同時発表：
筑波研究学園都市記者会（資料配付）
文部科学記者会（資料配付）
科学記者会（資料配付）

水素を修飾したダイヤモンド表面に特有な巨大光伝導効果を世界で初めて発見

―超高感度・深紫外線センサー開発への期待―

平成１７年　８月２９日
独立行政法人物質・材料研究機構

概要

１．独立行政法人物質・材料研究機構（理事長：岸　輝雄）が文部科学省の科学技術振興調整費「戦略的研究拠点育成」において運営している若手国際研究拠点（センター長：板東　義雄）のホセ・アルバレッツ（Jose Alvarez）特別研究員、物質研究所（所長：室町　英治）スーパーダイヤグループの寥　梅勇特別研究員、小出　康夫主席研究員らは、水素修飾されたダイヤモンド表面に特有に現れる巨大光伝導効果を世界で初めて発見した。

２．地球環境問題への対応および安全・安心社会の実現のため、火炎や有害物質などを高感度・迅速に探知する小型・簡便なセンサーの開発は極めて重要な研究課題になっている。しかしながら、通常の光センサーは太陽光の波長に対しても応答してしまうという欠点があり、その欠点を克服したセンサーとして光電管が火災報知器などの用途ですでに実用化されているものの、駆動に高電圧が必要でありサイズも大きいことから小型・低電圧駆動のセンサー開発が待ち望まれていた。

３．今回、水素修飾されたボロン添加ｐ型ダイヤモンド半導体のエピタキシャル単結晶層上に櫛形構造の金属電極を作製し、金属／水素修飾ダイヤモンド／金属型の接合構造を持つ紫外線センサーを試作した。わずか０．４Ｖの印加電圧での深紫外線（波長２２０ｎｍ）照射に対して１０００万倍の光電流が流れ、巨大光伝導効果が現れることを見出した。

４．この巨大光伝導効果は水素を除去した表面では観測されないことから、水素修飾表面に特有な現象であることがわかっている。更に、深紫外線の可視光（波長６３０ｎｍ）に対する受光感度比は約７桁であり、平方センチメートル当たり１ピコワットもの微弱深紫外線を低電圧で検知する世界最高水準の性能を有しており、超高感度・深紫外線センサーの開発に応用されることが期待される。

５．この研究成果は、９月１２日発行（９月５日オンライン公開）の米国科学誌「Applied Physics Letters」に掲載される。

研究の背景

２１世紀においては、ハイテク科学技術の急速な進歩によって、快適な人間生活が保障されるに至ったが、反面人体への悪影響を及ぼす突発的な環境変化や思いもかけない不慮の環境現象が容易に発現することにも至った。その様な状況を鑑み太陽光が存在する真昼や戸外においても、火炎や有害物質のみを高感度・迅速に検知することができる小型・簡便な光センサーの開発は、国民の安全・安心な生活環境を確保するために極めて重要な研究課題と位置付けられる。

しかしながら、通常の光センサーは太陽光の波長に対しても応答してしまうため、太陽光線には含まれない波長で且つ火炎や有害物質の蛍光から出る波長（深紫外線[1)]）にのみ応答する太陽光ブラインド紫外線センサー[2)]を開発する必要があった。

今日では太陽光線に含まれない波長２８０nm以下の深紫外線のみを検知する光センサーとしては光電管が存在し、主に火災報知器用の火炎センサーとして実用化されているが、駆動に３００V以上の高電圧が必要でありサイズも大きいことから、低電圧駆動・小型の固体素子型半導体センサー実用化が待ち望まれていた。

このような状況の中、当グループにおいてはダイヤモンド半導体が低電圧駆動・小型・高温安定性に優れた太陽光ブラインド紫外線センサーとして実用化できる可能性を実証（平成１７年２月２４日プレス発表済み）し、本半導体を用いての研究開発を進めていた。

