

2021年4月16日

世界初*1、フォノンニック結晶構造を搭載した遠赤外線センサの 感度向上技術を開発し、国際学会にて発表

パナソニック株式会社は、一般的なシリコン(Si)の断熱性能を示す物性値限界*2を大きく上回ることが出来るフォノンニック結晶構造*3をSiウェハ上に量産適用可能な作製方法で形成し、デバイス性能を飛躍的に向上させる技術を開発しました。本技術を遠赤外線センサの受光部に適用することで、受光部からの熱の漏れを約1/10に抑制し、従来のSiベースの遠赤外線センサに比べて約10倍の感度向上が可能になることを世界で初めて実証しました。こうしたフォノンニック結晶を遠赤外線センサに導入し、センサ感度が向上することを実証した世界初の研究成果として、光学、フォトニクス、画像工学分野の国際学会SPIE(The International Society for Optical Engineering)のトップ5カンファレンスの一つであるSPIE Defense + Commercial Sensing 2021にて招待講演で発表しました。

<背景>

AI・IoT時代における電子デバイスは、今後ますます小型・高密度化が進むことが予測されます。それに伴い、デバイス局所の熱漏れや発熱密度の増加が問題視されており、従来手法を超えた高機能な熱制御技術の開発が要求されています。

熱制御技術の近年の研究において、材料にナノメートルオーダーの周期構造(フォノンニック結晶構造*3)を組み込み、熱輸送の担体であるフォノンの伝搬を人工的に操作し阻害することで、従来の物性値限界を上回る断熱性能を実現できることが明らかになってきました。しかし、フォノンニック結晶構造の寸法制御性や作製スループットの限界により、フォノンの伝搬制御性を最大限に引き出しきれず、実用的な電子デバイスへの応用は困難でした。

今回の当社が開発した技術では、Siウェハ上に量産適用可能な作製方法を用い、数十ナノメートルの孔の直径や整列周期が緻密に制御されたフォノンニック結晶構造を実現しました。これにより、Si材料の物性値限界を約10倍上回る断熱性能を得ることが可能になりました。高感度化が要求される遠赤外線センサに対し、本技術をセンサ受光部を支えるSi支持脚部分に搭載し(図1)、支持脚部分の断熱性能を格段に上げることで、受光部の温度上昇率を大きくし(図2)、センサ感度を約10倍に向上させることが可能になりました(図3)。

今後は本技術の活用により、目に見えない熱情報を見える化する新たなセンシングソリューションや、小型・高密度デバイスのサーマルソリューションへの適用を、パートナー様との共創も検討しながら目指してまいります。

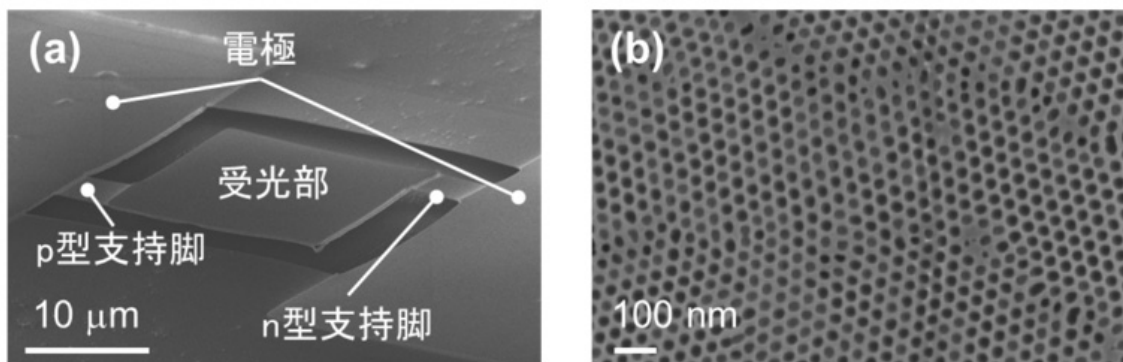


図1 開発したフォノンニック結晶が搭載された遠赤外線センサのSEM*4観察像

(a):センサ全体の斜視観察像

(b):フォノンニック結晶搭載部(支持脚部)の上面観察像

<特長>

1. 周期*5100 nm未満のフォノン結晶の量産適用可能なプロセス技術を開発
2. 従来構造の熱伝導率31.2 W/mKと比較して、フォノン結晶を搭載した遠赤外センサは3.6 W/mKを実現し、大幅な熱伝導率低減を実現
3. 従来のフォノン結晶を搭載しない遠赤外センサと比較して、10倍の感度向上を実現

