戦略的創造研究推進事業　CREST
研究領域「二酸化炭素排出抑制に資する
革新的技術の創出」
研究課題「超低損失パワーデバイス実現のための
基盤構築」

研究終了報告書

研究期間　平成22年10月～平成28年3月

研究代表者：山崎聡

（国立研究開発法人　産業技術総合
研究所、
先進パワーエレクトロニクス研究センター
招聘研究員）

§1 研究実施の概要

(1)実施概要

研究の目的

二酸化炭素排出抑制に大きな効果を持つ、新概念の超低損失パワーデバイス実現のための基盤構築を行う。その候補として、特異な物性を持つダイヤモンド半導体を取り上げる。超低損失パワーデバイス実現に必要なダイヤモンド特有の物性の物理的理解、その物性を利用した新しいデバイス物理の構築、材料プロセス・デバイス作製プロセスの問題点の抽出とその解決策の検討を総合的に行い、超低損失パワーデバイスを提案・試作し、実用化への道筋をつけることを目標とした。

研究成果

数多く存在する半導体材料の中で、唯一ダイヤモンドは周期表の第２周期に存在しているデバイス化可能な半導体であることに注目した。第２周期の半導体であることから、小さな原子半径、小さな誘電率、大きな電気陰性度、などの性質を持ち、その結果、高い原子密度、大きな結合エネルギー、高い絶縁体圧、高い熱伝導率、水素表面の負性電子親和力、高密度ドーピング層による低抵抗ホッピング伝導・金属的な伝導、室温でも安定な励起子状態、長いスピン緩和時間など多くの特異な物性を有している。本プロジェクトではこれらの特異な物性を利用した電子デバイスを作成することに注力した。特にパワーデバイス開発では、新規な構造であるショットキーｐｎダイオード、ホッピング伝導を利用したp^+in^+ダイオード、バイポーラ

トランジスタ、接合型電界効果トランジスタ（JFET）など新規な、パワーデバイスとしての大きな可能性を持つダイヤモンドデバイスの作製に成功した。

一方、ダイヤモンド半導体の実用化に不可欠な、大面積で安価な基板開発において、シリコンウエハを出発材料としたヘテロダイヤモンド基板上のショットキーダイオードを作成し、良好な電気的な特性を示すことができ、ダイヤモンドパワーデバイスの実用化に対する大きなインパクトを与えることができた。

研究体制

本研究実施内容はつくばを中心に行った。産総研では成膜を始め、デバイス作成プロセスが遂行できる施設・人員を整備した。各グループのメンバーは頻繁に産総研に滞在し、各デバイス作製を行った。また、各グループの個別の研究としては、小泉グループ（物材機構）においてｎ型ドーピング技術を開発した。波多野グループ（東工大）ではデバイスの設計・電気的な評価、徳田グループ（金沢大）ではダイヤモンド成膜技術開発・表面制御技術、斎藤グループではｐ型オーミック特性の改善をおこなった。また、デンソー小山グループはデバイスシミュレーションを使い、ダイヤモンドの性能を活かすためのデバイス設計を行い試作している。

(2)顕著な成果

＜優れた基礎研究としての成果＞

1．ダイヤモンドの持つ周期表第2周期の半導体としての特殊性を明確化
概要:
ダイヤモンド半導体は周期表第2周期のみの原子で構成され、また、電子デバイスとして機能する、初めての半導体である。第2周期半導体として、炭素原子は強い結合エネルギー、高い原子密度、高い電気陰性度を持つ。これらの炭素原子としての基本的性質の基、半導体として、小さな誘電率、硬い性質による高い絶縁耐圧・高い熱伝導率、ドーピングによっても変わらないダイヤモンドとしての強固なネットワーク、水素終端ダイヤモンドの持つ不正電子親和力、など既存半導体とは一線を画す新しい半導体であることを明確化し、新しい電子デバイス作製の高い可能性があることを示した。

2. 低誘電率半導体における電子正孔再結合過程の解明
概要:
ダイヤモンドの誘電率は5．7であり他半導体に比べ半分の値である。この小さな誘電率が原因で、バンドギャップ中への電子正孔再結合過程が既存の半導体とは異なることを示した。これまでの半導体の代表的な自由電子・自由正孔再結合が、再結合中心欠陥への片方のキャリアのトラップ、その後の反対チャージを持つキャリアの再結合で完結するのに対し、低誘電率半導体であるダイヤモンドでは、束縛状態を介した再結合であることを初めて示した。

3. ダイヤモンド高濃度ドーピング層における伝導機構解明
概要:
ダイヤモンド半導体中の炭素原子間の結合の力は強く、$10^{20}cm^{-3}$ 以上のドーピングを行ってもダイヤモンドのネットワークは保たれ、ボロンドーピングの場合には$10^{22}cm^{-3}$、リンドーピングの場合には$10^{21}cm^{-3}$、までドーピングが可能であり、およそ$10^{19}cm^{-3}$ 以上の濃度でホッピング伝導さらには金属伝導を示す。このホッピング伝導のメカニズムを解明し、最近接ホッピング伝導およびバリアブルレンジホッピングが存在することを示した。

＜科学技術イノベーションに大きく寄与する成果＞

1．ダイヤモンド得意の物性を利用した新規デバイス開発
（ショットキーpnダイオードおよびp^+in^+ダイオード）
概要:
ダイヤモンドの持つ低抵抗高濃度ホッピング伝導を利用した新構造デバイスである、ショットキーpnダイオードおよびp^+in^+ダイオードを開発した。ショットキーpnダイオードはパワーデバイスとしての耐圧とオン抵抗を独立に制御することができるデバイスであり（電流密度75000 A/cm2 を達成）、また、p^+in^+ダイオードはホッピング伝導とバンド伝導の直接接合のダイオードとして特異なものである。

2. ダイヤモンド半導体を利用した各種デバイス開発

概要:
ダイヤモンド半導体の持つ高い絶縁耐圧と高い熱伝導率という優位性を活かすことを目的に、各種ダイヤモンド半導体デバイスを試作した。接合型トランジスタ、バイポーラトランジスタ、ショットキーダイオードなどの基本的なデバイスである。特に、接合型トランジスタはバイポーラ動作させることにより高電流密度が期待され、動作実証に成功した。

3. シリコン上ダイヤモンド基板による良好なショットキー接合の作製
概要:
超低損失パワーデバイス開発・実用化にとって重要なことは、機能の実証とともに、基板開発である。大面積化と低コスト化を目指し、シリコン上ヘテロダイヤモンド基板のショットキー接合ダイオードを開発した。その電流電圧特性は単結晶基板上のダイオードと同等の良好な特性を得ることができた。大面積・低コストダイヤモンド基板を求めていた世界の研究者にとって、ダイヤモンド半導体デバイス実用化へ道筋を与える結果であり、大きなブレークスルーである。

§2 研究実施体制

(1)研究チームの体制について

① 「山崎」グループ
研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
山崎　聡	国立研究開発法人　産業技術総合研究所 先進パワーエレクトロニクス研究センター	客員研究員	H22.10～
西澤　伸一	国立研究開発法人　産業技術総合研究所　省エネルギー研究部門	研究員	H22.10～
大橋　弘通	国立研究開発法人　産業技術総合研究所　省エネルギー研究部門	客員研究員	H22.10～H27.3
大串　秀世	国立研究開発法人　産業技術総合研究所 先進パワーエレクトロニクス研究センター	客員研究員	H22.10～
竹内　大輔	同上	研究員	H22.10～
牧野　俊晴	同上	研究員	H22.10～
小倉　政彦	同上	研究員	H22.10～
加藤　宙光	同上	研究員	H22.10～
中島　昭	同上	研究員	H22.10～
FredericMarcier	同上	産総研１号職員	H22.10～H24.3
松本　翼	同上	産総研１号職員	H23.4～
工藤　唯義	同上	産総研２号職員	H24.1～
桑原　大輔	筑波大学数理物質科学研究科	D2	H24.4～
川島　宏幸	筑波大学数理物質科学研究科	D2	H26.4～
吉田　美沙	国立研究開発法人　産業技術総合研究所 先進パワーエレクトロニクス研究センター	産総研２号職員	H26.4～
水落　憲和	同上	客員研究員(大阪大学・准教)	H22.10～

徳田　規夫	同上	客員研究員（金沢大学・准教）	H22.10～
鈴木　真理子	同上	客員研究員（東芝）	H23.1～
小泉　聡	同上	客員研究員（物質材料研究機構）	H23.1～
波多野　睦子	同上	客員研究員（東京工業大学・教授）	H23.7～
岩崎　孝之	同上	客員研究員（東京工業大学・助教）	H23.7～
齊藤　丈靖	同上	客員研究員（大阪府立大学・准教）	H23.7～
宮崎　剛英	同上	グループ長	H22.10～
宮本　良之	同上	グループ長	H25.4～
小山　和博	同上	客員研究員（デンソー）	H26.4～

研究項目
- ダイヤモンド半導体基盤研究
- 新構造パワーデバイスの作製・解析とデバイス物理の構築

② 「小泉」グループ
研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
小泉　聡	物質・材料研究機構 環境・エネルギー材料部門 光・電子材料ユニット、ワイドギャップ機能材料グループ・	主幹研究員	H23.4～

研究項目
- ダイヤモンド製膜技術開発と物性研究

③「波多野」グループ
研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
波多野　睦子	東京工業大学大学院・理工学研究科電子物理工学専攻	教授	H24.04～
岩崎　孝之	同上	助教	H24.04～
星野　雄斗	同上	M1～M2	H24.04～H26.03
都築　康平	同上	B4～M2	H24.04～H27.03
諏訪　泰介	同上	M1～	H26.4～
矢板　潤也	同上	M1～	H25.4～
長谷川　潤一	同上	D1～	H25.4～
田原　康佐	同上	D1～	H25.4～

研究項目
・　デバイス作製技術開発
・　新しい物性を取り込んだデバイス物理の構築

①　「齊藤」グループ
研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
齊藤丈靖	大阪府立大学工学研究科	准教授	H24.4～H28.3
鈴木聡一郎	同上	大学院生	H25.4～H28.3
湯川光	同上	大学院生	H26.4～H28.3

研究項目
・　界面制御・解析技術開発

②「徳田」グループ
研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
徳田　規夫	金沢大学理工研究域電子情報学系	准教授	H25.4～
猪熊　孝夫	同上	教授	H25.4～
中西　一浩	金沢大学大学院・自然科学研究科電子情報科学専攻	M2	H27.4～
向瀬　貴樹	同上	M2	H27.4～
金田　大輝	同上	M2	H27.4～
渡邊　俊介	同上	M2	H27.4～
上田　諒浩	同上	M2	H27.4～
宮田　大輔	同上	M2	H27.4～
伊藤　槙哉	同上	M2	H27.4～
馬場　一気	同上	M2	H27.4～
黒島　裕貴	同上	M2	H27.4～
辻　直貴	同上	M2	H25.4～H26.3
森本　隆介	同上	M2	H25.4～H26.3
長南　幸直	同上	M1～2	H25.4～H27.3
南山　拓真	同上	M1～2	H25.4～H27.3

研究項目
・　ダイヤモンド製膜技術開発と物性研究
・　ダイヤモンドの欠陥評価技術及び欠陥低減技術の開発

③「小山」グループ
研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
小山　和博	(株)デンソー 基礎研究所　エレクトロニクス研究部　半導体プロセス研究 2 室	担当課長	H26.4～

研究項目
・　新構造パワーデバイスの提案

(2)国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

国内の研究者との連携について
本プロジェクトの成果を中心に、NEDO プロジェクト申請を目的に、企業7社、9大学、産総研、物材機構の18機関がまとまり、ダイヤモンド半導体のエレクトロニクス実用化についての討論を行った。NEDO プロジェクト自体はならなかったが、その連携はその後も継続している。産総研におけるシリコン上薄膜ダイヤモンド基板を使った良好な電気特性を持つショットキー接合ダイオードの成功を基に再度インテンシブな議論を行う予定である。

国外の研究者との連携
フランス・ドイツを中心とするヨーロッパのダイヤモンド研究、また、アリゾナ州立大学・ミシガン州立大学を中心とするアメリカの研究がそれぞれプロジェクトを開始したところである。プロジェクト開始に際しては、我々の成果および意見を参考に立案しており、我々との議論のために多くの研究者が来訪している。

産業界との連携について
現在、本プロジェクトではデンソーが正式メンバーとして、また、東芝が産総研外来研究者として参加している。また、産総研は信越化学工業と基板開発で共同研究を行っている。
これまでのダイヤモンドの特異な物性を利用したデバイス開発、しかも、今回大面積・低コスト可能な基板開発に成功したことにより、さらに共同研究が進むと考えている。事実、自動車関連メーカが参加を検討しているところである。

§３ 研究実施内容及び成果

３．１ サブテーマ名１（産総研　山崎グループ）
(1)研究実施内容及び成果

高濃度不純物ドープダイヤモンドの低抵抗ホッピング伝導のメカニズム解明

ダイヤモンド半導体の比誘電率は5.7であり、シリコンやシリコンカーバイド、窒化ガリウムなどのおよそ半分である。この小さな誘電率が原因でダイヤモンド半導体に特徴的な物性が存在する。水素モデルではエネルギー準位の深さは誘電率の二乗の逆数に比例する。つまり、小さな誘電率は、ドナーやアクセプタが作るバンドギャップ中の準位が深くなることを意味している。リンドナーは伝導帯底から約 0.6eV の深さであり、ボロンアクセプタは価電子帯トップから約 0.37 eV に位置する。この深い不純物準位のために自由キャリアの濃度が極端に少なく、高抵抗になる。浅い不純物準位を持つ原子の探索が多くなされているが、現在まで見つかっていない。高い絶縁耐圧によって最大印加電圧が増加しても、少ない自由キャリアの影響でオン抵抗が非常に大きくなる。このため、パワーデバイスの評価で使われるオン抵抗と絶縁耐圧の関係のグラフで、ダイヤモンドデバイスの特性を他の半導体パワーデバイスと比較すると、ダイヤモンド半導体の利点はさほど大きくない。次世代のパワー半導体として新たに他の半導体に替わってダイヤモンド半導体が利用されるためには、それまでのデバイスよりもけた違いに大きなメリットが望まれる。

その高抵抗であるという欠点を補う、ダイヤモンドに特徴的な物性が、高濃度に不純物をドープした際のドナーサイト間もしくはアクセプタサイト間の低抵抗ホッピング伝導である。シリコンなどでは、低温でしか観測されない伝導であるが、ダイヤモンドでは、深い不純物準位による波動関数の局在化により室温で観測される。このホッピング伝導による小さな電気抵抗はこれまでのバンド伝導とは異なる側面を示している。

本プロジェクトでは、このホッピング伝導の基礎的なメカニズムを解明した。

図 1 にボロンドープとリンドープダイヤモンドの室温における抵抗率の不純物濃度依存性を示した。それぞれ $10^{19}cm^{-3}$ 程度までは、通常のバンド伝導であり、それ以上の濃度になるとホッピング伝導を示す。ボロンドープダイヤモンドの場合には、ダイヤモンド構造を保ったままで $10^{22}cm^{-3}$ に近い濃度までドーピングが可能で、モット転移に対応するおよそ $3x10^{20}cm^{-3}$ を超える領域では金属的伝導に変わり、低温において超伝導状態が観測される。リン原子の場合にはドーピングが一般に困難であり、ここで紹介する $10^{20}cm^{-3}$ が高濃度ドーピングのほぼ最高値である。

ダイヤモンドの特徴は、高濃度ドーピング膜においてもダイヤモンド構造を保ち、かつ、不純物濃度を増加させるとともに、抵抗が下がり続ける点である。他の半導体では高濃度に不純物ドーピングするとドーピングに伴う欠陥発生のために抵抗が増加したり、ネットワークが変化し化合物化する。

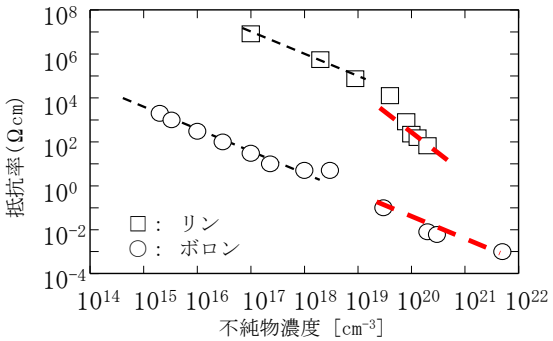


図１　リンドープおよびボロンドープダイヤモンドの室温における抵抗率の不純物濃度依存性

図2に $10^{18}cm^{-3}$ ボロンドープ p 型ダイヤモンド薄膜(p 膜)と $10^{20}cm^{-3}$ ボロンドープ p 型ダイヤモンド薄膜(p+膜)の抵抗率の温度依存性を示す。p 型ダイヤモンド薄膜の実線は、活性化型のバンド伝導を仮定してフィッティングした結果である。報告されているボロンが作るアクセプターレベルの 0.37eV に対応している。高温におけるずれは移動度の温度依存性が原因であると考えられる。

高濃度ドープした p^+膜の抵抗率の温度変化は p 膜に比べて小さい。p+膜の実線は、variable range hopping(VRH)伝導を仮定した

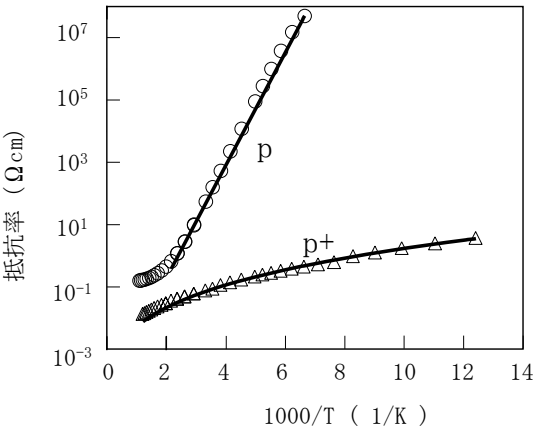


図２　ボロンドープダイヤモンド薄膜の抵抗率の温度依存性（ｐ：$10^{18}cm^{-3}$、 p^+：$10^{20}cm^{-3}$)

$$\rho \propto \exp\left(\frac{qU_V}{k_B T}\right)^{1/4} \qquad (1)$$

によるフィッティングの結果である。ここで、ρ、q、U_V、k_B、T はそれぞれ抵抗率、素電荷、VRH 伝導の特性エネルギー、ボルツマン定数、温度である。実測値とフィッティングは、観測領域において良い一致を示す。p+膜の伝導機構は VRH 伝導が支配的であると理解できる。このフィッティングで 3.6meV の値が得られた。

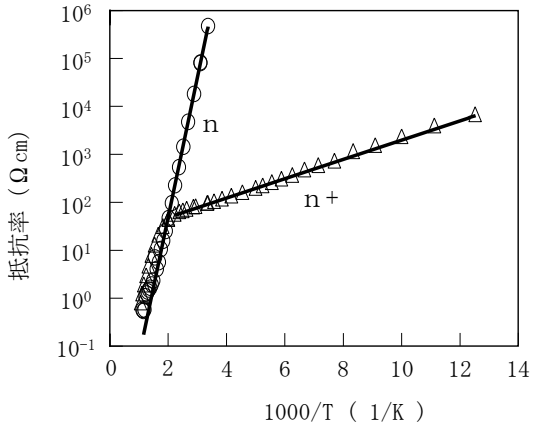


図３　リンドープダイヤモンド薄膜の抵抗率の温度依存性（ｎ：$10^{18}cm^{-3}$、 n^+：$10^{20}cm^{-3}$)

図3に $10^{18}cm^{-3}$ リンドープ n 型膜(n 膜)と $10^{20}cm^{-3}$ リンドープ n 型膜(n+膜)の抵抗率の温度依存性を示す。n膜の実線は、活性化型のバンド伝導を仮定した直線で実験結果をうまく説明できる。リンドナーレベルが伝導帯底から 0.57eV エネルギー的に低い準位にあることを示している。一方、$10^{20}cm^{-3}$ ドープした n^+膜の抵抗率は 500K を境に振る舞いが異なる。500K 以下では、抵抗率の温度依存性が小さくなる。実線は、Nearest Neighbor Hopping(NNH)伝導を仮定したときの関係式

$$\rho \propto \exp\left(\frac{qU_N}{k_B T}\right) \qquad (2)$$

でフィッティングした結果である。ここでU_N は NNH 伝導の特性エネルギーである。活性化型ではあるもののドナーレベルから考えられる活性化エネルギーと比べると非常に小さな値 =41meV が得られた。500K 以上では、n膜に近い傾きを持つ。高温ではバンド伝導がホッピング伝導より優勢になることを示している。高温領域でリン濃度を 100 倍増加したにもかかわらず、n型膜とほぼ同じ抵抗率を示しているのは、高濃度にリン原子を入れたために構造の乱れが大きく、移動度が低くなったと考えている。P 濃度を $10^{18}cm^{-3}$ から $10^{20}cm^{-3}$ に増やすことにより、300K における抵抗率 $6\times10^5\,\Omega$cm を $100\,\Omega$cm 以下に低減することができ

る。

ボロンドープ量の増加と共に、孤立したアクセプタサイトの波動関数の広がりの中に最近接の他のアクセプタサイトが存在できるようになり、アクセプタ間の NNH が可能となる。そのトンネル確率はアクセプタ間の距離とアクセプタ準位のエネルギー分散によって決められる。抵抗率の温度依存性に現れるU_Vの値はアクセプタ準位のエネルギー分散を表していると考えられる。さらに、アクセプタの密度が増加すると、波動関数の中に複数のアクセプタサイトが含まれるようになる。この状況では、エネルギー準位の近いサイトへのホッピングが優先され、VRH 伝導が現れる。つまり、アクセプタ濃度の増加と共に、バンド伝導から、NNH 伝導に変わり、さらに、VRH 伝導へ移っていくと考えられる。ここで紹介した図 2 の $10^{20}cm^{-3}$ ボロンドープした p^+膜では VRH 伝導が見られており、$10^{18}cm^{-3}$ と $10^{20}cm^{-3}$ の間の特定のボロン濃度の領域では NNH が現れると考えられる。

