

LEDの更なる高効率化・省エネルギーを図る新たな 高放熱性セラミックス基板材料の開発 ～非酸化物系セラミックスの放射特性～

窯業系チーム 高石 大吾, 稲田 博文, 荒川 裕也

要 旨

LED照明の急速な普及と高輝度化、ハイパワー化に伴う放熱対策は喫緊の課題であり、新たな熱制御技術としてセラミックスの放射による放熱効果が注目されている。セラミック製放射放熱部材・ヒートシンクの開発により、本課題を解決することを目的として基礎的検討を行った。非酸化物系セラミックである窒化ケイ素セラミックスの分光放射率測定を行い、原料粉末及び焼結助剤組成による赤外放射特性の影響を調べた。放射スペクトルに若干の変化が観察されたが、積分放射率は同程度の値を示した。窒化ケイ素セラミックスは優れた放射特性を示し、セラミックスによる放射放熱の有効性を示唆する結果が得られた。

1. 緒 言

すでに広く普及している白色LED (Light Emitting Diode; 発光ダイオード) を用いた照明の特徴は、省エネルギー、高効率であり、高輝度、高演色性、調光性に優れ、熱線や紫外線が少ないこととされている。長寿命かつ高信頼性であり、また視認性にも優れることから、信号等の屋外用途にも採用されている。最近では自動車のヘッドランプや屋外スタジアムの照明等に用いられる高輝度LEDも開発され、更なる社会実装が進められている。LED光源が放射する光自体にはほとんど熱線が含まれていないが、LED素子自体は発熱する。高出力・高輝度化による温度の上昇が発光強度低下、封止材料や電子部品の劣化を招き、低寿命化が危惧されており、高効率な放熱対策は喫緊の課題となっている。

従来のLED照明の放熱対策としては、アルミニウム製の放熱フィンによる空冷が一般的であり、空冷ファンと組み合わせる場合も見られる。これは熱伝導と対流を利用した放熱方式であるが、高輝度化による温度上昇に対して冷却効率の限界が危惧されている。また構造が大きくなり、複雑化することも課題である。熱の移動形態には、熱移動の3原則と言われる熱伝導、対流熱放射の3種類がある¹⁾。セラミックスは遠赤外線ヒーターに使用されていることから理解されるように、赤外波長域の放射特性に優れている。この放射特性に着目し、放射放熱による冷却が提案され^{2, 3)}、利用され始めている。この方式は、従来に比べてシンプルな構造で実現できる

こと、密閉型で対流による熱移動が困難なパッケージでも冷却効果が期待できることなどの利点がある。遠赤外放射については、乾燥や加熱といったいわゆる遠赤効果についての研究は行われているが^{4, 5)}、放熱性という観点からの評価はほとんど行われていない。当チームではこれまで、セラミックスの放射放熱特性に関する基礎的な検討を行ってきた^{6) 7)}。前報では、代表的な非酸化物系セラミックスである窒化アルミニウムと窒化ケイ素が優れた放射特性を示すことを明らかにした。

窒化ケイ素 (Si_3N_4) はアルミナと比べて高熱伝導で機械的特性にも優れることから、パワーモジュール用放熱基板としても注目されている。その結晶相としては α 型と β 型があり、セラミック焼結用途としては主に α 型が用いられる。原料となる窒化ケイ素粉末の製造方法としては、金属ケイ素の直接窒化法 ($3\text{Si}+2\text{N}_2 = \text{Si}_3\text{N}_4$)⁸⁾、シリカの還元窒化法 ($3\text{SiO}_2+6\text{C}+2\text{N}_2 = \text{Si}_3\text{N}_4+6\text{CO}$)⁹⁾、イミド分解法 ($\text{SiCl}_4+6\text{NH}_3 = \text{Si}(\text{NH})_2+4\text{NH}_4\text{Cl}$, $3\text{Si}(\text{NH})_2 = \text{Si}_3\text{N}_4+\text{N}_2+3\text{H}_2$)¹⁰⁾ などがある。各窒化ケイ素粉末は、純度、 α 化率、粒度分布、粒子形状等、異なる特性を有している。そのため、窒化ケイ素セラミックスの製造においては、使用する原料により、焼結性や機械的特性等に違いがあることが知られている¹¹⁾。本研究では、非酸化物系セラミックスによる放熱部材・ヒートシンクの開発の可能性を探るため、窒化ケイ素セラミックスについて、原料粉末及び焼結助剤組成が放射放熱特性に及ぼす影響を評価することを目的として基礎的な検討