<本技術の内容>

1. フォノン結晶加工技術の開発

一般的にフォノン結晶構造を形成するには、電子線描画装置*6を用いた最小寸法100 nm前後のナノパターンニングプロセスが採用されています。しかし電子線描画法では、フォノン結晶構造を1つ1つ電子線によって描画するため、形成のスループットが低くなります。また、その寸法ではフォノンの熱波動制御には不十分で、更に微細なナノ加工技術が必要になります。そこで当社は、プロセスコストの増加が小さく、量産適用可能な技術として、ブロック共重合体*7の自己組織化プロセス*8を高度に応用したナノパターンニングプロセスを採用しました。これにより、サイズを問わず大口径ウェハ全面を2種類の有機物によるシリンドー構造で被覆させる技術を開発しました。さらに、シカゴ大学との共同研究によりそのシリンドー構造の直径を約26 nm、シリンドーの整列周期を約38 nmにまで微細化することに成功し、フォノンの熱波動制御を最大化することを実現しました。

2. フォノン結晶による熱伝導率低減

積層構造を有するSi(100 nm)/SiO₂(2000 nm)/Si基板に自己組織化構造を形成し、遠赤外線センサの支持脚に転写することに成功しました。フォノン結晶を搭載しないSi遠赤外線センサの支持脚は熱伝導率が31.2 W/mKであったのに対し、フォノン結晶を搭載した当社独自の構造では熱伝導率を3.6 W/mKにまで低減することが可能になります。この低減割合は、発泡材のような従来の断熱材料で用いられている多孔質モデルを大幅に上回ることから、フォノン熱波動制御現象が発現していることを見出しました。さらに、同じ量の遠赤外線を照射した際の受光部での温度分布をシミュレーションで可視化する(図2)と、熱伝導率の差異による温度上昇量に大きな差異が認められ、当社独自構造の方が効率的に熱情報を検知可能なこと実証しました。