同じ $10^{20}cm^{-3}$ドープした p^+膜と n^+膜で、ホッピング伝導のメカニズムが異なるのは、不純物準位の深さが大きな要因であると考えている。リンドーピングのドナーのエネルギー深さが 0.57eV と、ボロンドーピングのアクセプタの深さの 0.36 eV よりも深く、波動関数の広がりが小さい。そのためホッピングできるサイトが近距離に限られ、最近接サイトへのホッピングが優先である NNH 伝導となっている。一方、ボロンドーピングでは波動関数の広がりが相対的に大きいため、n+膜と同じ不純物濃度であっても複数のホッピングサイトがあり、分散したエネルギー準位を持つボロンアクセプタのホッピングサイトのうち比較的エネルギー深さの近いサイトを選んでホッピングする VRH 伝導となっていると考えられる。

高濃度不純物ドーピングを利用したダイオード

p^+in^+ダイオード

$10^{20}cm^{-3}$ボロンドープダイヤモンド(p^+)と$10^{20}cm^{-3}$リンドープダイヤモンド(n^+)を、極力不純物の混入を防いだイントリンシック(i)ダイヤモンドで挟んだ構造のダイオードを作製した。図4に構造を示し、図5に電流電圧特性を示した。このダイオードではホッピング伝導を示す高濃度ドーピング層とバンド伝導を示す i 型ダイヤモンド層が直接接している点に特徴がある。このようにホッピング伝導層を電子デバイスのアクティブ層に積極的に用いた例はなく、ダイヤモンド半導体に特有のものである。電流電圧特性では8ケタにわたる良好な整流特性を示している。また、少なくとも 35V まで安定して電圧をかけることができ、そこでの電流密度は 17000A/cm^2 と非常に大きな値を持つ。本構造では i 層の膜厚は 200nm と薄いが、数 μ までこの膜厚を増やしてもオン抵抗の値は大きく変化せず、オン抵抗を決めているのは i 層ではなく、p+層もしくはn+層の抵抗によって決められ、オン抵抗を低減できる。i 層のバンド伝導層とホッピング層との間の接合には、まだ不明な点が多く、興味ある研究対象である。

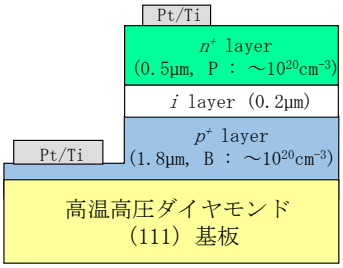


図４　高濃度不純物ドーピングを利用した$p^+i\,n^+$ダイオード

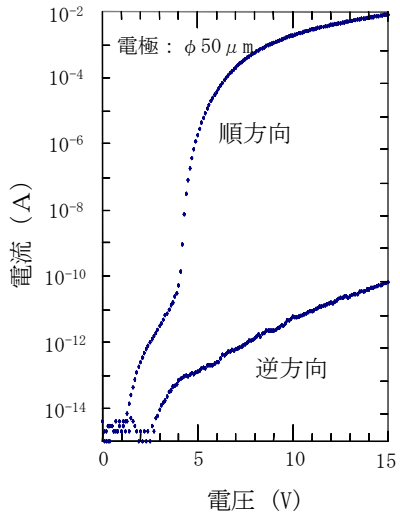


図５　$p^+i\,n^+$ダイオードの電流電圧特性

ショットキーpnダイオード

n型ダイヤモンドに金属を接触させた構造のショットキーバリア高さはおよそ 4.3eV と非常

に大きな値を示す。金属を変えてもこの値は大きく変化せず、表面準位によって強固にピンされている。この接触抵抗の低減は大きな課題であり、現在、その解決への努力がなされている。一般的には大きな欠点と考えられるこの高いショットキーバリアを利用し、かつ、低抵抗の高濃度ボロンドープダイヤモンド層を使い、ダイヤモンド特有の新構造デバイスを作製した(ショットキーpnダイオード)。図6にその構造を示し、図7には熱平衡時のバンドプロファイルを示した。構造としてはn型ショットキーダイオードとpnダイオードを直列に結合した構造になっている。n型層が常に空乏化するように設計されていることが特徴である。つまりn型層には自由電子が存在しない。このダイオードの利点は逆バイアス時の耐圧はn型層で決まり、順方向バイアス時のオン抵抗は p^+層で独立に決まることである。図8に電流電圧特性を示した。高い整流比を持ち、低い立ち上がり電圧、低いオン抵抗を持つことができる。図7のバンドプロファイルで示したように、立ち上がり電圧はn型層が形成する下向きの緩やかなバンドの曲りを乗り越える電圧で決まるため低電圧化できる。従来のパワーデバイスでは、オン抵抗と絶縁耐圧の間にはトレードオフの関係があり、同時に低いオン抵抗と高い絶縁耐圧を得ることは困難であり、その両立をいかに得るかが、大きな課題となっている。本プロジェクトで開発したダイヤモンドショットキーpnダイオードはそれぞれを独立に制御することができ、低濃度n型層を制御できれば高耐圧ダイオードを作製することができる。

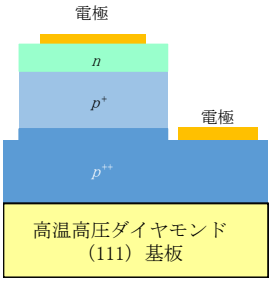


図６　ショットキーｐｎダイオードの構造。ｎ層は常に空乏化するように設計されている。

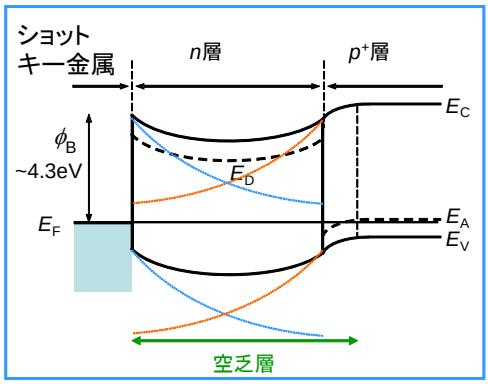


図７　ショットキｐｎダイオードのバンドプロファイル。青線はショットキ接合による空乏層の広がり、オレンジ線はpn接合による空乏層の広がり。二つの空乏層が重なり、n層ではすべての領域で空乏化している。

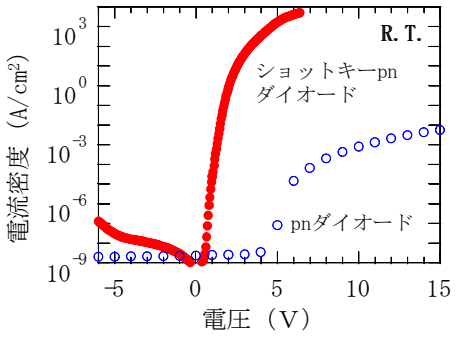


図８　ショットキーｐｎダイオードの電流電圧特性。比較のために対応するｐｎダイオードの電流電圧特性を示した。

ダイヤモンド特有の電子正孔再結合過程

ダイヤモンドの持つ小さな誘電率は、電子正孔の再結合過程に大きな影響を与える。誘電率が小さなことが原因で、ダイヤモンド中では電子正孔対である励起子の束縛エネルギーが 80meV であり、室温(25meV)よりも数倍大きい。つまり室温でも自由電子・自由正孔はすぐに励起子を形成し、安定に存在できる。この励起子を形成する電子正孔の発光再結合は、室温におけるカソードルミネッセンススペクトルや pin ダイオードの発光スペクトルでも明確に観測されている。図9にダイヤモンド pin ダイオードからの発光スペクトルを示した。235nm の励起子による強い発光が見られる。

同じ間接遷移型半導体であるシリコンでは、過剰キャリアが存在するときには、ショックレー・リード・ホール(SRH)過程によって、欠陥に電子もしくは正孔が最初にトラップされ、その後、逆の電荷をもったキャリアが捉えられ、再結合が完成する。一方、ダイヤモンドでは励起子を経由した電子正孔再結合が大きな役割を示し、欠陥を通した再結合においてもシリコンとは異なる挙動を示す。

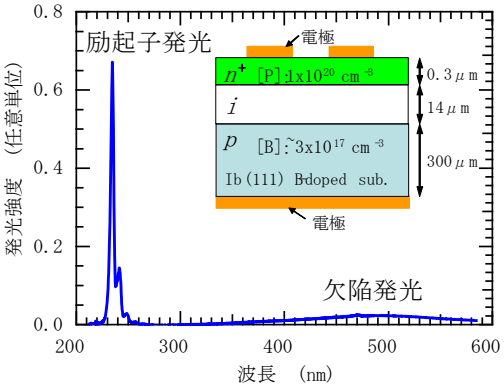


図９　ダイヤモンドpinダイオードからの発光スペクトル。励起子による再結合が明らかに見える。

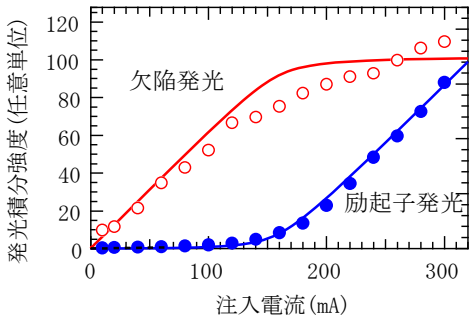


図１０　励起子発光と欠陥発光の発光積分強度の注入電流依存性。実線は欠陥における束縛状態を仮定したシミュレーションによって得られた理論カーブ。13)

図10に上記のダイヤモンドpinダイオードの発光における励起子発光強度と、同時に観測される欠陥経由の発光強度の注入電流依存性を示した。励起子発光は注入電流 150mA(電流密度では 830A/cm^2)から急激に増加する。一方、欠陥発光は注入電流の小さな領域から発光強度が増加し、高注入電流の領域では飽和する傾向にある。この非線形な励起子発光、欠陥発光の注入電流量依存性は、図11の欠陥における束縛状態を考慮すると理解することができる。アクセプタタイプの欠陥を例に説明する。深い準位を作る欠陥に電子がトラップされると、小さな誘電率が原因で、正孔に対して束縛状態が形成される。この束縛エネルギーは励起子の束縛エネルギーと同様の値を持つと考えられ、室温よりも大きな束縛エネルギーを持つ。欠陥にトラップされた電子と、クーロン力により束縛された正孔のペアーが安定に存在する。シリコンでみられる SRH 過程ではなく、図11にあるような束縛状態を介した再結合がダイヤモンド半導体では起きていると考えられる。この再結合過程は、パワーデバイスで必要な高電流密度状態における再結合過程において大きな寄与を果たす。ダイヤモンドパワーデバイスにおける電子・正孔再結合過程はシリコンで構築された再結合過程とは異なる過程を考慮する必要がある。

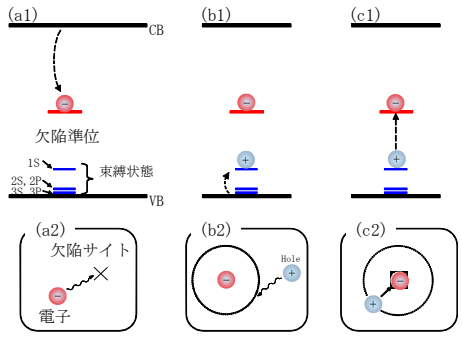


図１１　欠陥束縛状態を介した電子正孔再結合の説明図。エネルギー準位（a1, b1, c1）と空間（a2, b2, c2）における過程。アクセプタタイプの欠陥を仮定した。電子は欠陥にトラップさせる（a1, a2）。トラップされた電子によって正孔に対する束縛状態が形成され、正孔がトラップされる（b1, b2）。トラップされた電子と束縛状態にいる正孔が再結合する（c1, c2）。

pin ダイオードの高耐圧測定

ダイヤモンド高耐圧検証の一環として、縦型の pin ダイオードを試作評価および、ダイヤ基板に直接高電圧をかけて絶縁破壊電界を測定する試みを行った。縦型 pin ダイオードは、電界分布が比較的単純である程度の電圧をかけるとそのほとんどが i 層にかかるため、絶縁破壊電界を検証するのに適していると考えた。

まず始めに、図１２に示すような pin ダイオードを試作した。pin 構造は、高濃度 p 型の高温高圧合成（011）ダイヤモンド基板上に、マイクロ波プラズマ CVD 法により、アンドープダイヤモンド層およびリンドープ n 型ダイヤモンド層をホモエピタキシャル成長することにより形成した。その後、フォトリソグラフィーによりパターニングを行い電極金属（Ti/Pt/Au）を蒸着しアニールすることによってオーミック電極とした。図１２は pin ダイオードの断面層構造図と電極パターンを示す写真である。それぞれの膜厚と不純物濃度は SIMS 分析により測定し図１３に示した通りである。この素子の代表的な I-V 特性を図 14 に示した。逆方向で明確な降伏が観測され、

この素子の逆方向の降伏電圧は 920 V で、i 層に電界がかかっていると仮定すると、電界は 2.3 MV/cm に相当 する。図 14(a)に示したように、整流比は±40 V で約 10^7 であった。ショットキーダイオードに比べて逆方向リーク電流が大きいことと、n 側のコンタクトのオーミック性が悪いため順方向の立ち上がり電圧が高く、整流比が悪くなっている。図 3(b)に示したように、逆方向の降伏（ブレークダウン）を数十回以上繰り返しても、J-V 特性の劣化は見られなかった。また、図 14(c)に示したように、温度を高くすると降伏電圧が高くなる傾向があることが示され、250 ℃では降伏電圧 1050 V、i 層の平均電界（電圧/i 層膜厚）として 2.6 MV/cm が得られた

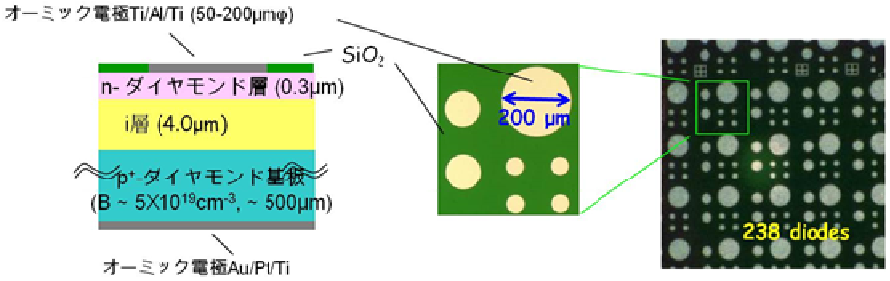


図12　試作したPiNダイオードの(a)断面層構造図と(b)実験に用いた電極のパターン.

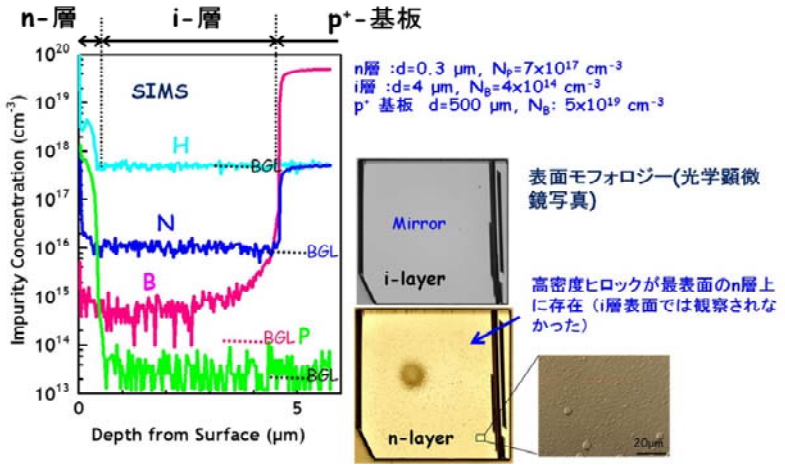


図13　SIMS測定による不純物プロファイル(a)と表面モフォロジー(b).

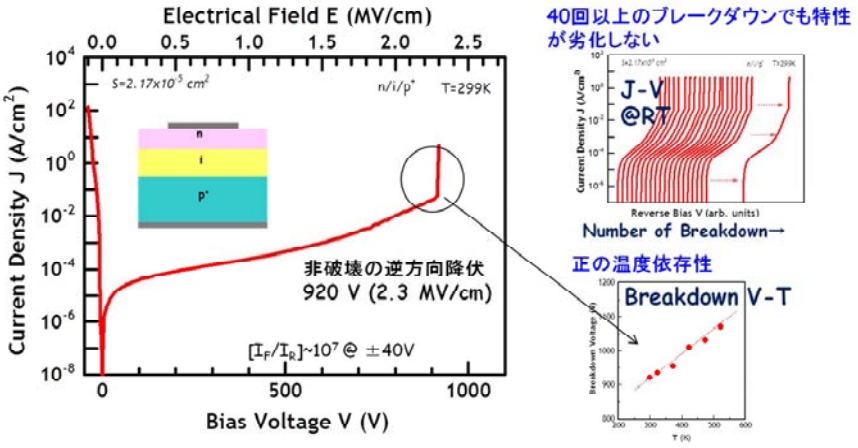


図14　ダイヤモンドPiNダイオードの室温における(a)代表的なJ-V特性（対数スケール）および(b)降伏回数による特性の比較、(c)降伏電圧の温度依存性

。

この降伏電圧の正の温度依存性は降伏の主要因が雪崩（アバランシェ）によるためと考えられる、温度が上昇しやすいパワーデバイスにおいて安定に耐圧が保持されるという有利な特性である。このように、ダイヤモンドpinダイオードは降伏に対して堅牢で安定な特性を示し、パワーデバイスにとって非常に有望な材料であることがあらためて示された。逆方向の低電圧側からのリーク電流はその温度依存性からn層あるいは表面を横方向に流れる電流が原因であることが考えられた。また、ヒロック密度の高い領域では降伏電圧が低下する傾向にあったことから、結晶品質の向上によりさらに高耐圧が得られる可能性が示唆された。

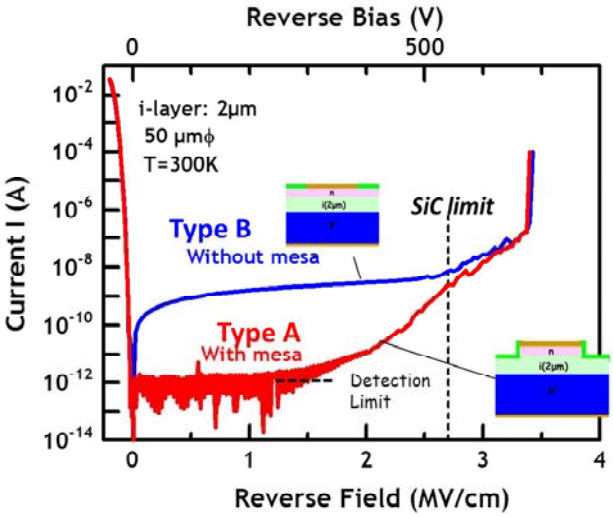


図15　異なるタイプのダイヤモンドPiNダイオードの室温におけるI-V特性.

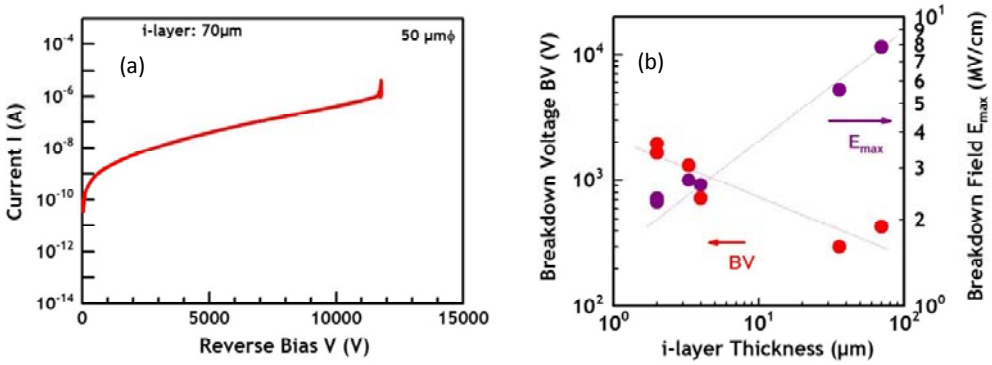


図16　(a)i層が70μmのダイヤモンドPiNダイオードの室温における逆方向I-V特性. (b)i層膜厚に対する降伏電圧、降伏電界.

次に、素子分離構造として図 15 に示すようなメサ構造を有する素子を試作し、同一基板上に作製したメサ構造の無い素子と特性を比較した。図 15 に両方の構造の素子について代表的な I-V 特性を示した。図からわかるように、メサの無い構造の素子に置いて低電圧側で見られていた逆方向のリーク電流はメサ構造により非常に低減した。この結果は、低電圧側で見られる逆方向のリーク電流は横方向に流れていることを支持する。また、この素子では、降伏電圧 685 V、一番高い素子で 720 V という値が得られ、図 15 で示した素子に比べると低いが、i 層が 2μm と図 15 の素子に比べて薄いためで、降伏電界（絶縁破壊電界）としては最大 3.6 MV/cm が得られた。

また、逆方向耐圧に影響のある要因を調べるために、i 層の膜厚の異なる素子を作製し、調べた。その結果、i 層で 36 μm の時には逆方向耐圧 5.3 kV（i 層の平均電界として 1.5 MV/cm)、i 層 70 μm では 11.5 kV（同じく 1.6 MV/cm)が得られた（図 16)。11.5 kV はダイヤモンドのダイオードとしては最大の値である。10 kV を越える電圧での測定においては、沿面放電が観測され、素子の実際の耐圧より低い値となっている可能性もある。図 17 は i 層膜厚に対する降伏電圧、電界を示した図で、i 層膜厚が増加すると降伏電圧だけでなく、電界も低下してしまうことがわかる。

これは、i 層が厚くなることで欠陥等、結晶品質が低下することや、表面や構造的な電界集中による最大電界が増加し、降伏が起きやすくなってしまうと考えられる。キラー欠陥の同定と欠陥生成の抑制、構造最適化等により、より高耐圧が得られると考えられる。

次に、ダイヤモンド基板に直接高電圧をかけて絶縁破壊電界を測定した結果について報告する。測定に用いたダイヤモンド基板は、エレメントシックス社製、2.5 mm 角の IIa (100) CVD ダイヤモンド基板 (http://www.e6cvd.com/cvd/page.jsp?pageid=309&prod=37) で、厚さ 0.5 mm を 87 μm まで薄くした基板を測定に用いた。まず始めに、基板両面の中央に直径 1 mm の金属電極を蒸着して、その電極に針を接触し、SF_6 で満たしてガスタンクの中で測定を行ったが、金属電極端から放電したことによる破壊が見られたため、次に電極は形成せず、直接基板に電極を点接触させ、周囲をエポキシで固め、SF_6 で満たしたガスタンク内で測定したところ、沿面放電も観測されずダイヤモンド基板に絶縁貫通破壊が見られたため、この方法が妥当であると判断した。その時の測定モジュール模式図、写真および測定系模式図を図 17 に示す。この実験で得られた絶縁破壊の起きた電圧は 30 kV で、絶縁破壊電界（基板膜厚で電圧を割ることによって得られる値）は 3.5 MV/cm であった。今回測定に用いたダイヤモンド基板は必ずしも最高高品質とはいえず、また、研磨により歪が生じてしまった可能性も高いため、期待された 10MV/cm 以上の値を得ていないが、さらに高品質な基板を用い、加工ダメージを減らすことにより、高い値が得られると期待される。

図17 高電圧測定に用いた測定モジュールの(a)模式図および(b)写真、(c)高電圧試験回路模式図.

