板上に形成する材料との熱膨張係数の整合性を定量的に検討し課題を抽出し、検証用デバイス仕様を提示した。その設計を基に物質材料機構にてデバイスを試作し、周波数の温度特性を評価した。</p>

## ②今後の展開

本プロジェクトで取り組んだ新規誘電体材料は、開発目標は達成できたが、MLCC および薄膜キャパシタともに、製品化に向けては、種々の課題が明らかとなった。

【MLCC】高温での高比抵抗化や高 AC 耐圧化、長寿命化など

【薄膜キャパシタ】従来技術に対して圧倒的な優位性を見いだすことなど

本プロジェクトでは、産学の連携により、高誘電率化や容量温度特性制御のメカニズム、手法などを明らかにできたので、上記の課題を中心に、次世代パワー半導体デバイスに適した材料・構成を見直し、企業側で連携して次世代パワー半導体デバイスの実現に取り組む。

## 3. 総合所見

概ね目標を達成したが、実用化に向けては更なる研究開発が必要で、現状では、イノベーション創出の可能性が低い。

材料開発としては良い成果が得られているが、最終的なデバイスとしての課題が多く残っている。