を行った。

2. 実験方法

2.1 試料作製及び評価

窒化ケイ素焼結体の作製には、工業的に一般的に使用されている原料として、直接窒化法とイミド熱分解法の粉末を用いた。XRD測定により、原料粉末の結晶相を確認した。放熱性セラミックスの開発が目的であることから、焼結助剤としてMgO-Y₂O₃系の高熱伝導タイプとされる組成系を選択した。助剤の影響を調べるため、a: 直接窒化Si₃N₄+ 焼結助剤13%, b: 直接窒化Si₃N₄+ 焼結助剤10%, c: イミド分解Si₃N₄+ 焼結助剤13%の3種類の組成を調合した。原料を所定量湿式混合し、スプレードライヤーにて造粒し顆粒を得た。金型プレス成形後、CIP成形した。N₂フロー下で1700℃、3時間保持の常圧焼結を行った。得られた焼結体に対しXRD測定(リガク, Ultima IV), アルキメデス法による密度測定を行った。XRD測定による定量分析として、RIR(Reference Intensity Ratio)法を用いた簡易定量を行った。RIR法は、データベースに記載されているRIR値と最強線の積分強度を利用して定量値を算出する方法である。放射率測定では試料の表面状態が大きく影響を与える。窒化ケイ素焼結体の両面に対して#230ダイヤモンド砥石による研削研磨加工を施し、放射率測定用試料とした。試料形状は、Φ30×2.2mmとした。

2.2 分光放射率測定

各試料の分光放射率は、日本工業規格JIS R1802に準拠した放射率測定システム((株)島津製作所)を用いて測定した。本システム及び測定手順は、前報を参照されたい。黒体炉, 試料加熱炉を200℃に設定し測定を行った。

3. 結果及び考察

3.1 原料粉末の分析

直接窒化法及びイミド分解法により製造された原料粉末のXRD測定結果を図1に示す。また簡易定量の結果を表1に示す。直接窒化Si₃N₄には5-6%のβ相が存在する。イミド分解法の窒化Si₃N₄は98%以上の高いα化率を示した。その他の成分に大きな差は観測されなかった。

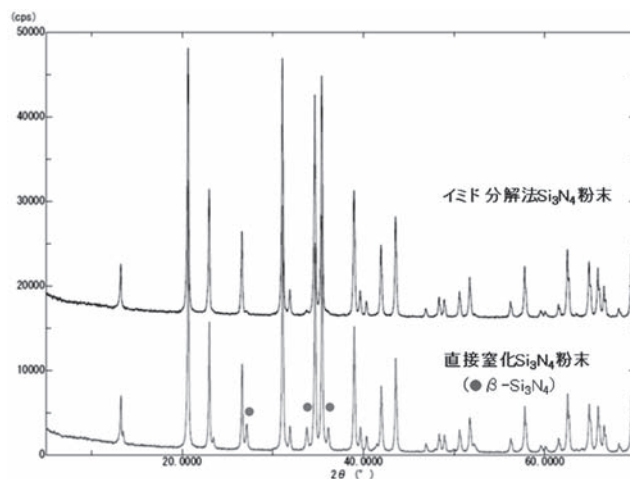


図1. 窒化ケイ素原料粉末のXRD測定結果

表1. XRD簡易定量による窒化ケイ素原料粉末の分析結果

結晶相名	直接窒化Si ₃ N ₄	イミド分解法Si ₃ N ₄
	重量比(%)	重量比(%)
Silicon nitride alpha	93(3)	98(4)
Silicon nitride beta	5.61(8)	0.449(8)
Silicon	0.210(3)	0.213(4)
silicon dinitride oxide	0.633(9)	0.647(12)
C Si	0.266(4)	0.269(5)

3.2 焼結体の評価

各窒化ケイ素焼結体のXRD測定結果を図2に示す。XRDプロファイルから、試料a及びcはβ-Si₃N₄となっていると判断された。試料bはβ-Si₃N₄が主相となっているが、酸窒化ケイ素や炭化ケイ素のピークもわずかに観察された。各試料の密度を測定した結果、試料a及びcは高密度3.1g/cm³でほぼ緻密化していたが、焼結助剤の少ない試料bは高密度2.86g/cm³, 見掛け気孔率6%と緻密化が不十分であった。200℃での放射率測定結果を図3, 分光放射輝度を図4に示す。10μm付近の谷に若干の差が見られるが、スペクトル全域にわたりほとんど同じスペクトルが得られた。分光放射輝度から算出した積分放射率はいずれも0.77程度であり、Si₃N₄セラミックスは優れた放射特性を示すことが分かった。