3．2 ダイヤモンド製膜技術開発と物性研究（物材機構　小泉グループ）

研究実施内容及び成果

ダイヤモンドバイポーラデバイス実現に於いて、高濃度にドープした低抵抗 n 型ダイヤモンド薄膜の形成は重要である。現在、CVD 法によるダイヤモンド合成を行うとき、合成装置の設計、構造によりドーピング効率に違いが見られる。これは n 型ダイヤモンドのリンドーピングにおいて特に顕著で、主に反応容器中の原料ガスフローが大きく影響していると考えられる。本研究ではガスフローのモデル化を行い、その結果をもとに NIMS において用いる独自設計のダイヤモンド CVD に改良を加えて高濃度リンドーピングの実験を行う。

はじめに

リンドーピング（ドーピング原料ガス：フォスフィン PH_3）により n 型ダイヤモンド合成が可能であることは 1997 年に我々が初めて実証した。しかし、リンは 0.57eV という非常に深いドナー準位をダイヤモンド中に形成するため、n 型ダイヤモンドの抵抗は高く応用上の障害となっている。その解決に高濃度ドーピングにより発現するホッピング伝導の利用が有効である。リンドープダイヤモンドにおいてホッピング伝導は 10^{19} cm^{-3} 以上程度のドーピング濃度で得られ、10^{20} cm^{-3} に至るドーピング濃度まで比抵抗は劇的に低下する。ここでの問題点は、

特に高濃度領域で結晶内へのリンの取り込み効率(ダイヤモンド薄膜中の P/C 濃度)／(原料ガス中の PH_3/CH_4 濃度)が低いこと、現状でドーピング濃度限界が 10^{20} cm^{-3} オーダーを超えないことである。取り込み効率が低いために CVD 原料気体中に高濃度に PH_3 を導入する必要があり、比較的低温で分解する PH_3 がクラスター化して結晶成長を阻害する可能性がある。これが高濃度限界を下げていると考えている。本研究ではリンドープ n 型ダイヤモンド薄膜の成長プロセスにおいて、CVD 最中のガスフローに着目した装置改良によりリン取り込み効率の向上を試みた。

実験

図 1 に本研究に用いたダイヤモンド成長用エンドランチ型マイクロ波プラズマ CVD 装置の概略図を示す。成長室はターボ分子ポンプおよびドライポンプの組み合わせにより排気され、到達真空度は～2×10^{-10} Torr 程度である。プロセスガス排気は導入室経由でターボ分子ポンプおよびスクロールポンプによりなされる。ダイヤモンド薄膜成長時、プロセスガスはキャビティ上部に 8 箇所、等方的に配置された直径 2 mm のポートから中心に向けて導入され、下部から排出される。本研究では下部に位置するモリブデン製ステージ(チョークフランジ構造)のサンプルホルダ周辺部へ同心円状に貫通穴を複数個開け、基板近傍のガス流束を変化させた。貫通穴およびチョークフランジ・キャビティ内壁の間隙からなる流路構造としては (i) 貫通穴なし、(ii) 貫通穴:間隙面積比=1:1、(iii) 貫通穴:間隙面積比=2:1 の 3 通りを準備した(図 2)。これにより、高濃度ドーピングに対する効果を調べた。

ダイヤモンド成長の下地には、平均荒さ 0.2nm 程度の超平坦機械研磨を施した高温高圧合成 Ib 型ダイヤモンド{111}(オフ角 2 度程度)を用い、表面にリンドープダイヤモンド薄膜をホモエピタキシャル成長させた。基板は熱混酸を用いた化学清浄による表面処理の後に、CVD 装置に導入した。リンドープダイヤモンドの原料ガスおよびキャリアガスには、プラズマ CVD によるダイヤモンド気相成長で最も一般的な CH_4 およびパラジウム透過膜により精製した超高純度 H_2 を用いた。H_2 の流量は 1 slm、CH_4/H_2 濃度は 0.05%である。ドーパントガスには H_2 で 100 ppm に希釈した PH_3 を用い、流量を 0.5～20 sccm の間で増減することでリンドープ量の制御を行った。原料ガス中の CH_4 に対する PH_3 濃度に換算して 100～4000 ppm に相当する。CH_4、H_2、PH_3 はそれぞれ独立にマスフローコントローラで流量を制御した後に混合し、成長室へ導入される。成膜中のチャンバー内圧力は 100 Torr となるよう、排気側のバリアブルコンダクタンスバルブで調整される。本 CVD システムでは基板の温度コントロールはプラズマに投入するマイクロ波の電力制御(300～350W)により行われ、基板温度は 915～930ºC である。基板温度は放射温度計を用いて測定した。ダイヤモンド薄膜の成長時間は 4 時間とした。本システムを用いた場合の典型的なダイヤモンドの成長速度は 400 nm/h 程度である。作製したダイヤモンド薄膜について二次イオン質量分析法(SIMS)により膜中リン濃度(cm^{-3})を測定し、気相中からのリン原子の取り込み効率を評価した。

結果と考察

図 3 に原料ガス中の PH_3/CH_4 濃度と作製したダイヤモンド薄膜中のリン濃度と関係を示す。PH_3/CH_4 濃度 100 ppm において、チョークフランジの穴数を増やしコンダクタンスを上げると(×→△→○)膜中のリン濃度が約 1 桁ずつ増加することがわかった。すなわち一定の原料ガス中リン濃度において、気相中から薄膜へのリン原子の取り込み効率が最大で約 100 倍の改善が見られたこととなる。貫通穴:間隙面積比=2:1(○)の場合において、ガス中 PH_3/CH_4 濃度を 100 ppm から 4000 ppm へ変化させるのに従い膜中のリン濃度はほぼ比例して増加しており、システム改良後もドープ量の制御性は担保されていることが確認された。リンの取り込み効率は 10^{19} cm^{-3} 以上の高濃度ドーピング領域においても数%と高い値を示した。これは一般に用いられているダイヤモンドプラズマ CVD 装置によるリンドーピングに比較して 1 桁程度大きい。有限要素法によるチャンバー内のガス流シミュレーションでは、チョークフランジに貫通穴が存在する場合、キャビティ上部からプラズマ領域を経て基板表面に達する部分のガス流束が大きくなる結果が現れている。サンプルホルダ近傍に

穴構造を作製することで上部から下部へのガスの流れがスムーズになり、プラズマ熱による対流の影響を抑えながらPH_3分子のプラズマ領域への供給、ドーパントを含む気相種の基板表面への到達が促進されることでリン原子の取り込み効率が向上したものと考えられる。

成果の位置づけや類似研究との比較

本研究ではリンドープ n 型ダイヤモンド薄膜成長において、リンの取り込み効率の成長システム依存性を調べた。ガス流路を念頭に置いた装置設計によって、ダイヤモンド結晶中へのリンの取込効率は最大で 2 桁程度改善されることがわかったことは本研究で得られたきわめて独創的な成果である。得られたリン取り込み効率は数%であり、市販装置に比較して 1 桁程度高い値が得られた。超高濃度ドーピングによる n 型ダイヤモンドの低抵抗化と超低損失半導体ダイヤモンドデバイスの実用化に向けて、本成果はきわめて重要なものとなる。

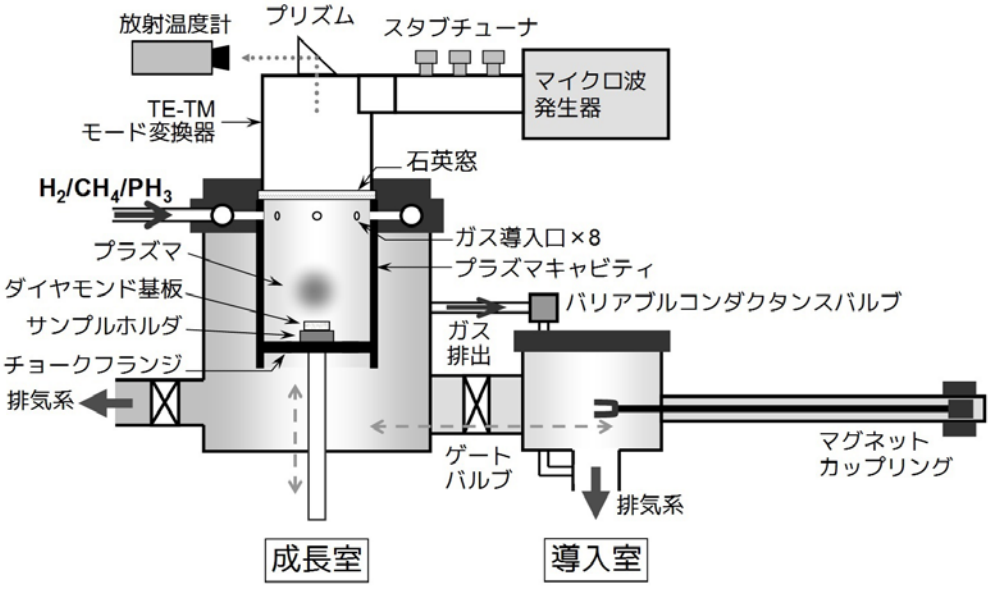


図 1　本研究で使用したプラズマ CVD システム全体の概略図。

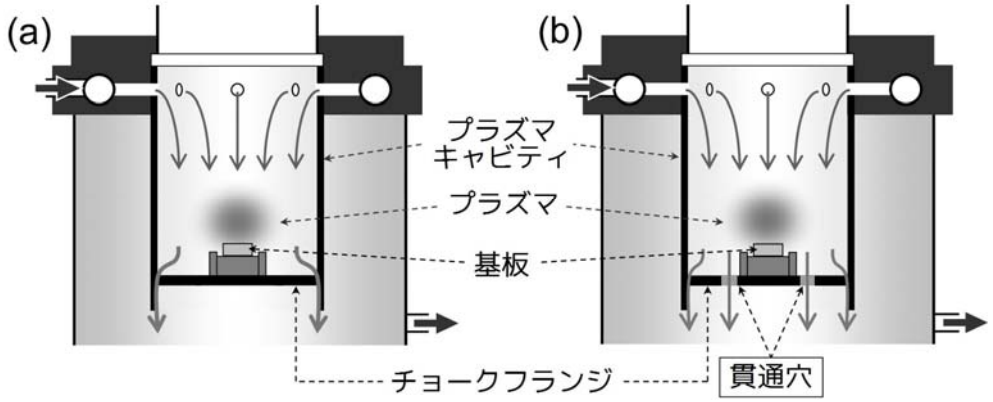


図 2 改造前(a)および改造後(b)のプラズマキャビティ内の構造とガスフローの概略図。

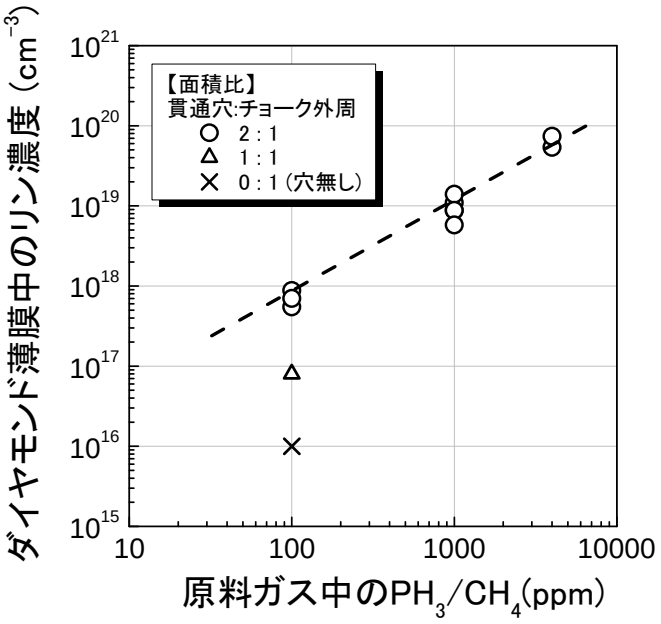


図 3　原料ガス中の PH_3/CH_4 濃度とダイヤモンド薄膜中のリン濃度の関係。

3．3　サブテーマ名2（東京工業大学　波多野グループ）

(1)研究実施内容及び成果

n 型選択成長法をサイドゲートに用いた接合 FET 構造

接合 FET はダイヤモンド半導体に適したデバイスである．接合 FET の動作において，FET の電流が流れ始めるしきい値電圧と，pn 接合のマイナリティキャリアによるゲート電流がチャネルに流れ込み始めるビルトイン電圧との差が重要である．この電圧の差が大きいほど，チャネル電流を指数関数的に増加させることができ，またパワーエレクトロニクス回路の動作マージンも確保することができる．Si 半導体ではこの差ほとんどないが，ダイヤモンドは 5.5 eV のワイドギャップ半導体であるため優位となる．また，ドレイン電圧が高くなると DIBL (Drain Induced Barrier Lowing)効果によりしきい値電圧の低下とリーク電流の上昇が見られる問題は，ダイヤモンドでは抑制することができる．接合 FET を実現するためには横型 pn 接合が必要であるが，ダイヤモンドではイオン注入が難しいことから局所的に不純物を導入することができず，今まで実現されていなかった．

n 型選択成長法は，ダイヤモンドの炭素同士の結合が強いため面方位による成長機構が大きく異なり，ある方位の成長だけを誘起することができる，という構造のユニークさを利用した独自技術である．横型pn接合はこの技術を用い，図 1(a)に示すように，ボロンドープ[001] ダイヤモンドに[110]面を露出させたステップを形成し，このステップのコーナーから高濃度($>10^{19}cm^{-3}$)のリンドープダイヤモンドを〈111〉方向に選択成長させることにより作製した．TEM による観測では，pn 接合界面には顕著な欠陥が観測されず，10^8 の高い整流比とfA オーダの低いリーク電流の良好な電気特性を示した．さらに 720 V 以上の高耐圧特性が得られた．この値を絶縁破壊電界強度に換算すると約 3.7 MV/cm（4H-SiC の 2.5

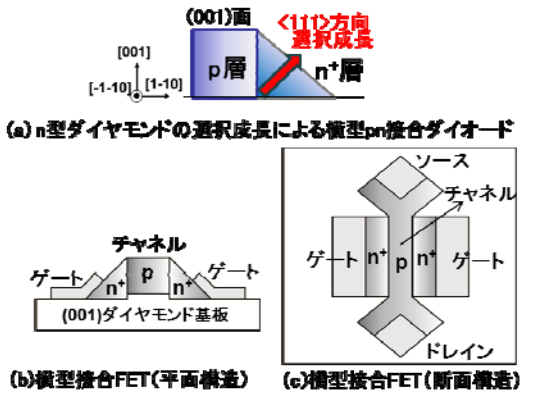


図1　n型ダイヤモンドの選択成長とそれを利用した横型接合FETの構造

MV/cm を上回る）であり，接合 FET のゲートに適用することが可能であることがわかった．

横型 pn 接合をゲート部に有する接合型 FET の断面と平面の構造を，図 1(b)と(c)に示す．ロッド状に加工したｐ型層をチャネルとし，その両側面に n 型ダイヤモンドを選択的に成長することによりダブルサイドゲート構造が得られる．デバイスは，チャネルの側面に形成された横型 pn 接合に印加するゲート電圧により，チャネルへの空乏層の拡がりを制御し，ソース･ドレイン間の電流を制御することで動作する．図 2 は作製した接合 FET の平面 SEM 像を示す．サブミクロンの幅を有するチャネルの両側に，自己整合的にゲートが形成されていることが確認できる．チャネル幅は 0.5μm，チャネル長は 7μm，チャネルの深さは 0.5μm である．

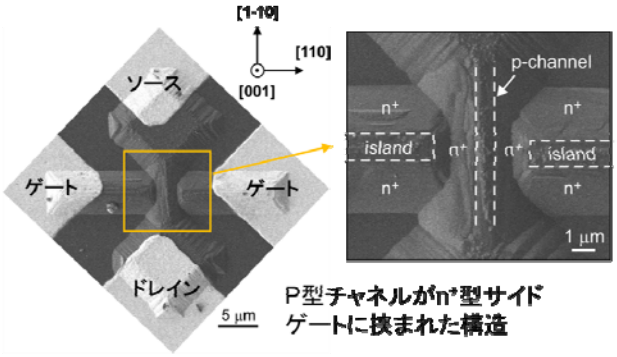
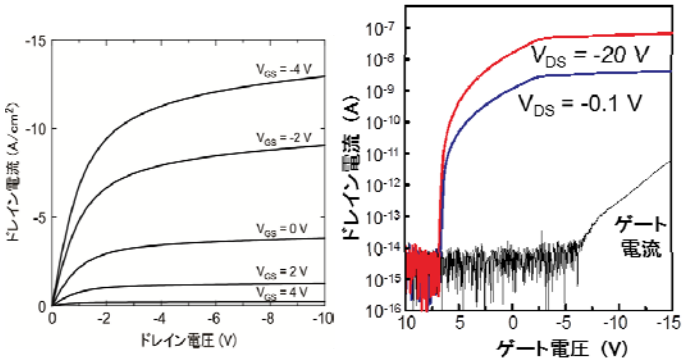


図2　横型接合FETの平面SEM像



(a)ドレイン電流電圧特性　　(b)伝達特性

図3　トランジスタ特性（室温，チャネル幅 0.5μm，チャネル長7μm）

接合 FET の特性

図 3(a)はチャネル幅 0.5 μm FET のドレイン電流-ドレイン電圧特性を示す．ドレイン電流はドレイン電圧増加に伴い線形領域から飽和領域に遷移し，ゲート電圧により変調されていることから，FET として動作していることがわかる．図 3(b)は伝達特性を示している．ゲート電圧によってドレイン電流が変調し，

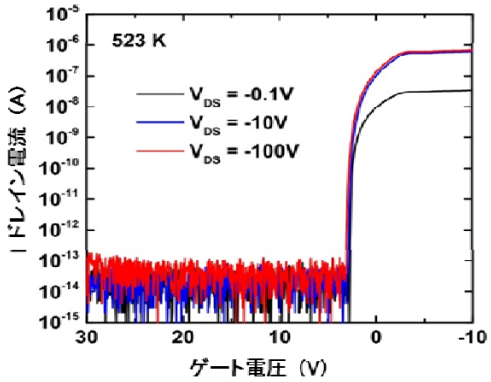
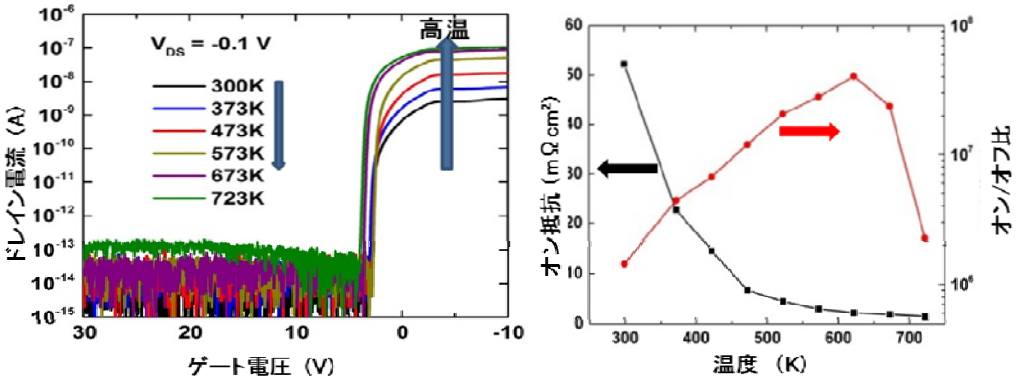


図4 高温･高電圧下での伝達特性（チャネル幅 0.5μm）



(a) 伝達特性の温度依存性　　(b) オン抵抗、オン/オフの温度依存性

図5　接合FETの温度依存性（チャネル幅 0.5μm）

チャネルが空乏層で閉じられる瞬間にオフ状態になっていることが確認できる．サブスレッショルド特性として S = 95 mV/decade と鋭い立ち上がり特性が得られた．図中に示したゲート電流は pn 接合の電流に相当するが，ゲート電圧が pn 接合のビルトイン電位に相当する−5 V を超えると流れ始めることも示している．なお今回試作した FET は，チャネル中のボロン濃度は $1x10^{17}$ cm^{-3} であり，ノーマリ・オンの動作を示す．パワーデバイスとして理想的なノーマリ・オフ動作を実現するには，チャネル幅を 0.25 μm 以下に微細化，あるいはチャネル濃度を 5x1016 cm−3 以下にする必要がある．

図4は 523K の高温下での伝達特性を示すが，高温でも安定して動作していることがわかる．またドレイン電圧を−100 V まで上昇させても，オフ電流はプローブステーションの限界値 10fA オーダよりも小さく，また急峻な立ち上り特性(S = 105 mV/decade)を維持しており，先に述べたように DIBL が抑制できていることを示している．