成果の内容

Ib 型（窒素を含む）ダイヤモンド（１００）面基板上にマイクロ波プラズマ気相成長法によりボロンドープｐ型ダイヤモンドエピタキシャル層を成長させた。成長させたダイヤモンド表面は結合水素原子によって修飾されており（水素化表面と呼ぶ）、主たるキャリアが正孔である表面伝導層が存在することがわかっている。この水素化表面上に、櫛形構造のＴｉ／Ａｕ積層ショットキー性電極[3)]を形成した金属／水素化ダイヤモンド／金属接合型の深紫外線センサーを作製した（図１および図２）。

図３に、(a)光照射なし、及び(b)２２０nmの深紫外線を照射中の電流ー電圧特性を示す。光照射しない場合は±１０Vにおいて10^{-12}A以下の暗電流[4)]を示している。一方２２０nmの深紫外線を照射することによって10^{7}倍もの光電流が流れ、巨大光伝導効果が現れることがわかる。この巨大光伝導効果は水素を除去した表面では観測されないことから、水素修飾表面に特有な現象であることを確認している。

図４に、印加電圧１Vにおける光応答特性を示す。受光感度の上限波長（カットオフ波長）は約２７０nm（約４．６eV）で、２３０nm近傍にバンドギャップに対応する光応答が見られる。２２０nmの深紫外線の可視光（波長６３０nm）に対する感度比は約７桁であり、太陽光ブラインド紫外線センサーとしては世界最高水準である。

波及効果と今後の展開

太陽光ブラインド紫外線センサーは、固体素子型の小型・簡便な火炎センサーとして応用が期待され、火災探知機や煙草探知機のセンサー部分、更に家庭用燃焼機器及び工業炉における燃焼炎の自動制御用センサー、更に有害物質の蛍光スペクトルセンサーに使用することが期待される。

ダイヤモンド半導体は半導体材料の中で最も機械的強度が強く、最も熱伝導性が高く、最も熱的・化学的に安定な究極の半導体である。ダイヤモンド紫外線センサーの開発研究は、国内や欧州を中心に開発が行われている。今まで深紫外線のみに応答することのできるセンサーは光電管が実用化されているが、駆動に３００Ｖ以上の高電圧が必要でありサイズも大きかった。今回発見した巨大光伝導効果を利用すれば、平方センチメートル当たり１ピコワットもの微弱深紫外線を低電圧で検知する超高感度・深紫外線センサーを開発することが期待される。

用語解説

１）深紫外線

参考図１に示すように、太陽光線の内２８０nm以下の紫外線はオゾン層に吸収されるため地表に届かない紫外線で、深紫外線と呼ぶ。

２）太陽光ブラインド紫外線センサー

太陽光線に影響されることなく波長２８０nm以下の紫外線をセンシングできる光センサーを太陽光ブラインド紫外線センサーと呼んでいる。

３）ショットキー性電極

電流ー電圧特性において、順方向電圧の増加とともに電流が自然対数的に増加し、逆方向電圧の増加に対しては一定の暗電流[4)]が流れる特性を与える電極をショットキー性電極と呼ぶ。

４）暗電流

整流性を示すショットキー性電極における電流ー電圧特性において、光遮断された状態で逆方向電圧時に流れる電流を暗電流と呼ぶ。暗電流が小さい程センサー性能が向上する。

参考

<Applied Physics Letters 発表論文>
論文題名：Large Deep-Ultraviolet Photocurrent in Metal-Semiconductor-Metal Structures Fabricated on As-grown Boron-doped Diamond.
著者名：ホセアルバレッツ、寥梅勇、小出康夫

問い合わせ先：
〒305-0047　茨城県つくば市千現１－２－１
独立行政法人物質・材料研究機構
　広報室　TEL:029-859-2026

研究内容に関すること：
独立行政法人物質・材料研究機構
　物質研究所スーパーダイヤグループ
　主席研究員　小出　康夫（こいで　やすお）
　TEL:029-860-4311（ダイヤルイン）　FAX:029-851-4005
　E-mail: koide.yasuo@nims.go.jp