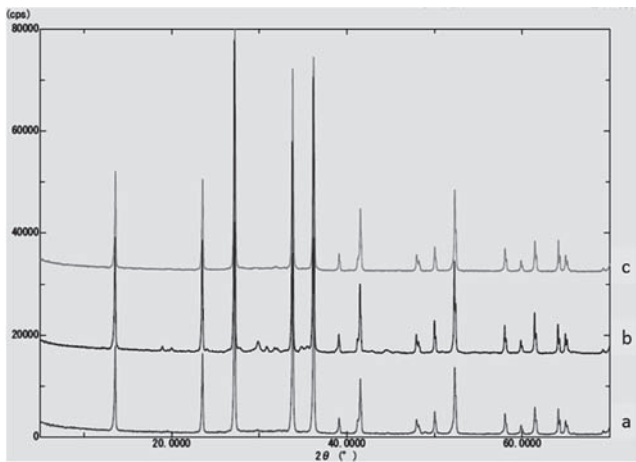


図 2. 窒化ケイ素焼結体の XRD 測定結果

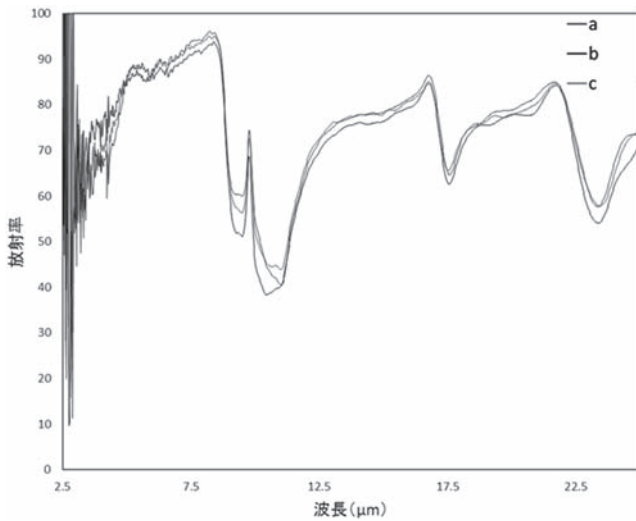


図 3. 200°Cでの分光放射率測定結果

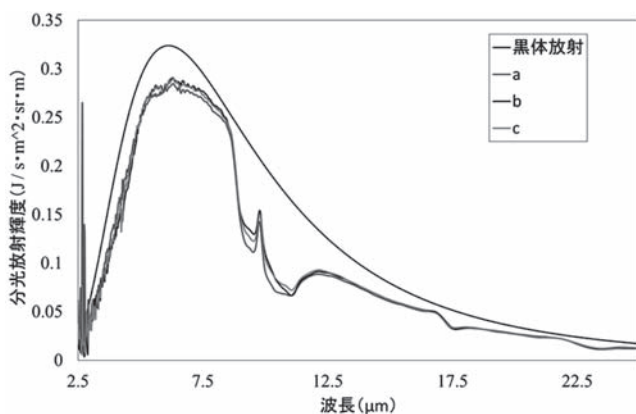


図 4. 200°Cでの分光放射輝度

4. 結 言

高輝度化・高出力化する LED 照明や電子デバイスの課題である熱を解決することを目的として、非酸化物系セラミックの放射放熱部材開発のための基礎的検討を行った。窒化ケイ素セラミックの分光放射率測定を行い、原料粉末及び焼結助剤組成による赤外放射特性の違いを評価した。焼結体はいずれも β - Si_3N_4 となっており、各分光放射スペクトルに大きな違いは観測されなかった。積分放射率はいずれも 0.77 程度の値を示し、優れた放射放熱材料であることを示唆する結果が得られた。

参考文献

- 1) 伝熱工学 一般社団法人 日本機械学会, 2005 (丸善出版株式会社)
- 2) 特開 2012-180275
- 3) 特開 2017-45979
- 4) 遠赤外線セラミックス産業対策調査研究 (平成 3 年度 無機新素材産業対策調査委託調査結果報告書), 平成 4 年, 遠赤外線産業協会
- 5) 非加熱部会測定分会活動報告書, 平成 5 年, 社団法人遠赤外線協会
- 6) 高石 他, 日本セラミックス協会第 30 回秋季シンポジウム, 2PL01 (2017)
- 7) 高石 他, 京都市産業技術研究所研究報告, No.7(2017)
- 8) 館谷 他, セラミックス, 29, 673-75 (1994)
- 9) I. B. Cutler et al., Powd. Mett. Internationals, 6 (1973) 143.
- 10) 神徳泰彦, セラミックス, 29, 676-78 (1994)
- 11) 日本学術振興会先進セラミックス第 124 委員会 編, 「窒化ケイ素系セラミックス新材料」内田老鶴圃 (2009)