図 5(a)に室温から 723K までの伝達特性を示す． 温度上昇とともにオン電流は増加するが，オフ電流は低い値を維持している．オン電流の増加は，高温でのチャネル中のボロン活性化率の向上を反映している．また立ち上り特性は温度を 723K まで上げても急峻さを保っている．これらの結果から得られる，オン抵抗とオン/オフ比の温度変化を図 5(b)示す．オン抵抗は室温から 500 K まで急激に減少する．アレニウスプロットからもとめた活性化エネルギーは，ボロンの不純物準位レベル 0.37eV に相当することがわかった．さらに温度が高くなると，オン抵抗の値は飽和するが、これは 600K を超えると移動度が低下することによる，オン電流減少が影響していると考えられる．また図から、オン/オフ比は広い温度に渡り，6 桁以上が得られていることがわかる．

(111)基板上の横型 pn 接合の作製と評価

ダイヤモンド(111)基板上に成長したダイヤモンド膜は不純物濃度の制御性に優れており、パワーMOSFET のチャネル、ドレイン/ソース領域にそれぞれ必要な不純物濃度を有する高精度なダイヤモンド膜の形成が期待できる。そこでダイヤモンドパワーデバイスの基本構成要素である横型 pn 接合ダイオードを (111)基板上に形成することを目的として、ダイヤモンド膜のステップフローの選択成長技術を開発し、電気特性評価および接合界面を解析した。

図6に作製方法を示す。Ib ダイヤモンド(111)基板(オフ角 2.3°)上に CVD で p 型を 1 μm 堆積後、マスクとなる Au/Ti (130/50 nm)膜を堆積し、パターニングした。このマスクを用いて ICP エッチングにより p 型ダイヤ膜を深さ 1 μm でエッチング後、さらにマスクを n 型 CVD 成長中に用いることで選択成長を行った。n 型の成長条件は[111]方向に優先的に成長を促すために温度 900 ℃、メタン濃度 0.05 %とした。図7(a)(b)に、p 型ダイヤモンドの(1−10) と (−110) 側面にn型を選択成長した後の SEM 写真を示すが、両側ともに横型 pn 接合が形成されていることを確認した。図 7 (c) に、(1−10) と (−110) 側面に形成された接合それぞれの室温での IV 特性 を示す。両接合はほぼ同様のダイオード特性を示した。た

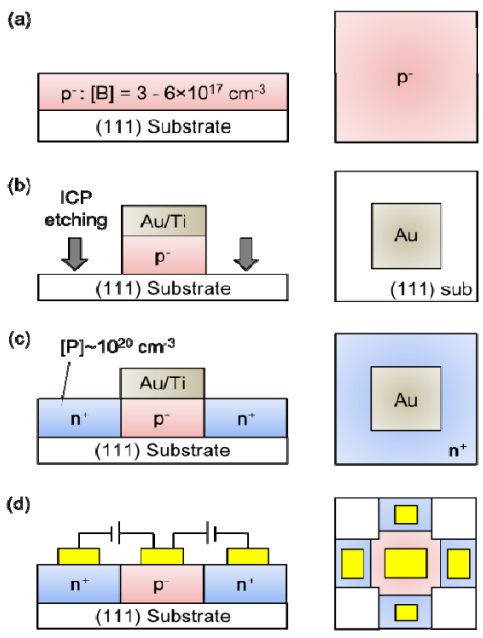


図6 メタルマスクによる選択成長を用いた(111)基板上の横型pn接合ダイオードの作製方法

だし整流比は 300（at±30 V)と低く、リーク電流が大きい。この原因を EBIC、TEM などの評価により現在解析を進めている。

伝導度変調によるJFETの電流増幅

JFET のチャネルは、p型ダイヤモンドチャネルの不純物であるボロンの活性化率が低いため、室温で増大させることは困難である。本研究では、バイポーラモード動作による電流増幅を目的として、ゲートからマイノリティキャリアである電子を注入することにより、ダイヤモンド中での伝導度変調を世界で初めて確認した。図 8 に、従来の JFET と伝導度変調を誘起した動作の違いを示す。図 9 に、室温における出力特性を比較した。伝導度変調により、電流は約 4 倍増大し、オン抵抗は 57.3 $m\Omega \cdot cm^2$ から 16.2 $m\Omega \cdot cm^2$ に向上することに成功した。

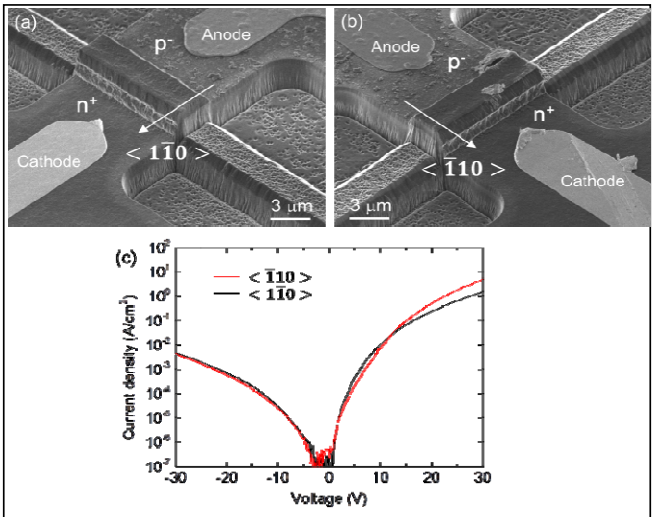


図7. 選択成長を用いて作製した横型pn接合の構造とダイオード特性（a）(1-10)面、(b)(-110)面、(c)IV特性

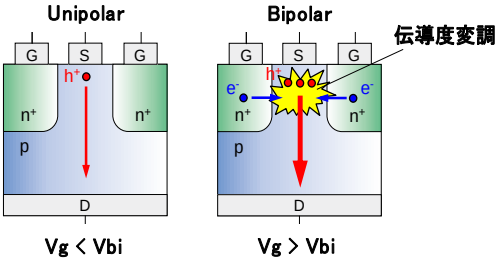


図8. 従来のJFETの動作（左）と伝導度変調型（バイポーラアクション）による動作（右）の違い。

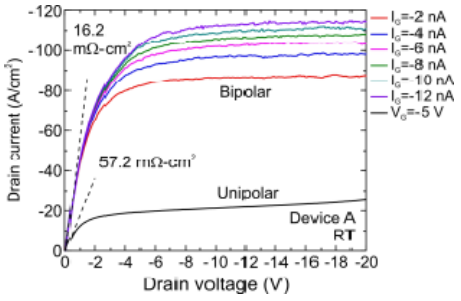


図9. 室温における出力特性の比較。伝導度変調によって電流レベルの向上が見られる。(W_{ch}=0.5μm, L_{cn}=5μm)

3．4　サブテーマ名1（大阪府立大　斎藤グループ）

p 型ダイヤモンド薄膜への低抵抗コンタクト材料として、TiC をベースに TiC/ダイヤモンド界面に異種金属である N を導入し、単体配線材料としての高温安定性の評価、CTLM（円形 Transfer length method）パターンを用いたコンタクト特性への影響を評価し、ダイヤモンドに適した低抵抗コンタクト材料の探索を行った。

Bドープ p 型ダイヤモンド（室温キャリア濃度：約 4.0×10^{14} cm^{-3}、シート抵抗：約 1.5×10^{5} Ω/□、基板サイズ：3 mm 角）基板上に CTLM パターン状の TiN または TiCN (30 nm) / Pt (30 nm) / Au (100 nm)電極を EB 蒸着法で成膜した。TiN 製膜にはTiNペレットを、TiCN 製膜には TiN ペレットとグラファイト粒子の混合物を蒸着源に用いた。

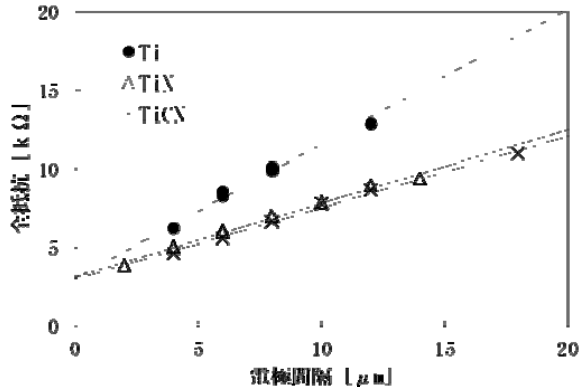


図1 電極間隔対全抵抗プロット（420℃アニール後）

電極形成後、Ar 雰囲気下で 420℃, 500℃, 600℃, 30 分間のアニールを行った。各温度でのアニール毎に二端子測定法により電極間の全抵抗を室温で測定し、電極間隔対全抵抗プロットからコンタクト抵抗を算出した。

420℃アニール後の各電極（Ti, TiN, TiCN）における電極間隔対全抵抗プロットを図 1 に示す。室温において、TiN または TiCN/Pt/Au 電極と B ドープダイヤモンドコンタクトの I-V 結果（印加電圧範囲：-10 V ～ +10 V）が直線になり、オーミック性を示した。TiN または TiCN 電極のコンタクト抵抗は 7.8×10^{-3}～3.5×10^{-2} Ω･cm^2 となり、比較のために本項で作成した、一般的に用いられる Ti 電極のコンタクト抵抗（1.4×10^{-2} Ω･cm^2）と同等の値であった。

各サンプルのアニール温度を 420℃, 500℃, 600℃と変化させたが、コンタクト抵抗はほとんど変化しなかったため、コンタクト抵抗は 420℃以上のアニールを施すとほぼ変化しないことがわかる。

本項によって、高耐熱性を有し、p 型ダイヤモンドとオーミック接触する新規コンタクト材料 TiN, TiCN の有用性は一部確認できた。Chen らが発表した「Investigation of specific contact resistance of ohmic contacts to B-doped homoepitaxial diamond using transmission line model」(Diamond Relat. Mater. 13, 2121 (2004))では、p 型ダイヤモンド（室温キャリア濃度：約 1.7×10^{15} cm^{-3}、シート抵抗：約 4×10^{4} Ω/□）のコンタクト材料としてチタンを用い、10^{-4} Ω･cm^2 台のコンタクト抵抗を得ている。本項で得られた結果は、Chen らの結果と試料基板のシート抵抗値とコンタクト抵抗値の点でほぼ整合していると考えられる。

しかし、化学気相成長によるスクリーニングの結果、ターゲットとした TiN、TiCN 組成（$TiN_{0.6}$、$TiC_{0.3}4N_{0.46}$）と一致しているかについては未確認であり、本項で作成した TiN、TiCN 組成はほぼ Ti である可能性もある。今後、組成の確認と最適化、仕事関数の評価など実施してより物理的理解を進展させる必要がある。

3．5 サブテーマ名1（金沢大学 徳田グループ）

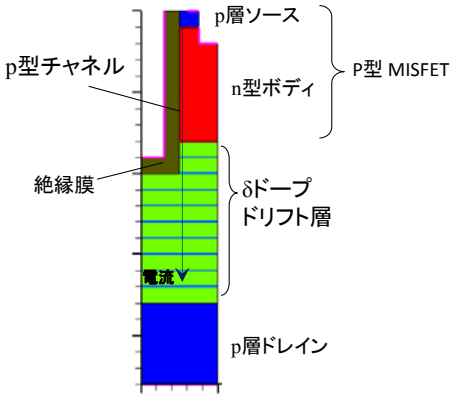
(1)研究実施内容及び成果

徳田グループでは、デバイスグレードのダイヤモンド表面構造の制御技術の開発を目的とし、ダイヤモンド表面構造欠陥の評価技術の開発、デバイス特性を劣化させる欠陥の同定、そしてそれらの欠陥密度低減化技術の開発を行った。特に、p 型 n 型の不純物濃度制御範囲が広く、デバイス応用が期待されているダイヤモンド(111)表面について研究を行った。

ダイヤモンドの酸素終端構造として、C-O-C や C-OH、そして C=O が知られている。しかし、ダイヤモンド(111)表面上における C-O-C や C=O の終端構造は、ダイヤモンドを構成する炭素の正四面体構造を維持できない。それは、表面の炭素原子のネットワークがバルクと

は異なり、その結果、欠陥となることを意味する。一方、C-OH の終端構造は、水素終端である C-H と同様に、正四面体構造が維持される。このことから、C-OH 終端構造は、理想的なダイヤモンドの酸素終端構造として期待できる。そこで、徳田グループでは、ダイヤモンドの酸素終端化に一般的に用いられている熱混酸プロセスにより得られる終端構造と水蒸気アニールにより得られる終端構造を評価した。
その結果、水蒸気アニール法による原子的に平坦な OH 終端ダイヤモンド(111)表面の形成技術を開発した。また、その OH 終端ダイヤモンド(111)表面と金属の接触状態を調査した結果、熱混酸処理した酸素終端 p 型ダイヤモンド(111)表面と金属の接触は、界面のフェルミレベルピニングによりショットキー障壁は一定であるのに対して、OH 終端 p 型ダイヤモンド(111)表面と金属ではフェルミレベルピニングは解放された状態となり、金属の仕事関数に依存してショットキー障壁が変化することを明らかにした。この成果は、水素終端以外のダイヤモンド表面終端構造では初めてとなる成果であった。

3．6 ダイヤモンド新構造パワーデバイスの提案(デンソー　小山グループ)
(1)研究実施内容及び成果
ダイヤモンドの持つ高濃度ドーピング層とデルタドープ構造を組み合わせることにより、超低損失、高耐圧、ノーマリーオフを同時に満たす電子デバイスを提案した。要素試作評価による原理検証を実施し、理論検討による主要課題を見出した。



・提案デバイスは以下の特徴をもつ。
①. ホッピング電導を利用した低抵抗なδドープ層
②. 電子親和力の小さいダイヤの物性を生かした n 型ボディを持つ p 型 MIS ゲート
・δドープ層に垂直に電流を流す場合でも抵抗が小さくなる原理実証を、要素試作評価として実施した。P 型 MIS ゲートは原理実証中である。
・0.57eV の深い不純物準位をもつ n 型ボディのイオン化に長い時定数がある。よって n 層には、オン⇒オフ時にはホール注入、オフ⇒オン時には電子注入する手段を設ける必要性のあることが理論上の主要課題である。

§4 成果発表等

【誌上発表・国際】

Kazuhiro Oyama, Sung-Gi Ri, Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura, Toshiharu Makino, Daisuke Takeuchi, Norio Tokuda, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Carrier transport of diamond p+-i-n+ junction diode fabricated using low-resistance hopping p+ and n+ layers”, physica status solidi (a), Vol.208, Issue4, pp.937-942, 01/2011 (DOI: 10.1002/pssa.201026490)

Masahiko Ogura, Hiromitsu Kato, Toshiharu Makino, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Misorientation-angle dependence of boron incorporation into (001)-oriented chemical-vapour-deposited (CVD) diamond”, JOURNAL OF CRYSTAL GROWTH, Vol.317, No.1, pp.60-63, 02/2011 (DOI: doi:10.1016/j.jcrysgro.2011.01.010)

Hiroyuki Okazaki, Rikiya Yoshida, Takayuki Muro, Tetsuya Nakamura, Takannori Wakita,

Yuji Muraoka, Masaaki Hirai, Hiromitsu Kato, Satoshi Yamasaki, Yoshihiko Takano, Satoshi Ishii, Tamio Koguchi, Takayoshi Yokoya, “Multiple phosphorus chemical sites in heavily phosphorus-doped diamond”, Applied Physics Letters, Vol.98, No.8, pp.082107-1-082107-3, 02/2011 (DOI: 10.1063/1.3554699)

Tomoaki Masuzawa, Y. Sato, Yuki Kudo, Ichitaro Saito, Takatoshi Yamada, A.T.Koh, D. H.Chua, Teruo Yoshino, Wang Jae Chun, Satoshi Yamasaki, Takeru Okano, “Correlation between Low Threshold Emission and C-N Bond in Nitrogen-doped Diamond”, JOURNAL OF VACUUM SCIENCE & TECHNOLOGY B, Vol.29, No.2, pp.02B119-1-02B119-6, 03/2011 (DOI: 10.1116/1.3569821)

Daisuke Takeuchi, Tsubasa Matsumoto, Toshiharu Makino, Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura, Norio Tokuda, Kazuhiro Oyama, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Electron emission from CVD diamond p-i-n junctions with negative electron affinity during room temperature operation”, DIAMOND AND RELATED MATERIALS, Vol.20, No.7, pp.917-921, 07/2011 (DOI:10.1002/pssa.201100140)

Hiromitsu Kato, J. Barjon, N. Habka, Tsubasa Matsumoto, Daisuke Takeuchi, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Energy level of compensator states in (001) phosphorus-doped diamond”, DIAMOND AND RELATED MATERIALS, Vol.20, No.7, pp.1016-1019, 07/2011 (DOI: 10.1016/j.diamond.2011.05.021)

Makino Toshiharu, Kiyoshi Yoshino, Norihiro Sakai, Koji Uchida, Satoshi Koizumi, Hiromitsu Kato, Daisuke Takeuchi, Masahiko Ogura, Kazuhiro Oyama, Tsubasa Matsumoto, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Enhancement in Emission Efficiency of Diamond Deep-Ultraviolet Light-Emitting Diode”, APPLIED PHYSICS LETTERS, Vol.99, issue6, pp.061110, 08/2011 (DOI: 10.1063/1.3625943)

Daisuke Takeuchi, Toshiharu Makino, Hiromitsu Kato, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Electron emission from diamond p-i-n junction diode with heavily P-doped top layer”, PHYSICA STATUS SOLIDI A-APPLICATIONS AND MATERIALS SCIENCE, Vol.208, No.9, pp.2073-2078, 08/2011 (DOI 10.1002/pssa.201100140)

Satoshi Yamasaki, Tsubasa Matsumoto, Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Toshiharu Makino, Shinnichi Nishizawa, Hiromichi Ohashi, Hideyo Okushi, “Diamond Power Devices – Possibility of High Voltage Applications”, 2011 1st International Conference on Electric Power Equipment – Switching Technology, 10/2011

Hiromitsu Kato, Kazuhiro Oyama, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Satoshi Yamasaki, “Diamond bipolar junction transistor device with phosphorus-doped diamond base layer ”, DIAMOND AND RELATED MATERIALS, Vol.27-28, pp.19-22, 05/2012 (DOI:10.1016-j.diamond.2012.05.004)

Yuto Hoshino, Hiromitsu Kato, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Takayuki Iwasaki, Mutsuko Hatano, Satoshi Yamasaki, “Electrical properties of lateral p-n junction diode fabricated by selective growth of n+ diamond”, PHYSICA STATUS SOLIDI A-APPLICATIONS AND MATERIALS SCIENCE, Vol.209, No.9, pp.1761-1764, 08/2012 (DOI:10.1002/pssa.201200053)

Toshiharu Makino, Shokichi Kanno, Satoshi Yamasaki, Hiromitsu Kato, Hideyo Okushi, “Nonlinear behavior of current-dependent emission for diamond light-emitting diodes”, PHYSICA STATUS SOLIDI A-APPLICATIONS AND MATERIALS SCIENCE, Vol.209, No.9, pp.1754-1760, 08/2012 (DOI: 10.1002/pssa.201200047)

Toshiharu Makino, Hiromitsu Kato, Daisuke Takeuchi, Masahiko Ogura, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Device Design of Diamond Schottky-pn Diode for Low-Loss Power Electronics”, JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, Vol.51, No.9, pp.090116-1-090116-7, 08/2012 (DOI: 10.1143/JJAP.51.090116)

Hiromitsu Kato, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Satoshi Yamasaki, “Maskless Selective Growth Method for p-n Junction Applications on (001)-Oriented Diamond”, JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, Vol.51, No.9, pp.090118-1-090118-7, 08/2012 (DOI: 10.1143/JJAP.51.090118)

Takayuki Iwasaki, Yuto Hoshino, Kohei Tsuzuki, Hiromitsu Kato, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Tsubasa Matsumoto, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, Mutsuko Hatano, “Diamond Junction Field Effect Transistors with Selectively Grown n+ Side Gates”, APPLIED PHYSICS EXPRESS, Vol.5, No.9, pp.091301-1-091301-3, 08/2012 (DOI: 10.1143/APEX.5.091301)

Takayuki Iwasaki, Yuto Hoshino, Kohei Tsuzuki, Hiromitsu Kato, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Tsubasa Matsumoto, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, Mutsuko Hatano, “Diamond Semiconductor JFETs by Selectively Grown n+-Diamond Side Gates for Next Generation Power Devices”, IEDM2012 Technical Digest, Vol.7, No.6, pp.7.5.1-7.5.4, 12/2012 (DOI: 10.1109/IEDM.2012.6478999)

Kazurou Murayama, Ryo Mizokawa, Manami Mori, Hiromitsu Kato, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Light penetration depth dependence of photocarrier life time and the Hall effect in phosphorous-doped and boron-doped homoepitaxial CVD diamond films”, DIAMOND AND RELATED MATERIALS, Vol.33, pp.49-53, 01/2013 (DOI:10.1016/j.diamond.2013.01.001)

Hiromitsu Kato, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Satoshi Yamasaki, “Fabrication of bipolar junction transistor on (001)-oriented diamond by utilizing phosphorus-doped n-type diamond base”, DIAMOND AND RELATED MATERIALS, Vol.34, pp.41-44, 04/2013 (DOI:10.1016/j.diamond.2013.02.004)

Hiromitsu kato, Marco Wolfer, Christoph Schreyvogel, Michael Kunzer, Wolfgang Muller-Sebert, Harald Obloh, Satoshi Yamasaki, Christoph Nebel, “Tunable light emission from nitrogen-vacancy centers in single crystal diamond PIN diodes”, APPLIED PHYSICS LETTERS, Vol.102, No.15, pp.151101-1-151101-4, 04/2013 (DOI:10.1063/1.4801871)