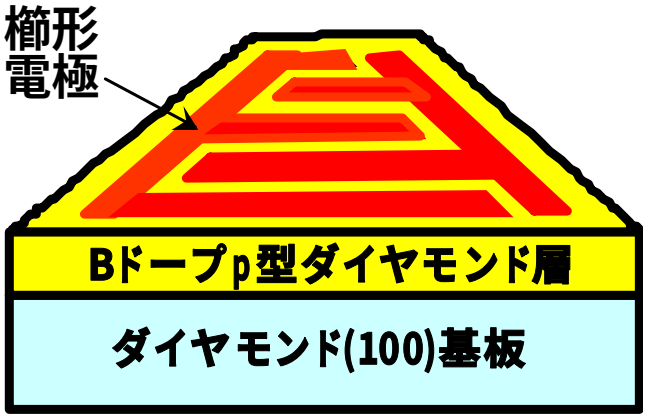


図１　試作した太陽光ブラインド紫外線センサーの概略図。

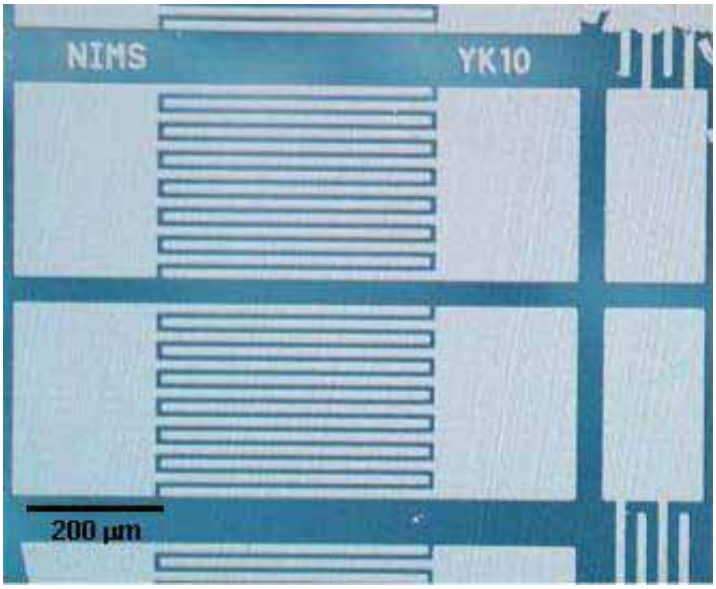


図２　試作した太陽光ブラインド紫外線センサーの表面写真。

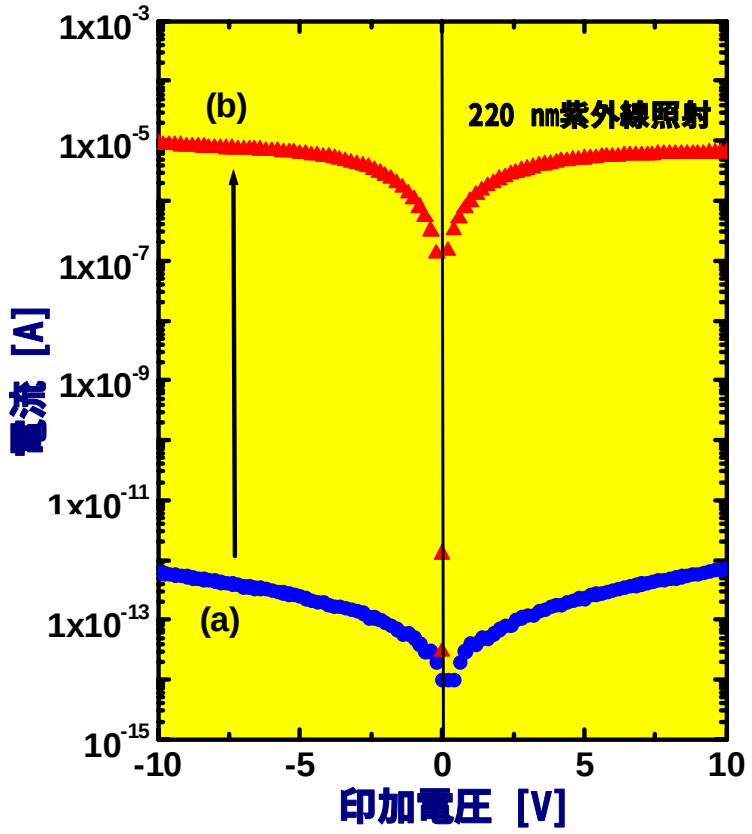


