

ダイヤモンドでパワー半導体

早大、EVや電車向け

早稲田大学の川原田洋教授らは人工合成したダイヤモンドを使い、高い温度と電圧でも使用できるパワー半導体を開発した。セ氏400度でも1600ボルトの高い電圧に耐えられる。従来のシリコン製は同200度以下でしか使えず、回路の破損や暴走を防ぐための冷却装置が必要だった。まだ基礎的な段階だが、炭化ケイ素や窒化ガリウムといったライバルの材料をしるべき可能性を秘める。2020年ごろの実用的な素子の開発が視野に入ってきた。

セ氏400度で 1600ボルトに耐える

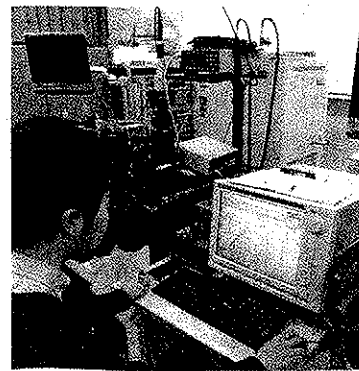
昨年12月、米サンフランシスコで開いた半導体国際会議IEDMで、田教授は質問攻めにあっ「研究内容というより、実際に使う場面を

主なパワー半導体材料の比較

材料	シリコン	炭化ケイ素	窒化ガリウム	ダイヤモンド
耐電圧(ボルト)	30	330	350	1000
キャリア移動度	1500	950	1000	3800
熱伝導度	150	490	130	2200

する発表は1件だけで、発光ダイオード(LED)

(注) これまでの発表から特に優れた値を選んだ。キャリア移動度は電気の流れを担う電子やホール(正孔)の動きやすさの指標。熱伝導度は熱の逃がしやすさの指標。耐電圧は厚さ1ミリあたり



開発したダイヤモンド製パワー半導体の性能を評価している様子

の回転速度などを細かく制御する。オンのときは電気をよく流し、オフのときは電流をせき止める

川原田教授らは、ダイヤモンドの膜と電気を通さない絶縁膜を積み重ねる工程で、原料や温度管理などを工夫し、ダイヤモンドと絶縁体の境界の性質を向上させた。その結果、オンのときは同400度でも耐電圧は1600ボルトに向上し、オンのときに約100ミリの電流を流せるようになった。これまでもオフのときは

からパワー半導体への応用が進み始めた窒化ガリウムに関する成果の報告が中心だった。なぜ、まだ傍流といえるダイヤモンド研究者の関心を集めたのか。半導体材料として窒化ガリウムをしのぐ性能があるからだ。電車や電気自動車のモーター、エアコンなどに組み込むインバーター(電力変換装置)には、パワー半導体が使われている。電流を素早くオン・オフし、その時間間隔を調整することでモーターの回転速度などを細かく制御する。オンのときは電気をよく流し、オフのときは電流をせき止める

の耐電圧が高い素子はあつたり、オンのときに流れる電流が0.1ミリアンペアほどとくわすかだったりする欠点があった。川原田教授は「炭化ケイ素や窒化ガリウムと争える水準に達した」と話す。ダイヤモンドの優れた性質によつて低い損失で電力変換が可能になり、パワー半導体の省エネ性能を大幅に高めると期待される。川原田教授は1980年代半ばに研究を始めた。他の研究者が撤退する中で研究を続け、世界トップ級の成果を出してきた。今後は実用化を視野に、ダイヤモンドの合成技術と素子の作製技術の研究を進める考えだ。

視点

をよく逃がすという性質もある。人工ダイヤモンドはこうした性質が天然ダイヤモンドよりも優れている。研磨剤や切削工具、半導体の放熱板などに広く使われている。

ダイヤモンドのままでは電気を通さないが、合成するときに微量のホウ素などを混ぜると半導体になる。半導体向け材料の研究は1980年代に始まった。熱をよく逃がすため冷却が不要になり、省エネルギー型の優れた次世代のパワー半導体の実現につながる」と期待されている。

ダイヤモンドはパワー半導体として「最適な材料」といわれる。現在主流のシリコンだけでなく、次の材料として期待される炭化ケイ素、窒化ガリウム

ため、装置は仕組みが不要になり、シリコンでの経験やノウハウが生かしやすい。窒化ガリウムは青色発光ダイオード(LED)で研究者の注目を集め、そのことからパワー半導体として使えることもわかってきた。

は両方作ることができ、研究者や技術者の関心と呼んだ。しかし、川原田教授は「大きな誤解だ」と指摘する。実は、半導体素子はP型かN型かどちらかがあれば実現できる。川原田教授が開発したダイヤモンド半導体はP型だけでできている。

人工ダイヤモンドは鉱石から取り出す宝石の天然ダイヤモンドとは違って人工的に合成する。20世紀半ばに実現し、最初は炭素を非常に高い温度と気圧にすることで合成していた。その後、メタンガスや二酸化炭素を低い圧力でマイクロ波などを使って分解し、炭素だけを基板に降り積もらせる化学的気相成長法(CVD)が開発された。今はこの手法が主流になっている。

人工ダイヤモンド

熱逃がし 電気よく伝える

ダイヤモンドは炭素原子が非常に強く結びついてきた地球上で最も硬い材料で、熱

り様々な特性で大きく上回る。耐えられる電圧はシリコンの30倍、熱が伝わる速さは約3倍、熱が伝わる速さはシリコンや窒化ガリウムの約15倍、炭化ケイ素の約4.5倍ある。半導体を使う炭化ケイ素はシリコンと同じケイ素を含ん

「次の次」材料に期待

ハイブリッド車や電気自動車の普及で、パワー半導体のニーズは高まっており、より高い温度、高い電圧に耐える性能が求められる。ダイヤモンドが浮上する

誤解を解きつつ優れた点をアピールする成果を出す必要がある。 (黒川卓)