Hiromitsu Kato, Jan Jakob Hees, Rene Hoffman, Marco Wolfer, Nianjun Yang, Satoshi Yamasaki, Christoph Nebel, “Diamond foam electrodes for electrochemical applications”, ELECTROCHEMISTRY COMMUNICATIONS, Vol.33, pp.88-91, 05/2013 (DOI:10.1016/j.elecom.2013.04.028)

Satoshi Yamasaki, Toshiharu Makino, Daisuke Takeuchi, Masahiko Ogura, Hiromitsu Kato, Takayuki Iwasaki, Mutsuko Hatano, Mariko Suzuki, Satoshi Koizumi, Hiromichi Ohashi, Hideyo Okushi, “Potential of Diamond Power Devices”, 2013 25TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON POWER SEMICONDUCTOR DEVICES AND ICS (ISPSD), pp.307-310, 05/2013 (DOI: 10.1109/ISPSD.2013.6694410)

Takayuki Iwasaki, Yuto Hoshino, Kohei Tsuzuki, Hiromitsu Kato, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, Mutsuko Hatano, “High-Temperature Operation of Diamond Junction Field-Effect Transistors With Lateral p-n Junctions”, IEEE Electron Device Lettets, vol. 34, No. 9, pp.1175-1177, 09/2013 (DOI:10.1109/LED.2013.2271377)

Mariko Suzuki, Toshiharu Makino, Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Electrical characterization of diamond PiN diodes for high voltage applications”, PHYSICA STATUS SOLIDI A-APPLICATIONS AND MATERIALS SCIENCE, vol. 210, No.10, pp.2035-2039, 10/2013(DOI: 10.1002/pssa.201300051)

Norio Tokuda, Makoto Fukui, Toshiharu Makino, Daisuke Takeuchi, Satoshi Yamasaki, Takao Inokuma, “Formation of Graphene-on-Diamond Structure by Graphitization of Atomically Flat Diamond (111) Surface ”, Jpn. J. Appl. Phys. Selected Topics in Applied Physics Vol. 52, 110121, 2013 (DOI: 10.7567/JJAP.52.110121)

Takayuki Iwasaki, Junya Yaita, Hiromitsu Kato, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, and Mutsuko Hatano, “600 V Diamond Junction Field-Effect Transistors Operated at 200° C”, IEEE Electron Device Lettets, vol. 35, No. 2, pp.241-243, 2014 (DOI:10.1109/LED.2013.2294969)

Tsubasa Matsumoto, Hiromitsu Kato, Norio Tokuda, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Hideyo Okushi and Satoshi Yamasaki, “Reduction of n-type diamond contact resistance by graphite electrode”, PHYSICA STATUS SOLIDI-RAPID RESEARCH LETTERS, vol. 8, No.2, pp.137-140, 2014 (DOI: 10.1002/pssr.201308252)

Norio Tokuda, Masahiko Ogura, Satoshi Yamasaki, and Takao Inokuma, “Anisotropic lateral growth of homoepitaxial diamond (111) films by plasma-enhanced chemical vapor deposition”, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 53, 04EH04, 2014 (DOI: 10.7567/JJAP.53.04EH04)

Yuki Kudo, Daisuke Takeuchi, Daisuke Kuwabara, Toshiharu Makino, Msahiko Ogura, Hiromitsu Kato, Hideyo Okushi, Satoshi Yasamaski, “Electron emission from nitrogen-containing diamond with narrow-gap coplanar electrodes”, JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, vol. 53, No.5, pp.05FP08-1-4, 2014(DOI: 10.7567/JJAP.53.05FP08)

Kazuki Sato, Takayuki Iwasaki, Yuto Hoshino, Hiromitsu Kato, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Satoshi Yamasaki, Atsuhito Sawabe, Mutsuko Hatano, “Analysis of selective growth of n-type diamond in lateral p-n junction diodes by cross-sectional transmission electron microscopy”, JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, vol. 53, No.5, pp.05FP01-1-4, 2014 (DOI: 10.7567/JJAP.53.05FP01)

Daisuke Kuwabara, Toshiharu Makino, Daisuke Takeuchi, Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura,

Hideyo Okushi , Satoshi Yamasaki, “Unique Temperature Dependence of Deep Ultraviolet Emission Intensity for Diamond Light Emitting Diodes”, JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, vol. 53, No.5, pp.05FP02-1-3, 2014 (DOI: 10.7567/JJAP.53.05FP01)

Tsubasa Matsumoto, Hiromitsu Kato, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Carrier Transport on Homo-Epitaxial Diamond Films with Heavy Phosphorus Doping”, JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, vol. 53, No.5, pp.05FP05-1-5, 2014 (DOI: 10.7567/JJAP.53.05FP05)

Toshiharu Makino, Kazuhiro Oyama, Hiromitsu Kato, Daiuske Takeuchi, Masahiko Ogura, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Diamond electronic devices using heavily doped hopping p+ and n+ layers”, JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, vol. 53, No.5, pp.05FA12-1-8, 2014 (DOI:10.7567/JJAP.53..05FA12)

Daisuke Takeuchi, Toshiharu Makino, Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura, Norio Tokuda, Tsubasa Matsumoto, Daisuke Kuwabara, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Free exciton luminescence from a diamond p-i-n diode grown on a substrate produced by heteroepitaxy”, PHYSICA STATUS SOLIDI A-APPLICATIONS AND MATERIALS SCIENCE, vol. 211, No.10, pp.2251-2256, 2014 (DOI:10.1002/pssa.201431167)

Ryouta Otani, Takashi Yamamoto, Stoffel D. Janssens, Satoshi Yamasaki, Satoshi Koizumi, “Large improvement of phosphorus incorporation efficiency in n-type chemical vapor deposition diamond”, APPLIED PHYSICS LETTERS, vol. 105, pp.232106-1-3, 2014

J. Yaita, T. Iwasaki, M. Natal, S. E. Saddow, M. Hatano, “Heteroepitaxial Growth of Diamond Films on 3C-SiC / Si Substrates with Utilization of Antenna-Edge Microwave Plasma CVD for Nucleation”, 2015 Japanese Journal of Applied Physics, Vol.54, No.4S, pp.04DH13 (doi:10.7567/JJAP.54.04DH13)

Takayuki Iwasaki, Hiromitsu Kato, Junya Yaita, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, Mutsuko Hatano, “Current Enhancement by Conductivity Modulation in Diamond JFETs for Next Generation Low-Loss Power Devices”, ISPSD2015 Proceedings, pp.77-80, 2015(DOI; 10.1109/ISPSD.2015.7123393)

Taisuke Suwa, Takayuki Iwasaki, Hiromitsu Kato, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Satoshi Yamasaki, Mutsuko Hatano, “Normally-Off Diamond Junction Field-Effect Transistors with Submicron Channel”, IEEE ELECTRON DEVICE LETTERS, pp.209-211, 2015(DOI: 10.1109/LED.2015.2513074)

Hiromitsu Kato, Daisuke Takeuchi, Masahiko Ogura, Takatoshi Yamada, Mitsuhiro Kataoko, Yuji Kimura, Susumu Sofue, Christoph Nebel, Satoshi Yamasaki, “Heavily phosphorus-doped nanocrystalline diamond electrode for thermionic emission application”, DIAMOND AND RELATED MATERIALS, vol.63, pp.165-168, 2015(DOI: 10.1016/j.diamond.2015.08.002)

Hiroyuki Kawashima(AIST), Hitoshi Noguchi, Tsubasa Matsumoto, Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura, Toshiharu Makino, Shouzou Shirai, Daisuke Takeuchi, Satoshi Yamasaki,

“Electronic properties of diamond Schottky barrier diodes fabricated on silicon-based heteroepitaxially grown diamond substrates”, Applied Physics Express, Vol.8, No.10, pp.104103-1-3, 2015(DOI:10.7567/APEX.8.104103)

【その他著作物・国内】
牧野俊晴, 山崎聡,“低炭素社会を支える次世代照明ダイヤモンドで深紫外線 LED を　その用途と可能性”, 月間ビジネスアイ エネコ, Vol.44, No.2, P.22-25, 02/2011

牧野俊晴, 山崎聡,“ダイヤモンドによる深紫外線発光デバイス”, 中小企業のための技術宝箱　～産総研特許の解説集～, 07/2011

山崎聡, 大串秀世, 牧野俊晴, 竹内大輔, 小倉政彦, 加藤宙光,“ダイヤモンド半導体のユニークな特性とその応用”, 固体物理, Vol.47, No.4, P.31-37, 04/2012

山崎聡,“研究室紹介”, 光アライアンス, 06/2012

山崎聡, 竹内大輔, 大串秀世, 牧野俊晴, 小倉政彦, 加藤宙光,“ダイヤモンド半導体の得意の物性とデバイス展開　－負性電子親和力と電子放出 PN ダイオードー”, 表面科学, Vol.33, No.11, P.634-638, 11/2012

徳田規夫, 牧野俊晴, 猪熊孝夫, 山崎聡,“プラズマ CVD 法によるステップフリーダイヤモンド（111）表面の形成”, 日本結晶成長学会, Vol.39, No.4, P.185-189, 01/2013

山崎聡,“人工ダイヤモンドを使った半導体デバイスの最新研究動向と研究開発テーマ”, 研究開発リーダー, Vol.88, No.7, P.5-10, 07/2013

山崎聡,“ダイヤモンド半導体による超低損失パワーデバイス開発”, FINE CERAMICS REPORT, Vol.31, No.3, P.90-93, 07/2013

小泉聡,「ポストシリコン半導体- 第 6 章第 1 節-2　n 型ダイヤモンドの創成とバンドエンジニアリング」, NTS, 東京、pp.267-282、2013 (SBN978-4-86469-059-1)

徳田規夫, 山崎聡, 猪熊孝夫, “原子的に制御されたダイヤモンド表面の創出”, 精密工学会誌, vol. 80, No. 5, pp.433-438, 2014 (DOI: 10.2493/jjspe.80.433)

【その他著作物・国際】
Satoshi Yamasaki, Etienne Gheeraert, Yasuo Koide, “Doping and interface of homoepitaxial diamond for electronic applications”, MRS Bulletin, pp.499-503, 2014

Norio Tokuda, “Chapter 1 Homoepitaxial Diamond Growth by Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition”, Novel Aspects of Diamond, Nianjun Yang (Ed.), pp. 1-29, 2015

【招待講演・国内】
山崎聡 (産総研),“ダイヤモンド半導体の特異な物性とデバイス開発”, ゲートスタック研究会, 三島, 2012 年 1 月 21 日

小泉　聡 (物材研),“ダイヤモンドの n 型ドーピング”, 第 73 回応用物理学会学術講演会,

愛媛大学・松山大学, 2012 年 9 月 11 日

山崎聡（産総研),“プラズマナノ科学ワークショップ　～ダイアモンド半導体電子デバイスの理解～ ”, プラズマナノ科学ワークショップ, 名古屋大学, 2012 年 10 月 12 日

小泉聡（物材研),“ダイヤモンド pn 接合による UV-LED 研究”, 平成 24 年度応用物理学会九州支部学術講演会オータムスクール, 佐賀大学, 2012 年 12 月 2 日

竹内大輔（産総研), 小泉聡, 加藤宙光, 小倉政彦, 牧野俊晴, 大橋弘通, 大串秀世, 山崎聡, “ダイヤモンド PIN ダイオード形エミッタによる真空パワースイッチ”, 第 10 回真空ナノエレクトロニクスシンポジウム, 大阪大学中之島センター（大阪市北区）, 2013 年 3 月 5 日

竹内大輔（産総研)、小泉聡、牧野俊晴、加藤宙光、小倉政彦、大串秀世、大橋弘通、山崎聡、“ダイヤモンド負性電子親和力表面からの電子放出過程とその応用”、日本表面科学会第 75 回表面科学研究会、東京工業大学、2013 年 3 月 8 日

山崎聡（産総研),“ダイヤモンドのユニークな物性と超低損失パワーデバイス”, 第１７回名古屋駅前イノベーション技術シーズ発表会, 名古屋, 2013 年 3 月 18 日

山崎聡（産総研),“ダイヤモンド半導体のユニークな物性を利用したパワーデバイス”, CREST パワー・先端素子半導体に関するシンポジウム, 北海道大学, 2013 年 7 月 19 日

【招待講演・国際】

Satoshi Yamasaki(AIST), Tsubasa Matsumoto, Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Toshiharu Makino, Shinichi Nishizawa, Hiromichi Ohashi, Hideyo Okushi, “Diamond Power Devices - Possibility of High Voltage Applications”, 2011 1st International Conference on Electric Power Equipment - Switching Technology, Xi'an China, 24/10/2011

Toshiharu Makino(AIST), Hiromitsu Kato, Norio Tokuda, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Shoukichi Kanno, Kiyoshi Yoshino, Satoshi Koizumi, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Diamond pin junction LEDs”, SBDD XVII, Hasselt Belgium, 15/03/2012

Hiromitsu Kato(AIST), Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Satoshi Yamasaki, “Diamond bipolar junction transistor with phosphorus-doped n-type base layer”, International Conference on Diamond and Carbon Materials, Granada, Spain, 03/09/2012

Hiromitsu Kato(AIST), Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Satoshi Yamasaki, “n-type doping for diamond bipolar junction devices”, 2012 MRS Fall meeting, Boston, America, 28/11/2012

Satoshi Yamasaki(AIST), “Diamond film growth and electronic devices”, 5th international symposium on advanced plasma science and its application for nitrides and nanomaterials, Nagoya JAPAN, 30/01/2013

Daisuke Takeuchi(AIST), Satoshi Koizumi, Toshiharu Makino, Hiromitsu Kato, Masahiko

Ogura, Hideyo Okushi, Hiromichi Ohashi, Satoshi Yamasaki, “A high voltage vacuum power switch with negative electron affinity of PIN diamond diode emitters”, Hasselt Diamond Workshop 2013 SBDD XVIII, Hasselt Belgium, 28/02/2013

Toshiharu Makino(AIST), Tsubasa Matsumoto, Daisuke Kuwabara, Hiromitsu Kato, Daisuke Takeuchi, Masahiko Ogura, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Carrier transport of diamond p+-i-n+ junction using hopping p+ and n+ layers”, the 1st French-Japanese Workshop ″Diamond power devices″, Chamonix, France, 20/06/2013

Mutsuko Hatano(Tokyo Institute of Technology), “Diamond Junction Field-Effect Transistors with Lateral pn-junctions”, the first French-Japanese Workshop “Diamond power devices”, Chamonix, France, 20/06/2013

Satoshi Yamasaki(AIST), “Current status of diamond researches and fundings”, the 1st French-Japanese Workshop ″Diamond power devices″, Chamonix, France, 21/06/2013

Mutsuko Hatano(Tokyo Institute of Technology), “Diamond Junction Field-Effect Transistors with Lateral pn-junctions for Next Generation Power Devices”, AWAD2013, Korea University (Seoul), South Korea, 27/06/2013

Mutsuko Hatano(Tokyo Institute of Technology), “Monolayer diamond FETs consist of fluorinated graphene channel”, International Conference on Semiconductor technology for ultra large scale integrated circuits and thin film transistors, Grenoble, France, 08/07/2013

Toshiharu Makino(AIST), Hiromitsu Kato, Daisuke Takeuchi, Masahiko Ogura, Yuki Kudo, Tsubasa Matsumoto, Daisuke Kuwabara, Kazuya Shirota, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Electronic devices using unique properties of diamond”, 2013 JSAP-MRS Joint Symposia, Doshisha University, Japan, 19/09/2013

Norio Tokuda(Kanazawa University), Satoshi Yamasaki, Takao Inokuma, “Atomically controlled diamond: homoepitaxy, doping, and surface structures”, 2013 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), Hilton Fukuoka Sea Hawk, Fukuoka, Japan, 25/09/2013

Satoshi Yamasaki(AIST), Daisuke Takeuchi, Satoshi Koizumi, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Hiromitsu Kato, Hiromichi Ohashi, Hideyo Okushi, “New Concept Power Device; Diamond Vacuum Switch”, 2013 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), Hilton Fukuoka Sea Hawk, Fukuoka, Japan, 26/09/2013

Satoshi Yamasaki(AIST), “Unique Properties of Diamond; Negative Electron Affinity”, Satellite Workshop of SBDD XIX, Hasselt, Belgium, 18/02/2014

Mutsuko Hatano(Tokyo Institute of Technology), T. Iwasaki, K. Tsuzuki, K. Sato, H. Kato, T. Makino, M. Ogura, D. Takeuchi, H. Okushi, S. Yamasaki, “High voltage and high temperature operation of diamond junction FETs with the lateral p-n junctions”, SBDD XIX Hasselt meeting, Hasselt, Belgium, 20/02/2014

Satoshi Yamasaki(AIST), “Diamond Electronic Devices Using Unique Properties”,

NGC2014, Arizona State University, America, 13/03/2014

Toshiharu Makino(AIST), Hiromitsu Kato, Norio Tokuda, Daisuke Takeuchi, Masahiko Ogura, K.Yoshino, Satoshi Koizumi, Daisuke Kuwabara, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Diamond pin junction LED”, IUMRS-ICA2014, Fukuoka University, 25/08/2014

Satoshi Yamasaki(AIST), Toshiharu Makino, Daisuke Takeuchi, Masahiko Ogura, Hiromitsu Kato, Hideyo Okushi, “New Electronic Material: Diamond Semiconductor”, IUMRS-ICA2014, Fukuoka University, 28/08/2014

N. Tokuda(Kanazawa University), D. Miyata, A. Ueda, T. Chonan, T. Minamiyama, T. Inokuma, M. Imura, Y. Koide, M. Ogura, T. Makino, D. Takeuchi, S. Yamasaki, “Atomically controlled diamond surfaces and interfaces”, International Conference on Diamond and Carbon Materials 2014, Madrid, Spain, 10/09/2014

Hiromitsu Kato(AIST), Masahiko Ogura, Toshiharu Makino, Daisuke Takeuchi, Satoshi Yamasaki, “Growth and doping control of diamond semiconductor for junction device applications”, Energy Materials Nanotechnology Meeting, Cancun, Mexico, 09/06/2015

Satoshi Yamasaki(AIST), “International Symposium on Diamond Bipolar devices”, OMNT International Symposium on Diamond, Grenoble, France, 06/07/2015

Satoshi Yamasaki(AIST), “The key issues of developments in diamond power devices”, 3rd - French-Japanese workshop on Diamond Power Devices, Nimes, France, 09/07/2015

Satoshi Yamasaki(AIST), “The high potential for diamond electronic devices”, Diamond Quantum Sensing Workshop 2015, Takamatsu, Japan, 06/08/2015

Mutsuko Hatano(Tokyo Institute of Technology), Takayuki Iwasaki, Satoshi Yamasaki, “Diamond Electronic for Power Devices and Sensing Applications” SSDM2015, Sapporo, Hokkaido, 29/09/2015

Hiroyuki Kawashima(AIST), Hitoshi Noguchi, Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura, Toshiharu Makino, Shouzou Shirai, Daisuke Takeuchi, Satoshi Yamasaki, “Diamond Schottky barrier diodes on heteroepitaxitally grown silicon-based diamond substrates”, Hasselt Diamond Workshop (SBDD XXI), Hasselt, Belgium, 10/03/2016

Satoshi Yamasaki(AIST), Hiroyuki Kawashima, Daisuke Kuwabara, Daisuke Takeuchi, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Hiromitsu Kato, “Dependence of electronic performance of diamond Schottky barrier diodes on fabrication methods of substrates”, 2016 MRS Spring Meeting, Phoenix, Arizona, America, 30/03/2016

Daisuke Takeuchi(AIST), Satoshi Koizumi, Tsubasa Matsumoto, Hiroyuki Kawashima, Daisuke Kuwabara, Toshiharu Makino, Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura, Hiromichi Ohashi, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Large emission current density of diamond p-i-n diode type NEA electron emitters”, 2016 MRS Spring Meeting, Phoenix, Arizona, America, 30/03/2016

【口頭発表・国内】
竹内大輔（産総研），小倉政彦，加藤宙光，山崎聡，“ダイヤモンド p-i-n 接合ダイオードからの電子放出（II)”，第 24 回ダイヤモンドシンポジウム，東京工業大学，2010 年 11 月 19 日

工藤唯義（国際基督教大学），増澤智昭，佐藤祐介，斉藤市太郎，山田貴壽，A.T.T.Koh，D. H. C. Chua，吉野輝雄，田旺帝，山崎聡，岡野健，“窒素添加ダイヤモンドからの電子放出特性と C-N 結合の関係” 電子情報通信学会，京都大学，2010 年 11 月 25 日

竹内大輔（産総研），牧野俊晴，加藤宙光，大串秀世，山崎聡，“ダイヤモンドの負性電子親和力を応用した真空パワースイッチ”，第 59 回応用物理学関係連合講演会，早稲田大学，2012 年 3 月 18 日

加藤宙光（産総研），小山和博，牧野俊晴，竹内大輔，小倉政彦，山崎聡，“ダイヤモンド半導体を用いたバイポーラトランジスタの開発”，第 25 回ダイヤモンドシンポジウム，産総研，2011 年 12 月 3 日

竹内大輔（産総研），牧野俊晴，加藤宙光，大串秀世，山崎聡，“ダイヤモンド p-i-n 接合ダイオードからの電子放出(III)”，第 25 回ダイヤモンドシンポジウム，産総研，2011 年 12 月 7 日

松本翼（産総研），小倉政彦，加藤宙光，大串秀世，山崎聡，“高濃度不純物をドープしたダイヤモンド薄膜における電荷輸送機構”，第 25 回ダイヤモンドシンポジウム，産総研，2011 年 12 月 7 日

松本翼（産総研），山崎聡，“高濃度 P ドープ n 型ダイヤモンド半導体における電子伝導”，第 4 回つくばナノテク拠点シンポジウム，東京国際フォーラム，2012 年 3 月 8 日

松本翼（産総研），加藤宙光，大串秀世，山崎聡，“高濃度 P ドープダイヤモンド薄膜における電荷輸送”，第 59 回応用物理学関係連合講演会 ，早稲田大学，2012 年 3 月 18 日

都築康平（東工大），加藤宙光，牧野俊晴，小倉政彦，星野雄斗，岩崎孝之，山崎聡，波多野睦子，“n 型ダイヤモンド半導体の選択成長を適用した横型 p-n ダイオード”，第 59 回応用物理学関係連合講演会，早稲田大学，2012 年 3 月 18 日