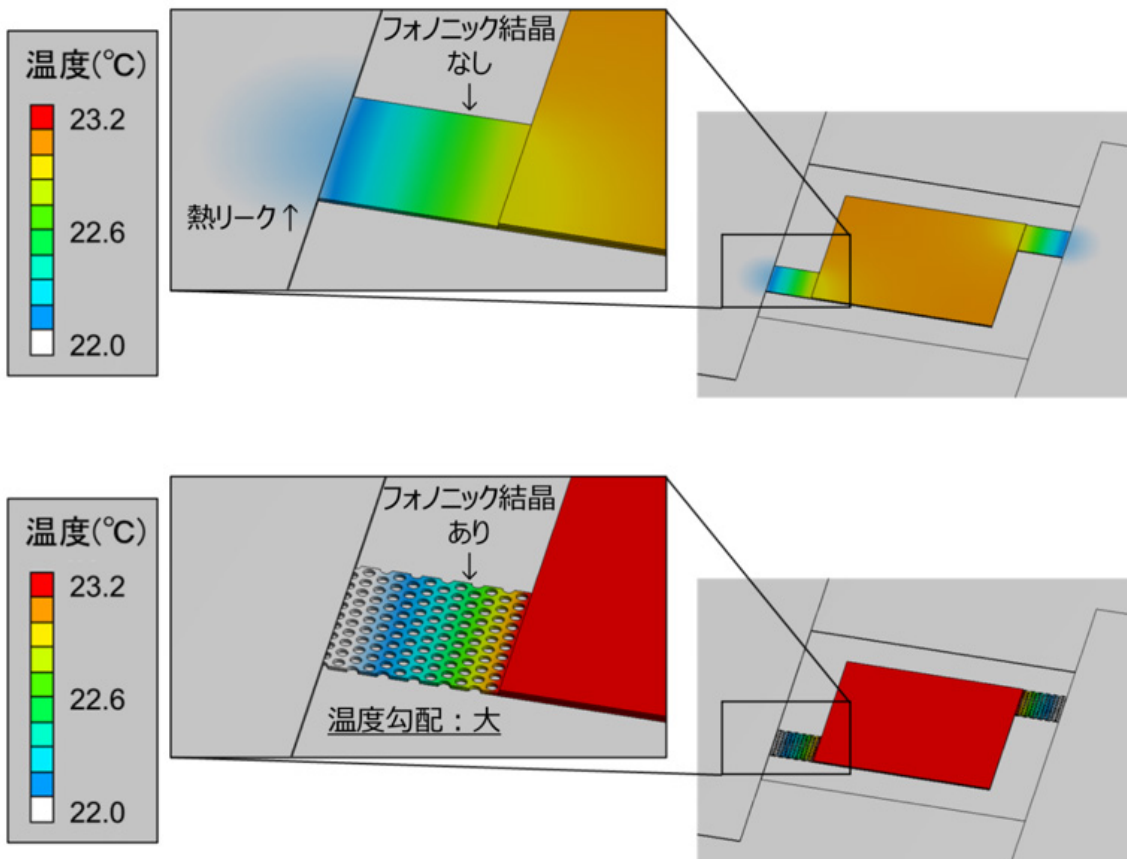


図2 フォニック結晶構造の有無によるセンサ受光部の熱伝導特性の比較

注) フォノンの波動制御により、穴の直径と整列周期を揃えることでフォノンの熱伝搬を最大限に阻害したことで、従来の穴のないの支持体やランダムな穴(多孔質モデル)の支持体を上回る断熱効果が発現。

3. フォニック結晶構造の搭載による遠赤外線センサの感度向上

パルスレーザー加熱による熱起電力を評価した結果(図3)、フォニック結晶を搭載した当社独自の遠赤外線センサは、フォニック結晶を搭載しない通常の遠赤外線センサと比べて、熱起電力が約10倍にまで増加しており、フォニック結晶による感度向上が実現していることが明らかとなりました。

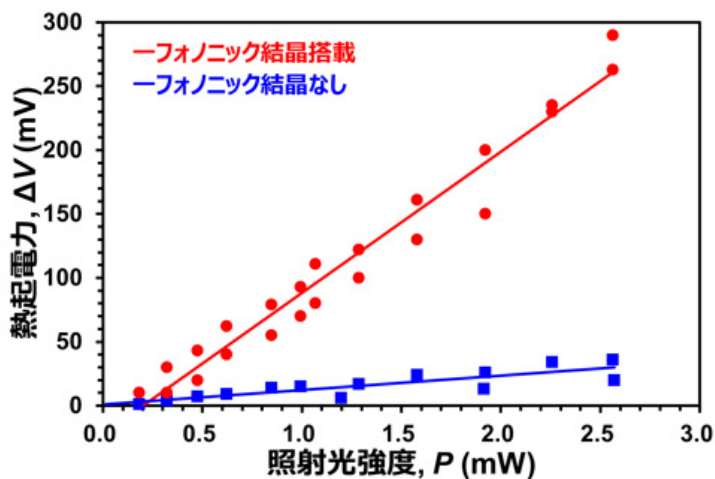


図3 熱起電力の照射光強度依存性を評価した結果

注) 図1の受光部をパルスレーザーにより加熱し、両端の電極に発生する電位差を測定

<用語説明>

*1:2021年4月16日時点

*2:断熱微細加工で得られる断熱化の限界値

*3:物質中の熱伝導を担う媒体の1つである格子振動を量子化したフォノンに対して、伝搬を阻害する禁制帯を発生させ、フォノンの波動制御が可能となる超微細ナノ周期構造

*4:走査型電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscope) の略称で、電子線を対象物に照射することで放出される二次電子を結像させ、ナノ構造物を可視化する装置

*5:フォノン結晶を形成するナノ孔の周期

*6:一般的な露光方法を用いるフォトリソグラフィー技術とは異なり、フォトレジストへ直接電子線ビームを照射し走査させることで、ナノ構造のパターンを感光させる装置

*7:親水性と疎水性といったように、表面自由エネルギーの異なるモノマーが重合したポリマーのことで、ブロックコポリマーとも呼ばれる

*8:自発的秩序形成工程のことで、エネルギー的に準安定な状態から安定状態へ遷移する際に発現する、微細な周期構造が大面積に形成される現象

以上

プレスリリースの内容は発表時のものです。

商品の販売終了や、組織の変更等により、最新の情報と異なる場合がありますのでご了承ください。