図３　(a)光照射なし、及び(b)220 紫外線照射中の電流―電圧特性。

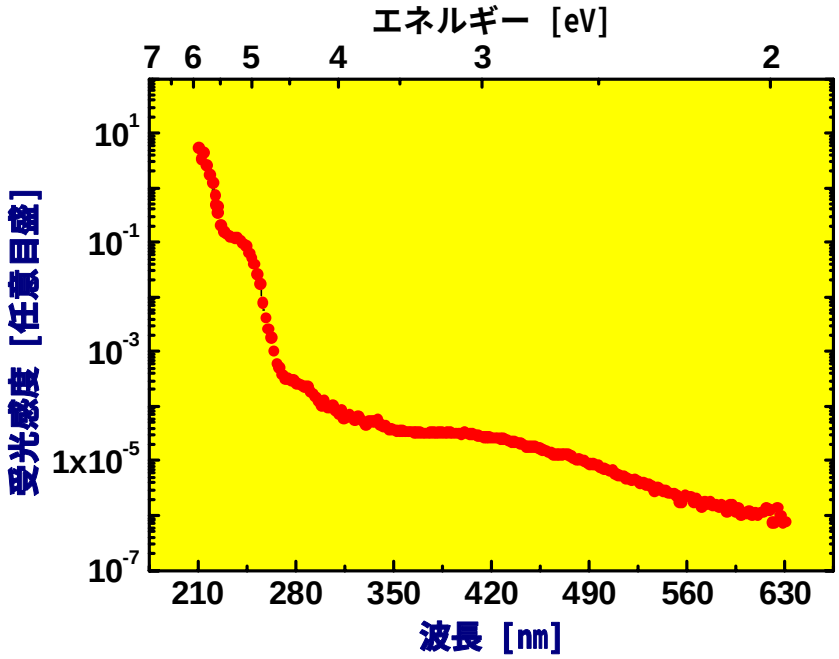
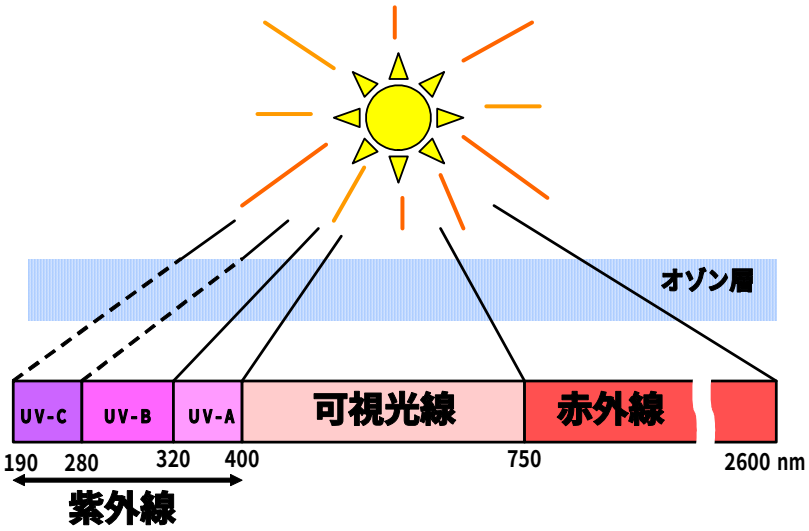


図４　太陽光ブラインド紫外線センサーの光応答特性。



参考図１　地表に到達する太陽光の波長スペクトル。２８０ｎｍ以下の紫外線はオゾン層に吸収されるため地表には届かない紫外線である。