松本翼（産総研），加藤宙光，小倉政彦，竹内大輔，牧野俊晴，大串秀世，山崎聡，“ダイヤモンド半導体/金属界面の電気特性制御 ～ p 型・n 型ダイヤモンドの現状と課題 ～”，ゲート絶縁薄膜、容量膜、機能膜およびメモリ技術（応用物理学会、シリコンテクノロジー分科会との合同開催），名古屋大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー，2012 年 6 月 21 日

竹内大輔（産総研），牧野俊晴，加藤宙光，小倉政彦，大串秀世，大橋弘通，山崎聡，“ダイヤモンド PIN ダイオード型 NEA 電子源を利用した真空スイッチの 10kV 動作における電力利得確認”，第 73 回応用物理学会学術講演会，愛媛大学・松山大学，2012 年 9 月 12 日

牧野俊晴（産総研），加藤宙光，竹内大輔，小倉政彦，桑原大輔，松本翼，大串秀世，山崎聡，“ダイヤモンド Schottky-pn ダイオードの電気特性の n 層膜厚依存性”，第 73 回応用物理学会学術講演会，愛媛大学・松山大学，2012 年 9 月 13 日

竹内大輔（産総研），牧野俊晴，加藤宙光，小倉政彦，大串秀世，大橋弘通，山崎聡，“ダイヤモンドの負性電子親和力を応用した真空パワースイッチ(2)”，第 73 回応用物理学会学術講演会，愛媛大学・松山大学，2012 年 9 月 13 日

都築康平（東工大），加藤宙光,牧野俊晴，小倉政彦，竹内大輔，大串秀世，星野雄斗，岩崎孝之,山崎聡,波多野睦子,“n 型ダイヤモンド半導体の選択成長法を用いた横型接合 FET ”，第 73 回応用物理学会学術講演会，愛媛大学・松山大学，2012 年 9 月 13 日

桑原大輔（産総研），牧野俊晴，竹内大輔，加藤宙光，小泉聡，小倉政彦，松本翼，大串秀世，山崎聡，“ダイヤモンド深紫外線 LED のメサ構造による発光スペクトルの変化”，第 73 回応用物理学会学術講演会，愛媛大学・松山大学，2012 年 9 月 13 日

松本翼（産総研），加藤宙光，牧野俊晴，小倉政彦，竹内大輔，大串秀世，山崎聡，“高濃度 P ドープ n 型ダイヤモンド半導体／電極への N イオン注入の効果”，第 73 回応用物理学会学術講演会，愛媛大学・松山大学，2012 年 9 月 13 日

工藤唯義（産総研），竹内大輔，岡野健，山崎聡，“Ib ダイヤモンドからの電流注入による電子放出”，第 73 回応用物理学会学術講演会，愛媛大学・松山大学，2012 年 9 月 13 日

星野雄斗（東工大），都築康平，加藤宙光，牧野俊晴，小倉政彦，岩崎孝之，竹内大輔，大串秀世，山崎聡，波多野睦子，“n+選択成長を利用したダイヤモンド接合型電界効果トランジスタの試作とデバイス特性の解析”，第 26 回ダイヤモンドシンポジウム，青山学院大学，2012 年 11 月 20 日

竹内大輔（産総研），小泉聡，加藤宙光，牧野俊晴，大橋弘通，大串秀世，山崎聡，“ダイヤモンド PIN ダイオード型 NEA 電子源を利用した真空スイッチ(I)”，第 26 回ダイヤモンドシンポジウム，青山学院大学，2012 年 11 月 21 日

松本翼（産総研），白田和也，徳田規夫，加藤宙光，牧野俊晴，小倉政彦，竹内大輔，大串秀世，山崎聡,“ダイヤモンド半導体におけるグラフェンを中間層としたコンタクト形成法”，第 6 回つくばナノテクシンポジウム，2013 年 3 月 7 日

牧野俊晴（産総研），李　成奇，松本翼，桑原大輔，加藤宙光，竹内大輔，小倉政彦，大串秀世,山崎聡,“ホッピング伝導層を用いたダイヤモンド p+-i-n+接合のキャリア輸送特性”，第 60 回応用物理学会春季学術講演会，神奈川工科大学，　2013 年 3 月 27 日

松本翼（産総研），白田和也，徳田規夫，加藤宙光，牧野俊晴，小倉政彦，竹内大輔，大串秀世，山崎聡，“カーボン中間層挿入による金属/n 型ダイヤモンド界面の接触抵抗低減”，第 60 回応用物理学会春季学術講演会，神奈川工科大学，2013 年 3 月 27 日

工藤唯義（産総研），竹内大輔，牧野俊晴，小倉政彦，大串秀世，山崎聡，“Ib ダイヤモンド上の狭電極間電流と電子放出の温度特性”，第 60 回応用物理学会春季学術講演会，　神奈川工科大学，2013 年 3 月 27 日

白田和也（産総研），松本翼，加藤宙光，牧野俊晴，小倉政彦，竹内大輔，大串秀世，山崎聡，“金属と p 型ダイヤモンドの接触抵抗の(111)面と(100)面の比較”，第 60 回応用物理学会春季学術講演会，神奈川工科大学，2013 年 3 月 27 日

鈴木真理子（TOSHIBA），　酒井忠司，　牧野俊晴，　加藤宙光，　竹内大輔，　小倉政彦，　大

串秀世， 山崎聡， “ダイヤモンド PiN ダイオードの逆方向 I-V 特性”， 第 60 回応用物理学会春季学術講演会， 神奈川工科大学（神奈川県）， 2013 年 3 月 27 日

佐藤一樹（東工大），岩崎孝之，星野雄斗，加藤宙光，牧野俊晴，小倉政彦，竹内大輔，大串秀世，山崎聡，波多野睦子，“ダイヤモンド横型接合デバイスの耐圧評価”，第 60 回応用物理学会春季学術講演会，神奈川工科大学，2013 年 3 月 27 日

竹内大輔（産総研），小泉聡，加藤宙光，牧野俊晴，小倉政彦，大橋弘通，大串秀世，山崎聡，“ダイヤモンドの負性電子親和力を応用した真空パワースイッチ(3)”，第 60 回応用物理学会春季学術講演会，神奈川工科大学，2013 年 3 月 27 日

星野雄斗（東工大），岩崎孝之，都築康平，加藤宙光，牧野俊晴，小倉政彦，竹内大輔，大串秀世，山崎聡，波多野睦子，“ダイヤモンド横型接合 FET の温度特性”，第 60 回応用物理学会春季学術講演会，神奈川工科大学，2013 年 3 月 27 日

森本隆介（金沢大学），渡邊俊介，矢板潤矢，徳田規夫，小倉政彦，山崎聡，猪熊孝夫，“球型共振器構造 MPCVD を用いたダイヤモンド(111)ホモエピタキシャル高速成長”，第 74 回応用物理学会秋季学術講演会，同志社大学京田辺キャンパス，2013 年 9 月 18 日

南山拓真（金沢大学），徳田規夫，小倉政彦，山崎聡，猪熊孝夫，“ホウ素δ-ドーピングによる電気的特性の改善”，第 74 回応用物理学会秋季学術講演会，同志社大学京田辺キャンパス，2013 年 9 月 18 日

松本翼（産総研），白田和也，加藤宙光，徳田規夫，竹内大輔，牧野俊晴，小倉政彦，大串秀世，山崎聡，“Ti/n 型ダイヤモンド薄膜界面におけるカーボン層形成後の酸素プラズマアッシングの効果”，第 74 回応用物理学会秋季学術講演会，同志社大学（京都），2013 年 9 月 18 日

桑原大輔（産総研），牧野俊晴，竹内大輔，加藤宙光，小倉政彦，小泉聡，大串秀世，山崎聡，“ダイヤモンド励起子 LED のパルス電流注入のオンオフ比・温度依存性”，第 74 回応用物理学会秋季学術講演会，同志社大学京田辺キャンパス，2013 年 9 月 18 日

岩崎孝之（東工大），星野雄斗，都築康平，加藤宙光，牧野俊晴，小倉政彦，竹内大輔，大串秀世，山崎聡，波多野睦子，“ダイヤモンド接合型電界効果トランジスタの高温・高電圧特性”，第 27 回ダイヤモンドシンポジウム，日本工業大学，2013 年 11 月 20 日

小倉政彦（産総研），牧野俊晴，竹内大輔，大串秀世，山崎聡，“ダイヤモンドのｐ／ｐ＋接合の特性”，第 27 回ダイヤモンドシンポジウム，日本工業大学，2013 年 11 月 22 日

大谷亮太（物材研），山本卓，小泉聡，山崎聡，“{111}リンドープダイヤモンド薄膜のドーピング効率 II”，第 27 回ダイヤモンドシンポジウム，日本工業大学，2013 年 11 月 22 日

南山拓真（金沢大学），徳田規夫，小倉政彦，山崎聡，猪熊孝夫，“超低抵抗率ホウ素 δ ドープダイヤモンド構造”，応用物理学会　北陸・信越支部　学術講演会，金沢工業大学，2013 年 11 月 22 日

松本翼（産総研），山崎聡，“電極/P ドープ n 型ダイヤモンド薄膜界面の電気的特性評価”，第 8 回つくばナノテク拠点シンポジウム，東京国際フォーラム，2014 年 3 月 6 日

宮田大輔（金沢大学），神谷昇吾，徳田規夫，牧野俊晴，竹内大輔，山崎　聡，猪熊孝夫、“原子的平坦 OH 終端ダイヤモンド（111）表面の形成”、第 61 回応用物理学会春季学術講演会、青山学院大学相模原キャンパス、2014 年 3 月 18 日

白田和也（産総研），竹内大輔，小倉政彦，加藤宙光，牧野俊晴，大串秀世，山崎聡，“ケルビンプローブ顕微鏡を用いた高濃度 n 型ダイヤモンドの表面電位の評価”，第 61 回応用物理学会春季学術講演会，青山学院大学，2014 年 3 月 18 日

川島宏幸（産総研），加藤宙光，小倉政彦，鈴木真理子，牧野俊晴，竹内大輔，山崎聡，“(001)面リンドープ n 型ダイヤモンド成長における基板オフ角依存性”，第 61 回応用物理学会春季学術講演会，青山学院大学，2014 年 3 月 18 日

大谷亮太（物材研），山本卓，小泉聡，山崎聡，“n 型ダイヤモンド CVD 薄膜のリンドープ効率”，第 61 回応用物理学会春季学術講演会，青山学院大学，2014 年 3 月 18 日

矢板 潤也（東工大），岩崎 孝之，S. E. Saddow，波多野 睦子，”先端放電型プラズマ CVD を用いた b-SiC 上へのダイヤモンドヘテロエピタキシャル成長”，第６１回応用物理学会春季学術講演会，青山学院大学相模原キャンパス（神奈川），2014 年 3 月 18 日

牧野俊晴（産総研），桑原大輔，松本翼，加藤宙光，竹内大輔，小倉政彦，大串秀世，山崎聡，“ダイヤモンド Schottky-pn ダイオードの電気特性”，第 61 回応用物理学会春季学術講演会，青山学院大学，2014 年 3 月 19 日

松本翼（産総研），川島宏幸，加藤宙光，竹内大輔，山崎聡，“n 型ダイヤモンド薄膜の表面平坦化による接触抵抗低減”，2014 年 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会，北海道大学，2014 年 9 月 17 日

佐藤一樹（東工大），岩崎孝之，清水麻希，加藤宙光，牧野俊晴，小倉政彦，竹内大輔，山崎聡，波多野睦子，“(111)基板上のダイヤモンド横型 p-n 接合の作製”，2014 年 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会，北海道大学，2014 年 9 月 17 日

矢板 潤也（東工大），岩崎 孝之， M.Natal，S. E. Saddow，波多野 睦子，″先端放電型プラズマ CVD を用いた 3C-SiC(001)/Si(001)ウェハ上への高配向ダイヤモンド薄膜合成”,2014 年　第 75 回応用物理学会秋季学術講演会，北海道大学，2014 年 9 月 17 日

南山拓真（金沢大学），宮田大輔，長南幸直，徳田規夫，小倉政彦，竹内大輔，山崎聡，猪熊孝夫，“ポストウェットアニールによる p 型(111)ダイヤモンドへのオーミック接触の形成”，2014 年 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会，北海道大学，2014 年 9 月 17 日

渡邊俊介（金沢大学），森本隆介，金田大輝，徳田規夫，加藤宙光，梅沢仁，山崎聡，有屋田修，猪熊孝夫，“球型共振器構造 MPCVD を用いたダイヤモンド(100)膜のホモエピタキシャル高速成長”，第 75 回応用物理学会秋季講演会，北海道大学，2014 年 9 月 17 日

川島宏幸（産総研），加藤宙光，竹内大輔，山崎聡，“オフ角の異なる(001)面リンドープダイヤモンド薄膜の X 線光電子分光法による表面結合状態の評価”,2014 年 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会，北海道大学，2014 年 9 月 17 日

桑原大輔（産総研），牧野俊晴，加藤宙光，竹内大輔，小倉政彦，大串秀世，山崎聡，“ダイヤモンド LED における深紫外線発光の温度依存性”,2014 年 第 75 回応用物理学会秋季学

術講演会，北海道大学，2014 年 9 月 17 日

工藤唯義（産総研），竹内大輔，加藤宙光，牧野俊晴，小倉政彦，大串秀世，山崎聡，“リン添加 n 型ダイヤモンド上に形成した狭間隔電極間電流と電子放出”，2014 年 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会，北海道大学，2014 年 9 月 17 日

山本 卓(物材研)，小泉 聡，“プラズマ CVD ダイヤモンドのリン取り込み効率温度依存性”，2014 年 秋季 第 75 回応用物理学会学術講演会，北海道大学，2014 年 9 月 17 日

南山拓真（金沢大学），宮田大輔，長南幸直，徳田規夫，小倉政彦，竹内大輔，山崎聡，猪熊孝夫，“OH 終端 p 型(111)ダイヤモンドへのオーミック接触の形成”，平成 26 年度応用物理学会北陸・信越支部学術講演会，富山大学，2014 年 11 月 7 日

宮田大輔（金沢大学），神谷昇吾，徳田規夫，牧野俊晴，竹内大輔，山崎聡，猪熊孝夫、“ウェットアニールによるダイヤモンド(111)表面の OH 終端化”、平成 26 年度応用物理学会北陸・信越支部学術講演会、富山大学、2014 年 11 月 7 日

中西一浩（金沢大学），辻祐司，徳田規夫，小倉政彦，竹内大輔，山崎聡，森本章治，川江健，猪熊孝夫、“ウェットアニール処理によるダイヤモンド MESFET 作製プロセスの提案”、平成 26 年度応用物理学会北陸・信越支部学術講演会、富山大学、2014 年 11 月 7 日

金田大輝（金沢大学），渡邊俊介，徳田規夫，小倉政彦，加藤宙光，梅沢仁，山崎聡，有屋田修，猪熊孝夫、“ホウ素ドープダイヤモンド(100)膜の高速成長”、平成 26 年度応用物理学会北陸・信越支部学術講演会、富山大学、2014 年 11 月 7 日

渡邊俊介（金沢大学），森本隆介，金田大輝，徳田規夫，加藤宙光，梅沢仁，山崎聡，有屋田修，猪熊孝夫、“CVD 単結晶ダイヤモンド(100)自立基板の開発”、平成 26 年度応用物理学会北陸・信越支部学術講演会、富山大学、2014 年 11 月 7 日

矢板潤也（金沢大学），岩崎孝之，M.Natal，S.E. Saddow，波多野睦子，“先端放電型プラズマ CVD を用いた 3C-SiC/Si 上へのダイヤモンドヘテロエピタキシャル成長” 第２８回ダイヤモンドシンポジウム，東京電機大学，2014 年 11 月 19 日

鈴木真理子（東芝），酒井忠司，牧野俊晴，加藤宙光，竹内大輔，小倉政彦，大串秀世，山崎聡，“高電圧応用に向けたダイヤモンド縦型 PiN ダイオードの電気特性”，第 28 回ダイヤモンドシンポジウム，東京電機大学，2014 年 11 月 21 日

佐藤一樹（東工大），岩崎孝之，清水麻希，加藤宙光，牧野俊晴，小倉政彦，竹内大輔，山崎聡，中村新一，澤辺厚仁，波多野睦子，“(111)基板上の横型 p-n 接合ダイオードの作製と評価”，第 28 回ダイヤモンドシンポジウム，東京電機大学，2014 年 11 月 21 日

鈴木聡一郎（大阪府立大），根崎基信，岡本尚樹，齊藤丈靖，近藤和夫，松本翼，牧野俊晴，小倉政彦，小倉政彦，加藤宙光，竹内大輔，山崎聡，大串秀世，“EB 蒸着法により p 型ダイヤモンド上に形成した TiCN/Pt/Au 電極の TLM 評価”，第 28 回ダイヤモンドシンポジウム，東京電機大学，2014 年 11 月 21 日

湯川光（大阪府立大学），中田洸樹，根崎基信，岡本尚樹，齊藤丈靖，近藤和夫，山崎聡，大串秀世、“パルス DC プラズマ CVD 法によるダイヤモンド成長速度と析出形態の制御”、第 17 回化学工学会学生発表会、徳島、2015 年 3 月 7 日

川島宏幸（産総研），加藤宙光，小倉政彦，牧野俊晴，竹内大輔，山崎聡，“(001)面高濃度ボロンドープダイヤモンド成長のオフ角依存性”，第 62 回応用物理学会春季学術講演会，東海大学，2015 年 3 月 11 日

大谷亮太（物材研），山本 卓，小泉 聡、“高濃度リンドープ n 型ダイヤモンド薄膜の評価”、2015 年 春季 第 62 回応用物理学会学術講演会、東海大学、平成 27 年 3 月 11 日

成木 航（東工大），田原 康佐，岩崎 孝之，加藤宙光，牧野 俊晴，小倉 政彦，竹内 大輔，山崎 聡，波多野 睦子，“ダイヤモンド JFET の内部電界測定に向けた NV センターの形成” ，第 62 回応用物理学会春季学術講演会、東海大学湘南キャンパス、2015 年 3 月 11 日

牧野俊晴（産総研），桑原大輔，加藤宙光，竹内大輔，小倉政彦，大串秀世，山崎聡，“ホッピング伝導層を用いたダイヤモンド p+-i-n+接合の電気特性”，第 62 回応用物理学会春季学術講演会、東海大学、2015 年 3 月 12 日

桑原大輔（産総研），牧野俊晴，加藤宙光，竹内大輔，小倉政彦，大串秀世，山崎聡，“ダイヤモンド LED における励起子発光の温度依存性”，第 62 回応用物理学会春季学術講演会，東海大学，2015 年 3 月 12 日

白田和也（産総研），竹内大輔，牧野俊晴，加藤宙光，小倉政彦，山崎聡，“ダイヤモンド横型 p-n 接合についてケルビンプローブフォース顕微鏡による表面電位評価と内部構造との相関”，第 62 回応用物理学会春季学術講演会，東海大学，2015 年 3 月 12 日

佐藤一樹（東工大），岩崎孝之，清水麻希，加藤宙光，牧野俊晴，小倉政彦，竹内大輔，山崎聡，波多野睦子，“(111)基板上の{110}面を接合面としたダイヤモンド横型 p-n 接合の作製”，第 62 回応用物理学会春季学術講演会，東海大学，2015 年 3 月 12 日

諏訪 泰介（東工大），岩崎 孝之，佐藤 一樹，加藤 宙光，牧野 俊晴，小倉 政彦，竹内大輔，山崎 聡，波多野 睦子，”ダイヤモンド JFET のノーマリーオフ動作“第 62 回応用物理学会春季学術講演会、東海大学湘南キャンパス、2015 年 3 月 12 日

鈴木聡一郎（大阪府立大），岡本尚樹，齊藤丈靖，近藤和夫，松本翼，牧野俊晴，小倉政彦，加藤宙光，竹内大輔，山崎聡，大串秀世，“p 型ダイヤモンド上に EB 蒸着法で形成した Ti 化合物/Pt/Au 電極の TLM 評価”，化学工学会第 47 回秋季大会，札幌，2015 年 9 月 11 日

松本翼（産総研），川島宏幸，加藤宙光，牧野俊晴，竹内大輔，山崎聡，“ダイヤモンド(001)pin 電子放出源における n 型接触抵抗の影響”，第 76 回応用物理学会秋季学術講演会，名古屋国際会議場，2015 年 9 月 15 日

桑原大輔（産総研），牧野俊晴，加藤宙光，竹内大輔，小倉政彦，大串秀世，山崎聡，“ダイヤモンドにおける励起子発光の温度依存性”，第 76 回応用物理学会秋季学術講演会，名古屋国際会議場，2015 年 9 月 15 日

竹内大輔（産総研），小泉聡，牧野俊晴，加藤宙光，小倉政彦，川島宏幸，桑原大輔，大串秀世，大橋弘通，山崎聡，“ダイヤモンド PIN ダイオード型 NEA 電子源を利用した真空スイッチ(IV)”，第 29 回ダイヤモンドシンポジウム，東京理科大，2015 年 11 月 19 日

Traore Aboulaye（産総研），中島昭，牧野俊晴，桑原大輔，加藤宙光，山崎聡，

“Reverse-Recovery in Diamond PIN diodes”,第 63 回応用物理学会春季学術講演会,東京工業大学,2016 年 3 月 20 日

【口頭発表・国際】

Daisuke Takeuchi(AIST), Toshiharu Makino, Hiromitsu Kato, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Electron emission from diamond p-i-n junction diode with heavily P-doped top layer”, Hasselt Diamond Workshop 2011 SBDD XVI, Hasselt, Belgium, 23/02/2011

Hiromitsu Kato(AIST), Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Satoshi Yamasaki, “Electrical properties of (001) PIN diode with selective grown n+ layer”, 5th International Conference on New Diamond and Nano Carbons 2011, Matsue JAPAN, 17/05/2011

Daisuke Takeuchi(AIST), Toshiharu Makino, Hiromitsu Kato, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Electron Emission Mechanism of Diamond p-i-n Junction Diode”, 5th International Conference on New Diamond and Nano Carbons 2011, Matsue JAPAN, 19/05/2011

Tsubasa Matsumoto(AIST), Hiromitsu Kato, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Electrical property of extremely low Ohmic contact of n-type single-crystal diamond”, 22nd European Conference on Diamond, Diamond-like Materials, Carbon Nanotubes and Nitrides, Germany, 05/09/2011

Hiromitsu Kato(AIST), Kazuhiro Oyama, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Satoshi Yamasaki, “Bipolar transistor device provided with phosphorus-doped n-type diamond base layer”, Diamond2011, Germany, 07/09/2011

Toshiharu Makino(AIST), Shoukichi Kanno, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Unique trapping and recombination processes of electron-hole pairs in diamond”, Diamond2011, Germany, 07/09/2011

Toshiharu Makino(AIST), Shoukichi Kanno, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Electron-hole recombination in diamond bipolar devices”, 早稲田ダイヤモンド国際ワークショップ, Waseda University, 25/01/2012

Hiromitsu Kato(AIST), Toshiharu Makino, Daisuke Takeuchi, Masahiko Ogura, Satoshi Yamasaki, “Fabrication of p-n-p bipolar junction transistor on (001)-oriented diamond”, Hasselt diamond workshop 2012 SBDDXVII, Hasselt Belgium, 15/03/2012

Yuto Hoshino(Tokyo Institute of University), Hiromitsu Kato, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Takayuki Iwasaki, Mutsuko Hatano, Satoshi Yamasaki, “Electrical properties of lateral p-n junction diode fabricated by selective growth of n+ diamond”, Hasselt diamond workshop 2012 SBDDXVII, Hasselt Belgium, 15/03/2012

Daisuke Takeuchi(AIST), Toshiharu Makino, Hiromitsu Kato, Hideyo Okushi, Hiromichi Ohashi, Satoshi Yamasaki, “Diamond p-i-n Diode Electron Emitter with Negative Electron Affinity for High-voltage DC Vacuum Switch”, NDNC2012, Puerto Rico, 22/05/2012

Norio Tokuda(Kanazawa University), Makoto Hukui, k.kojima, K. Komatsu, K. Funatsu, Toshiharu Makino, Daisuke Takeuchi, Satoshi Yamasaki, Takao Inokuma, “Graphene Formation by Graphitization of Atomically Flat Diamond (111)”, NDNC2012, Puerto Rico, 22/05/2012

Mariko Suzuki(TOSHIBA), Sakai Tadashi, Toshiharu Makino, Hiromitsu Kato, Daisuke Takeuchi, Masahiko Ogura, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “High electric-breakdown field of diamond-PiN diodes”, ICDCM2012 (International conference on diamond and carbon materials), Granada, Spain, 04/09/2012

Takayuki Iwasaki(Tokyo Institute of University), Yuto Hoshino, Kohei Tsuzuki, Hiromitsu Kato, Toshiharu Makino, Daisuke Takeuchi, Masahiko Ogura, Satoshi Yamasaki, Mutsuko Hatano, “Diamond Junction Field Effect Transistors with Selectively Grown n+ Gates”, ICDCM2012 (International conference on diamond and carbon materials), Granada, Spain, 04/09/2012

Toshiharu Makino(AIST), Daisuke Kuwabara, Hiromitsu Kato, Daisuke Takeuchi, Masahiko Ogura, Tsubasa Matsumoto, Satoshi Koizumi, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Increase of light extracting efficiency for diamond deep-UV LEDs”, ICDCM2012 (International conference on diamond and carbon materials), Granada, Spain, 05/09/2012

Daisuke Takeuchi(AIST), Toshiharu Makino, Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura, Satoshi Koizumi, Hideyo Okushi, Hiromichi Ohashi, Satoshi Yamasaki, “Power Gain Confirmation at 10kV Operation of Diamond Vacuum Switch using p-i-n Electron Emitter with Negative Electron Affinity”, ICDCM2012 (International conference on diamond and carbon materials), Granada, Spain, 05/09/2012

Norio Tokuda(Kanazawa University), Takuma Minamiyama, Masahiko Ogura, Satoshi Yamasaki, Takao Inokuma, “Formation of Boron Delta-Doped Diamond Structures by Lateral Growth of Diamond (111) Films”, ICDCM2012 (International conference on diamond and carbon materials), Granada, Spain, 05/09/2012

Daisuke Takeuchi(AIST), Satoshi Koizumi, Toshiharu Makino, Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura, Hideyo Okushi, Hiromichi Ohashi, Satoshi Yamasaki, “Vacuum Switch with Negative Electron Affinity of Diamond p-i-n Electron Emitter”, IDW/AD'12 (The 19th International Display Workshops in conjunction with Asia Display 2012), Kyoto, 07/12/2012

Daisuke Takeuchi(AIST), Satoshi Koizumi, Toshiharu Makino, Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura, Hideyo Okushi, Hiromichi Ohashi, Satoshi Yamasaki, “A 10kV Vacuum Switch with Negative Electron Affinity of Diamond p-i-n Electron Emitter”, San Francisco, America, 10/12/2012

T. Iwasaki(Tokyo Institute of University), Y. Hoshino, K. Tsuzuki, H. Kato, T. Makino, M. Ogura, D. Takeuchi, T. Matsumoto, H. Okushi, S.Yamasaki,and M. Hatano, “Diamond Semiconductor JFETs by Selectively Grown n+ - Diamond Side Gates for Next Generation Power Devices”, IEDM2012 (International electron device meeting), San Francisco,

America, 10/12/2012

Toshiharu Makino(AIST), Tsubasa Matsumoto, Daisuke Kuwabara, Hiromitsu Kato, Daisuke Takeuchi, Masahiko Ogura, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Carrier transport of diamond p+-i-n+ junction using hopping p+ and n+ layers”, Hasselt Diamond Workshop 2013 SBDD XVIII, Hasselt,Belgium, 28/02/2013

Mariko Suzuki(TOSHIBA), Sakai Tadashi, Toshiharu Makino, Hiromitsu Kato, Daisuke Takeuchi, Masahiko Ogura, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Electrical characterization of diamond PiN diodes for high voltage applications”, Hasselt Diamond Workshop 2013 SBDD XVIII, Hasselt, Belgium, 28/02/2013

Hiromitsu Kato(AIST), Marco Wolfer, Christoph Schreyvogel, Michael Kunzer, Wolfgang Müller-Sebert, Harald Obloh, Satoshi Yamasaki, “Charge-states modulation of nitrogen-vacancy centers in diamond PIN junction diodes”, New diamond and new carbon, Singapore, 22/05/2013

Satoshi Yamasaki(AIST), Toshiharu Makino, Daisuke Takeuchi, Masahiko Ogura, Hiromitsu Kato, Tsubasa Matsumoto, Takayuki Iwasaki, Mutsuko Hatano, Mariko Suzuki, Satoshi Koizumi, Hiromichi Ohashi, Hideyo Okushi, “Potential of Diamond Power Devices”, ISPSD2013, Kanazawa, Japan, 29/05/2013

Norio Tokuda(Kanazawa University), Shougo Kamiya, Toshiharu Makino, Daisuke Takeuchi, Satoshi Yamasaki, Takao Inokuma, “Atomically flat oxidized diamond (111) surfaces”, ICDCM2013, Riva del Galda, Italy, 02/09/2013

Takayuki Iwasaki(), Yuto Hoshino, Kouhei Tsuduki, Hiromitsu Kato, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Satoshi Yamasaki, Mutsuko Hatano, “Diamond Junction Field Effect Transistors with Selectively Grown n+ Gates”, ICDCM2013, Riva del Galda, Italy, 02/09/2013

Mariko Suzuki(TOSHIBA), Tadashi Sakai, Toshiharu Makino, Hiromitsu Kato, Daisuke Takeuchi, Masahiko Ogura, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Reverse characteristics of diamond PiN diodes”, 2013 JSAP-MRS Joint Symposia, Doshisha University, Japan, 19/09/2013

Takayuki Iwasaki(Tokyo Institute of University), Yuto Hoshino, Kouhei Tsuduki, Hiromitsu Kato, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, Mutsuko Hatano, “High temperature performance of diamond junction field effect transistors”, 2013 JSAP-MRS Joint Symposia, Doshisha University, Japan, 19/09/2013

Daisuke Kuwabara(AIST), Toshiharu Makino, Daisuke Takeuchi, Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Temperature dependence of deep ultraviolet emission for diamond light emitting diodes”, Conference on LED and its industrial application ’14, Yokohama, Japan, 22/04/2014

Tsubasa Matsumoto(AIST), Norio Tokuda, Hiromitsu Kato, Toshiharu Makino, Daisuke Takeuchi, Masahiko Ogura, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Interface property of

heavily phosphorus doped n-type diamond and graphite electrode”, The 15th IUMRS-International Conference in Asia, Fukuoka University, Japan, 25/08/2014

Junya Yaita(Tokyo Institute of University), Takayuki Iwasaki, M.Natal, S.E.Sadow, Mutsuko Hatano, ″Heteroepitaxial growth of diamond films on 3C-SiC (001)/Si substrates by antenna-edge microwave plasma CVD”, SSDM2014,Tsukuba International Congress Center, Tsukuba, Japan, 09/09/2014

Hiroyuki Kawashima(AIST), Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura, Mariko Suzuki, Toshiharu Makino, Daisuke Takeuchi, Satoshi Yamasaki, “Misorientation angle dependence of phosphorus doping on (001) oriented diamond”, ICDCM2014, Madrid, Spain, 10/09/2014

Hiroyuki Kawashima(AIST), Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura, Mariko Suzuki, Toshiharu Makino, Daisuke Takeuchi, Satoshi Yamasaki, “Misorientation angle dependence of phosphorus incorporation on (001) oriented substrate”, Japan-France CVD diamond power device workshop, Kyushu, Japan, 05/10/2014

Mutsuko Hatano(Tokyo Institute of University), ″Diamond Junction FETs for Next-generation Power Electronics″ Japan-France Joint Diamond Workshop 2014, Kyushu, Japan, 06/10/2014

Hiromitsu Kato(AIST), Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Satoshi Yamasaki, “Maskless selective phosphorus-doping technique on (001)-oriented diamond”, Japan-France CVD diamond power device workshop, Kyushu, Japan, 08/10/2014

Daisuke Kuwabara(AIST), Toshiharu Makino, Daisuke Takeuchi, Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Diamond light emitting diodes - Temperature dependence of exciton emission -”, Japan-France CVD diamond power device workshop, Kyushu, Japan, 09/10/2014

Toshiharu Makino(AIST), Hiromitsu Kato, Daisuke Takeuchi, Masahiko Ogura, Tsubasa Matsumoto, Daisuke Kuwabara, Misa Yoshida, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Diamond Schottky-pn diode for low-loss power electronics”, Japan-France CVD diamond power device workshop, Kyushu, Japan, 09/10/2014

Takayuki Iwasaki(Tokyo Institute of University), ″High Voltage Operation and Interface Structure of Diamond Lateral pn Devices″ Japan-France Joint Diamond Workshop 2014, Kyushu, Japan, 09/10/2014

Takayuki Iwasaki(Tokyo Institute of University), Junya Yaita, Kazuki Sato, Hiromitsu Kato, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Takashi Yatsui, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, Mutsuko Hatano, “High voltage characteristics and interface analysis of diamond lateral pn junction devices”, MRS2014 Fall Meeting, Boston, America, 01/12/2014

Junya Yaita(Tokyo Institute of University), Takayuki Iwasaki, Meralys Reyes-Natal, Stephen E. Saddow, Mutsuko Hatano, “Heteroepitaxial Growth of Highly-Oriented Diamond Films on Si(001) Substrates with 3C-SiC(001) Buffer Layers” 2014 MRS Fall Meeting & Exhibit, Hynes Convention Center in Boston , Boston, USA, 03/12/2014

Yasuyuki Suwa(Tokyo Institute of University), Takayuki Iwasaki, Kazuki Sato, Hiromitsu Kato, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Satoshi Yamasaki, Mutsuko Hatano, “Normally-Off Operation of Diamond Junction FETs”, Hasselt Diamond Workshop2015 (SBDD XX), Hasselt, Belgium, 25/02/2015

Kazuya Shirota(AIST), Daisuke Takeuchi, Hiromitsu Kato, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Satoshi Yamasaki, “Evaluation of potential profile of a diamond lateral p-n junction diode by Kelvin probe force microscopy(KPFM)”, Hasselt Diamond Workshop2015 (SBDD XX), Hasselt, Belgium, 26/02/2015

Takayuki Iwasaki(Tokyo Institute of University), Hiromitsu Kato, J. Yaita, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, Mutsuko Hatano, “Minority Carrier Injection in Diamond Power JFETs for On-Current Improvement”, Hasselt Diamond Workshop2015 (SBDD XX), Hasselt, Belgium, 26/02/2015

Takayuki Iwasaki(Tokyo Institute of University), ″Diamond Junction Field-Effect Transistors and Heteroepitaxial Growth Toward Large-Size Wafer”, CMOSETR 2015, Vancouver, Canada, 22/05/2015

Takayuki Iwasaki(Tokyo Institute of University), Hiromitsu Kato, Junya Yaita, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, Mutsuko Hatano, “Current Enhancement by Conductivity Modulation in Diamond JFETs for Next Generation Low-Loss Power Devices”, The 27th International Symposium on Power Semiconductor Devices and ICs, Kowloon Shangri-La, Hong Kong, 12/05/2015

Hiromitsu Kato(AIST), Daisuke Takeuchi, Masahiko Ogura, Takatoshi Yamada, Mitsuhiro Kataoka, Yuji Kimura, Susumu Sohue, Christoph Nebel, Satoshi Yamasaki, “Heavily phosphorus-doped nanocrystalline diamond electrode for thermionic emission application”, New diamond and new carbon 2015, Shizuoka, Japan, 27/05/2015

Mutsuko Hatano(Tokyo Institute of University), “JFET devices???” OMNT International Symposium on Diamond, Institut Neel(Grenoble), France, 06/07/2015

K. Tahara(Tokyo Institute of University), H.Ozawa, T.Iwasaki, M.Hatano, “Selctive alignment of ensemble nitrogen-vacancy centres in CVD-grown (111) diamond” International Diamond and Conference on Carbon Materials, Bad Homburg, Germany), 10/09/2015

W.Naruki(Tokyo Institute of University), K.Tahara, T.Iwasaki, H.Kato, T.Makino, M.Ogura, D.Takeuchi, S.Yamasaki, M.Hatano, “Fabrication of Nitrogen-vacancy Centers in Diamond Power Devices for Electric-Field Sensing” SSDM2015, Sapporo Convention Center, Japan, 28/09/2015

Daisuke Takeuchi(AIST), Hiroyuki Kawashima, Daisuke Kuwabara, Satoshi Koizumi, Toshiharu Makino, Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura, Hiromichi Ohashi, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Progress of Diamond PIN Diode Emitter with Negative Electron Affinity for High Voltage DC
Vacuum Switch”, ICEPE2015, Busan, Korea, 26/10/2015

【ポスター発表・国内】
竹内大輔（産総研），牧野俊晴，小倉政彦，加藤宙光，徳田規夫，小山和博，松本翼，大串秀世，山崎聡，“ダイヤモンド p-i-n 接合ダイオードからの電子放出（II)”，第 19 回シリコンカーバイド(SiC)及び関連ワイドギャップ半導体研究会，つくば国際会議場，2010 年 10 月 21 日

増澤智昭（国際基督教大学），工藤唯義，Y. Sato，斉藤市太郎，山田貴壽，A.T.T.Koh，D. H. C. Chua，吉野輝雄，田旺帝，山崎聡，岡野健，“窒素添加ダイヤモンドからの電子放出特性と C-N 結合濃度との相関”，ダイヤモンドシンポジウム，東京工業大学，2010 年 11 月 18 日

竹内大輔（産総研），牧野俊晴，加藤宙光，大串秀世，山崎聡，“高濃度 P ドープ層を最上層としたダイヤモンド p-i-n 接合ダイオードからの電子放出(2)”，第 72 回応用物理学会学術講演会，山形大学，2011 年 8 月 30 日

松本翼（産総研），加藤宙光，大串秀世，山崎聡，“単結晶 n 型ダイヤモンドにおけるオーミック接触の電気的特性”，第 72 回応用物理学会学術講演会，山形大学，2011 年 8 月 30 日

牧野俊晴（産総研），加藤宙光，徳田規夫，竹内大輔，小倉政彦，小山和博，松本翼，谷本智，大串秀世，山崎聡，“ダイヤモンド Schottky-pn ダイオードの高耐圧化のためのデバイスデザイン”，第 72 回応用物理学会学術講演会，山形大学，2011 年 8 月 30 日

牧野俊晴（産総研），菅野正吉，大串秀世，山崎聡，“ダイヤモンド中の電子・正孔対の捕獲・再結合過程”，第 25 回ダイヤモンドシンポジウム，産業技術総合研究所（つくば），2011 年 12 月 7 日

小泉聡（物材研），牧野俊晴，山崎聡，“{111} リンドープダイヤモンド薄膜のドーピング効率”，第２６回ダイヤモンドシンポジウム，青山学院大学，2012 年 11 月 20 日

祖父江進（デンソー），片岡光浩，木村祐二，奥野英一，山崎聡，竹内大輔，加藤宙光，“ダイヤモンドエミッタを用いた熱電子発電の温度差依存性”，第十回日本熱電学会学術講演会，名古屋大学豊田講堂（東山キャンパス），2013 年 9 月 8 日

牧野俊晴（産総研），竹内大輔，加藤宙光，小倉政彦，桑原大輔，花田尊徳，吉武剛，大串秀世，山崎聡，“ホッピング伝導を用いたダイヤモンド p+-i-n+ 接合のキャリア輸送特性”，第 27 回ダイヤモンドシンポジウム，日本工業大学，2013 年 11 月 20 日

上田諒浩（金沢大学），宮田大輔，徳田規夫，井村将隆，小出康夫，小倉政彦，山崎聡，猪熊孝夫、“ウェットアニールダイヤモンド(111)上 ALD-Al_2O_3 膜を用いた MOS キャパシタの電気的特性”、第 75 回応用物理学会秋季講演会、北海道大学、2014 年 9 月 19 日

中西一浩（金沢大学），南山拓真，宮田大輔，辻裕司，徳田規夫，小倉政彦，山崎聡，森本章治，川江健，猪熊孝夫、“ポストウェットアニール処理を用いたダイヤモンド MESFET の作製”、第 75 回応用物理学会秋季講演会、北海道大学、2014 年 9 月 19 日

長南幸直（金沢大学），徳田規夫，小倉政彦，牧野俊晴，山崎聡，猪熊孝夫、“グラフェン・オン・ダイヤモンドにおけるダイヤモンド(111)表面の水素終端化”、第 75 回応用物理学

会秋季講演会、北海道大学、2014 年 9 月 19 日

宮田大輔（金沢大学），南山拓真，徳田規夫，竹内大輔，山崎聡，猪熊孝夫、“ウェットアニール処理による(100)ダイヤモンドの表面ラフネス評価”、第 75 回応用物理学会秋季講演会、北海道大学、2014 年 9 月 19 日

向瀬貴樹（金沢大学），金田大輝，渡邊俊介，森本隆介，徳田規夫，山崎聡，猪熊孝夫、“半絶縁性 CVD ダイヤモンド(111)膜の電気的特性”、第 75 回応用物理学会秋季講演会、北海道大学、2014 年 9 月 19 日

黒島裕貴（金沢大学），徳田規夫，牧野俊晴，山崎聡，猪熊孝夫、“水素プラズマ処理による原子的に平坦なダイヤモンド(111)表面の選択的形成”、第 75 回応用物理学会秋季講演会、北海道大学、2014 年 9 月 19 日

金田大輝（金沢大学），渡邊俊介，徳田規夫，小倉政彦，加藤宙光，梅沢仁，山崎聡，有屋田修，猪熊孝夫、“球型共振器構造 MPCVD を用いたホウ素ドープダイヤモンド(100)膜のホモエピタキシャル高速成長”、第 75 回応用物理学会秋季講演会、北海道大学、2014 年 9 月 19 日

白田和也（産総研），竹内大輔，加藤宙光，牧野俊晴，小倉政彦，山崎聡，“ケルビンプローブフォース顕微鏡によるダイヤモンド半導体電位分布の評価”，第 28 回ダイヤモンドシンポジウム，東京電機大学，2014 年 11 月 19 日

山本卓（物材研），大谷亮太，小泉聡，“{111}リンドープ薄膜のリン取り込み効率Ⅲ”，第 28 回ダイヤモンドシンポジウム、東京電機大学、2014 年 11 月 19 日

宮田大輔（金沢大学），南山拓真，徳田規夫，竹内大輔，山崎聡，猪熊孝夫、“ウェットアニール処理によるダイヤモンド表面形態と表面伝導層の評価”、第 28 回ダイヤモンドシンポジウム、東京電機大学、2014 年 11 月 19 日

黒島裕貴（金沢大学），徳田規夫，牧野俊晴，山崎聡，猪熊孝夫、“異方性エッチングによる原子的平坦なダイヤモンド(111)表面の形成”、第 28 回ダイヤモンドシンポジウム、東京電機大学、2014 年 11 月 19 日

金田大輝（金沢大学），渡邊俊介，徳田規夫，小倉政彦，加藤宙光，梅沢仁，山崎聡，有屋田修,猪熊孝夫,“球型共振器構造 MPCVD によるホウ素ドープダイヤモンド膜の高速成長”、第 28 回ダイヤモンドシンポジウム、東京電機大学、2014 年 11 月 19 日

上田諒浩（金沢大学），宮田大輔，徳田規夫，井村将隆，小出康夫，松本翼，小倉政彦，山崎聡，猪熊孝夫、“酸素終端ダイヤモンド(111)表面上 ALD-AL_2O_3 膜を用いた p 型ダイヤモンド MOS キャパシタの電気的特性”、第 28 回ダイヤモンドシンポジウム、東京電機大学、2014 年 11 月 19 日

中西一浩（金沢大学），南山拓真，宮田大輔，辻裕司，徳田規夫，小倉政彦，山崎聡，森本章治，川江健，猪熊孝夫、“ウェットアニール処理によるダイヤモンド MESFET の作製”、第 28 回ダイヤモンドシンポジウム、東京電機大学、2014 年 11 月 19 日

南山拓真（金沢大学），宮田大輔，長南幸直，徳田規夫，小倉政彦，竹内大輔，山崎聡，猪熊孝夫、“ポストウェットアニールによる酸素終端ダイヤモンド(111)表面上のオーミック

接触の形成”、第 28 回ダイヤモンドシンポジウム、東京電機大学、2014 年 11 月 19 日

向瀬貴樹（金沢大学)，金田大輝，渡邊俊介，馬場一気，徳田規夫，山崎聡，猪熊孝夫、“半絶縁性ダイヤモンド膜の電気的特性”、第 28 回ダイヤモンドシンポジウム、東京電機大学、2014 年 11 月 19 日

小倉政彦（産総研)，牧野俊晴，竹内大輔，大串秀世，山崎聡，“ダイヤモンドのｐ／ｐ＋接合の特性”，第 28 回ダイヤモンドシンポジウム，東京電機大学，2014 年 11 月 19 日

根崎基信（大阪府立大学)，中田洸樹，岡本尚樹，齊藤丈靖，近藤和夫、山崎聡，大串秀世、“パルス DC プラズマ CVD 法によるダイヤモンド製膜速度比（[100]/[111])の制御”、第 28 回ダイヤモンドシンポジウム、東京、2014 年 11 月 20 日

松本翼（産総研)，山崎聡，大串秀世，加藤宙光，小倉政彦，牧野俊晴，竹内大輔，“炭素で創る低炭素社会の実現～ダイヤモンド半導体パワーデバイス～”，ＳＡＴテクノロジー・ショーケース ２０１５，つくば国際会議場，2015 年 1 月 21 日

桑原大輔（産総研)，山崎聡，“超低損失パワーデバイス実現のための基盤構築に関する研究”，ＳＡＴテクノロジー・ショーケース ２０１５，つくば国際会議場，2015 年 1 月 21 日

鈴木聡一郎（大阪府立大学)，根崎基信，岡本尚樹，齊藤丈靖，近藤和夫，松本翼，牧野俊晴，小倉政彦，加藤宙光，竹内大輔，山崎聡，大串秀世、“EB 蒸着法により p 型ダイヤモンド上に形成した TiCN/Pt/Au 電極の TLM 評価”、化学工学会 80 年会、東京、2015 年 3 月 20 日

湯川光（大阪府立大学)，根崎基信，中田洸樹，岡本尚樹，齊藤丈靖，近藤和夫，山崎聡，大串秀世、“DC プラズマ CVD 法によるダイヤモンド成長速度比([100]/[111])と析出形態の制御”、化学工学会 80 年会、東京、2015 年 3 月 20 日

【ポスター発表・国際】

Toshiharu Makino(AIST), Hiromitsu Kato, Norio Tokuda, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Kazuhiro Oyama, Tsubasa Matsumoto, Satoshi Koizumi, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Device Design for Diamond Schottky-pn Diode with High Blocking Voltage”, NDNC2011, Shimane, JAPAN, 17/05/2011

Y. Harashima(Shibaura Institute of Technology), T. Kaneko, H. Nishikawa, Hiromitsu Kato, Satoshi Yamasaki, “Surface Modifications and Micromachining of Diamond by Proton Beam Writing”, 6th Biennial International Conference on Materials for Advanced Technologies, Suntec Singapore, 26/06/2011

Tsubasa Matsumoto(AIST), Hiromitsu Kato, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Electrical junction property of metal/heavily phosphorus doped n+-type diamond”, 2011 Tsukuba Nanotechnology Symposium, University of Tsukuba, 16/12/2011

Tsubasa Matsumoto(AIST), Hiromitsu Kato, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Carrier transport mechanism of metal/n-type diamond with hopping conduction”, The Eighth International Nanotechnology Conference on Communication and Cooperation, AIST(Tsukuba) JAPAN,

08/05/2012

Tsubasa Matsumoto(AIST), Hiromitsu Kato, Hideyo Okushi, Satoshi Yamsaki, “Carrier transport of low resistive heavily-impurity-doped diamond”, 2012 Tsukuba Nanotechnology Symposium, University of Tsukuba, 27/07/2012

Tsubasa Matsumoto(AIST), Kazuya Shirota, Masahiko Ogura, Toshiharu Makino, Hiromitsu Kato, Daisuke Takeuchi, Norio Tokuda, Hideyo Okushi, Satoshi Yamsaki, “Improvement of junction property for metal/n-type diamond (111) layer using graphene formation”, Hasselt Diamond Workshop 2013 SBDD XVⅢ, Hasselt Belgium, 27/02/2013

Hiromitsu Kato(AIST), Jan Jakob Hees, Marco Wolfer, Rene Hoffman, Nianjun Yang, Satoshi Yamasaki, Christoph Nebel, “Formation of diamond foam electrodes based on heavily boron-doped nano-crystalline diamond”, New diamond and new carbon 2013, Singapore, 21/05/2013

Takuma Minamiyama(Kanazawa University), Norio Tokuda, Masahiko Ogura, Satoshi Yamasaki, and Takao Inokuma、Boron Delta-doped Diamond Structures、 The 4th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO 2013), Kanazawa, Japan, 18/06/2013

Tatsuma Chonan(Kanazawa University), Norio Tokuda, Masahiko Ogura, Satoshi Yamasaki, and Takao Inokuma、Hydrogen-terminated Diamond (111) Surface by Hydrogen Annealing、The 4th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO 2013), Kanazawa, Japan, 19/06/ 2013

Tsubasa Matsumoto(AIST), Kazuya Shirota, Hiromitsu Kato, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Reduction of contact resistance for Ti/phosphorus-doped n-type diamond interface”, 2013 Tsukuba Nanotechnology Symposium, Tsukuba, Japana, 26/07/2013

Toshiharu Makino(AIST), Hiromitsu Kato, Daisuke Takeuchi, Masahiko Ogura, Tsubasa Matsumoto, Daisuke Kuwabara, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “n-Layer thickness dependence of electrical properties for diamond Schottky-pn diode”, Riva del Galda, Italy, 02/09/2013

Tsubasa Matsumoto(AIST), Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura, Toshiharu Makino, Daisuke Takeuchi, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Electrical properties of homoepitaxial diamond films with heavily phosphorus doping”, 2013 JSAP-MRS Joint Symposia, Doshisha University, Japan, 18/09/2013

Masahiko Ogura(AIST), Toshiharu Makino, Daisuke Takeuchi, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Characteristics of p/p+ interface in diamond”, 2013 JSAP-MRS Joint Symposia, Doshisha University, Japan, 18/09/2013

Kazuki Sato(Tokyo Institute of Technology), Takayuki Iwasaki, Yuto Hoshino, Hiromitsu Kato, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Satoshi Yamasaki, Shinichi Nakamura, Kimiyoshi Ichikawa, Atsuhito Sawabe, Mutsuko Hatano, “Analysis of selective growth of n-type diamond in lateral pn junction diodes by cross-sectional transmission electron microscopy”, 2013 JSAP-MRS Joint Symposia, Doshisha University, Japan,

18/09/2013

Daisuke Kuwabara(AIST), Toshiharu Makino, Daisuke Takeuchi, Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Unique temperature dependence of deep ultraviolet emission intensity for diamond light emitting diode”, 2013 JSAP-MRS Joint Symposia, Doshisha University, Japan, 18/09/2013

T. Chonan(Kanazawa University), N. Tokuda, M. Ogura, S. Yamasaki and T. Inokuma、Hydrogen termination of diamond surfaces、Interfaces and Nanostructures (ACSIN-12), Tsukuba, Japan, 05/11/2013

T. Minamiyama(Kanazawa University), N. Tokuda, M. Ogura, S. Yamasaki and T. Inokuma、Electrical characteristics of boron delta-doped diamond (111) structures、 12th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (ACSIN-12), Tsukuba, Japan, 05/11/2013

T. Iwasaki(Tokyo Institute of Technology), J. Yaita, M. Natal, S. E. Saddow, M. Hatano, “Heteroepitaxial nucleation of diamond on 3C-SiC(001) thin films by antenna-edge microwave plasma CVD”, SBDD XIX Hasselt meeting, Hasselt, Belgium, 19/02/2014

R. Ohtani(NIMS), T. Yamamoto1, S. Yamasaki, S. Koizumi1, “Phosphorus doping efficiency in n-type CVD diamond thin films”, SBDD XIX Hasselt meeting, Hasselt, Belgium, 19/02/2014

Toshiharu Makino(AIST), Tsubasa Matsumoto, Daisuke Kuwabara, Hiromitsu Kato, Daisuke Takeuchi, “”Masahiko Ogura, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Static- and dynamic-electrical properties for diamond Schottky-pn diode”, SBDD XIX Hasselt meeting, Hasselt, Belgium, 20/02/2014

Mariko Suzuki(TOSHIBA), Tadashi Sakai, Toshiharu Makino, Hiromitsu Kato, Daisuke Takeuchi, Masahiko Ogura, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Electrical characteristics of 5 kV diamond PiN diodes”, SBDD XIX Hasselt meeting, Hasselt, Belgium, 20/02/2014

Toshiharu Makino(AIST), Daisuke Kuwabara, Hiromitsu Kato, Daisuke Takeuchi, Masahiko Ogura, Hideyi Okushi, Satoshi Yamasaki, “Electrical properties of diamond p+-i-n+ junction using hopping p+ and n+ layers”, Hasselt Diamond Workshop2015 (SBDD XX), Hasselt, Belgium, 25/02/2015

Kazuki Sato(Tokyo Institute of Technology), Takayuki Iwasaki, Maki Shimizu, Hiromitsu Kato, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, S. Nakamura, A. Sawabe, Satoshi Yamasaki, Mutsuko Hatano, “Fabrication of diamond lateral pn junctions on (111) substrates”, Hasselt Diamond Workshop2015 (SBDD XX), Hasselt, Belgium, 25/02/2015

Hiroyuki Kawashima(AIST), Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura, Toshiharu Makino, Daisuke Takeuchi, Satoshi Yamasaki, “The reason why the phosphorus doping in diamond is difficult”, Hasselt Diamond Workshop2015 (SBDD XX), Hasselt, Belgium, 25/02/2015

T. Yamamoto(NIMS) and S. Koizumi, “Homoepitaxial phosphorus-doped diamond films on {111} substrates with different misorientation angles”, Hasselt Diamond Workshop 2015, Hasselt, Belgium, 25/02/2015

Daisuke Takeuchi(AIST), Satoshi Koizumi, Hiroyuki Kawashima, Daisuke Kuwabara, Toshiharu Makino, Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura, Hiromichi Ohashi, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “4 A/cm2, 7kV normally-off diamond-emitter vacuum switch”, ISPSD2015, Hong Kong, 12/05/2015

Junya Yaita(Tokyo Institute of Technology), Takayuki Iwasaki, Meralys Reyes-Natal, Stephen E. Saddow, Mutsuko Hatano,”Improvement of the nucleation density and orientation of diamond nuclei on 3C-SiC/Si Substrates by using high-power density plasma, 9th International Conference on New Diamond and Nano Carbons 2015, Shizuoka, Japan, 26/05/2015

H. Kuroshima(Kanazawa University), N. Tokuda, T. Makino, S. Yamasaki, T. Inokuma, Formation of atomically flat diamond (111) surface by hydrogen plasma treatment, The 5th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO 2015), Niigata, Japan, 17/06/2015

S. Ito(Kanazawa University), S. Watanabe, D. Kaneta, N. Tokuda, T. Inokuma, Growth of Diamond Films on Nickel Substrates by Microwave Plasma-Enhanced CVD, The 5th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO 2015), Niigata, Japan, 17/06/2015

I. Baba(Kanazawa University), S. Watanabe, T. Makino, M. Ogura, S. Yamasaki, N. Tokuda, T. Inokuma, Surface roughening of homoepitaxial diamond (111) films by oxygen addition, The 5th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO 2015), Niigata, Japan, 17/06/2015

K. Nakanishi(Kanazawa University), D. Miyata, N. Tokuda, T. Inokuma, Diamond Etching by Solid Solution Reaction of Carbon to Nickel, The 5th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO 2015), Niigata, Japan, 17/06/2015

S. Ito(Kanazawa University), S. Watanabe, D. Kaneta, N. Tokuda, T. Inokuma, Self-separation of freestanding diamond films from Ni substrates by MPCVD, International Conference on Diamond and Carbon Materials 2015, Bad Homburg, Germany, 09/09/2015

H. Kuroshima(Kanazawa University), N. Tokuda, T. Makino, S. Yamasaki, T. Inokuma, Mechanism of anisotropic etching of diamond (111) surfaces by hydrogen plasma treatment, International Conference on Diamond and Carbon Materials 2015, Bad Homburg, Germany, 09/09/2015

S. Suzuki(Osaka Pref. Univ.), M. Nezaki, C. Tanaka, N. Okamoto, T. Saito, K. Kondo, T. Matsumoto, T. Makino, M. Ogura, H. Kato, D. Takeuchi, S. Yamasaki, and H. Okushi, “Thermal stability of titanium carbide/nitride wiring resistance for p-type diamond contact material”, ADMETA plus 2015, Seoul, 17/09/2015

T.Suto(Tokyo Institute of Technology), J.Yaita, T.Iwasaki, M.Natal, S.E.Saddow, M.Hatano, “Heteroepitaxial Growth of Diamond on 3C-SiC/Si Substrates by Antenna-Edge Microwave Plasma CVD” SSDM2015, Sapporo,

(4)知財出願

① 国内出願（10 件）

1. “ダイヤモンドの表面処理方法”, 徳田規夫, 猪熊孝夫, 福井真, 神谷昇吾, 山崎聡, 竹内大輔, 牧野俊晴, 国立大学法人金沢大学, 独立行政法人産業技術総合研究所, 2012 年 2 月 16 日出願, 特願 2012-032198
2. “ダイヤモンド半導体装置及びその製造方法”, 加藤宙光, 牧野俊晴, 小倉政彦, 山崎聡, 独立行政法人産業技術総合研究所, 2012 年 8 月 17 日出願, 特願 2012-180956
3. “単結晶ダイヤモンドの製造方法”, 野口仁, 竹内大輔, 山崎聡, 小倉政彦, 加藤宙光, 牧野俊晴, 大串秀世, 信越化学工業株式会社, 国立研究開発法人産業技術総合研究所, 2013 年 09 月 19 出願, 特願 2013-194539
4. “ダイヤモンド半導体装置及びその製造方法”, 加藤宙光, 牧野俊晴, 小倉政彦, 大串秀世, 山崎聡, 独立行政法人産業技術総合研究所, 2013 年 7 月 5 日出願, 特願 2013-141218
5. “ダイヤモンド半導体装置及びその製造方法”, 松本翼, 加藤宙光, 牧野俊晴, 竹内大輔, 小倉政彦, 山崎聡, 国立研究開発法人産業技術総合研究所, 国立大学法人金沢大学, 2013 年 12 月 12 日出願, 特願 2013-257402
6. “半導体装置”, 徳田規夫, 猪熊孝夫, 南山拓真, 加藤宙光, 牧野俊晴, 小倉政彦, 竹内大輔, 山崎聡, 小山和博, 国立大学法人金沢大学, 国立研究開発法人産業技術総合研究所, 株式会社デンソー, 2013 年 11 月 29 日出願, 特願 2013-248166
7. “白色発光素子”, 牧野俊晴, 山崎聡, 大串秀世, 小倉政彦, 加藤宙光, 竹内大輔, 国立研究開発法人産業技術総合研究所, 2014 年 3 月 17 日出願, 特願 2015-505615
8. “ダイヤモンド半導体装置及びその製造方法”, 加藤宙光, 牧野俊晴, 小倉政彦, 大串秀世, 山崎聡, 国立研究開発法人産業技術総合研究所, 2014 年 9 月 9 日出願, 特願 2014-183208
9. “単結晶ダイヤモンドの製造方法”, 野口仁, 竹内大輔, 山崎聡, 小倉政彦, 加藤宙光, 牧野俊晴, 大串秀世, 信越化学工業株式会社, 国立研究開発法人産業技術総合研究所, 2014 年 9 月 16 日出願, 14003205.3
10. “ダイヤモンド電子素子及びダイヤモンド電子素子の製造方法”, 川島宏幸, 牧野俊晴, 加藤宙光, 小倉政彦, 山崎聡, 竹内大輔, 松本翼, 野口仁, 白井省三, 国立研究開発法人産業技術総合研究所, 信越化学工業株式会社, 2015 年 7 月 30 日, 特願 2015-150500

② 外国出願（9 件）

1. “リン原子がドープされた n 型(100)面方位ダイヤモンド半導体単結晶膜及びその製造方法”, 加藤宙光, 山崎聡, 大串秀世, 鹿田真一, 独立行政法人産業技術総合研究所, 2012 年 1 月 5 日出願, 13/344104, アメリカ
2. “ダイヤモンド半導体装置及びその製造方法”, 加藤宙光, 牧野俊晴, 小倉政彦, 竹内大輔, 山崎聡, 波多野睦子, 岩崎孝之, 独立行政法人産業技術総合研究所, 2013 年 8 月 8 日出願, 13879581.0(EPO)

“ダイヤモンド半導体装置及びその製造方法”, 加藤宙光, 牧野俊晴, 小倉政彦, 竹内大輔, 山崎聡, 波多野睦子, 岩崎孝之, 独立行政法人産業技術総合研究所, 2013 年 8 月 8 日出願, 201380042569.8(中国)

“ダイヤモンド半導体装置及びその製造方法”, 加藤宙光, 牧野俊晴, 小倉政彦, 竹内大輔, 山崎聡, 波多野睦子, 岩崎孝之, 独立行政法人産業技術総合研究所, 2013 年 8 月 8 日出願, 14/422134(米国)

“ダイヤモンド半導体装置及びその製造方法”, 加藤宙光, 牧野俊晴, 小倉政彦, 竹内大輔, 山崎聡, 波多野睦子, 岩崎孝之, 独立行政法人産業技術総合研究所, 2013 年 8 月 16 日出願, 102129536(台湾)

3. “白色発光素子”, 牧野俊晴, 山崎聡, 大串秀世, 小倉政彦, 加藤宙光, 竹内大輔, 国立研究開発法人産業技術総合研究所, 2014 年 3 月 17 日出願, PCT/JP2014/057209

   “白色発光素子”, 牧野俊晴, 山崎聡, 大串秀世, 小倉政彦, 加藤宙光, 竹内大輔, 2014 年 3 月 17 日出願, 出願番号無(米国)
4. 4.“単結晶ダイヤモンドの製造方法”, 野口仁, 竹内大輔, 山崎聡, 小倉政彦, 加藤宙光, 牧野俊晴, 大串秀世, 信越化学工業株式会社, 国立研究開発法人産業技術総合研究所, 2014 年 7 月 15 日出願, 10-2014-0089123
5. “単結晶ダイヤモンドの製造方法”, 野口仁, 竹内大輔, 山崎聡, 小倉政彦, 加藤宙光, 牧野俊晴, 大串秀世, 信越化学工業株式会社, 国立研究開発法人産業技術総合研究所, 2014 年 9 月 16 日出願, 14003205.3(EPO)
6. “単結晶ダイヤモンドの製造方法”, 野口仁, 竹内大輔, 山崎聡, 小倉政彦, 加藤宙光, 牧野俊晴, 大串秀世, 信越化学工業株式会社, 国立研究開発法人産業技術総合研究所, 2014 年 9 月 17 日出願, 14/488629(米国)
7. 7.“半導体装置”, 加藤宙光, 牧野俊晴, 小倉政彦, 竹内大輔, 山崎聡, 小山和博, 徳田規夫, 猪熊孝夫, 南山拓真, 国立研究開発法人産業技術総合研究所, 株式会社デンソー, 2014 年 11 月 25 日出願, PCT/JP2014/005875
8. “単結晶ダイヤモンドの製造方法”, 野口仁, 竹内大輔, 山崎聡, 小倉政彦, 加藤宙光, 牧野俊晴, 大串秀世, 信越化学工業株式会社, 国立研究開発法人産業技術総合研究所, 2014 年 9 月 18 日出願, 103132185(台湾)
9. “単結晶ダイヤモンドの製造方法”, 野口仁, 竹内大輔, 山崎聡, 小倉政彦, 加藤宙光, 牧野俊晴, 大串秀世, 信越化学工業株式会社, 国立研究開発法人産業技術総合研究所, 2014 年 9 月 18 日出願, 20140478813.1(中国)

③ その他の知的財産権

なし

(5)受賞・報道等

① 受賞

山崎聡，“IV 族半導体薄膜の構造評価とデバイス応用”，応用物理学会フェロー表彰，公益社団法人　応用物理学会，2011 年 8 月 30 日

応用物理学会論文賞（応用物理学会解説論文賞）
受賞者：山崎聡
受賞対象論文：新しい半導体ーダイヤモンドーのキャリヤ制御とデバイス応用
応用物理 第83巻 第 11 号（2014）pp912-916

② マスコミ（新聞・TV等）報道

“省エネ技術の未来に貢献するダイヤモンド電力変換器-ダイヤモンドバイポーラトランジスタの増幅動作に成功”2011 年 9 月 2 日
ダイヤモンド半導体による電力の増幅作用を持つバイポーラトランジスタの作製に成功した。この成功は省エネルギー・二酸化炭素排出抑制のための次世代パワーデバイスの開発に道筋をつけるものである。本成果はドイツで開催される第２２回ダイヤモンド欧州会議で発表された。

“ダイヤモンド半導体による接合型電界効果トランジスタの動作に世界で初めて成功”2012 年 8 月 23 日
ＪＳＴ 課題達成型基礎研究の一環として、東京工業大学の波多野睦子教授、岩崎孝之助教と産業技術総合研究所の山崎聡主幹研究員、加藤宙光研究員らのグループは、ダイヤモンド半導体を用いて接合型電界効果トランジスタを作製し、動作させることに世界で初めて成功した。

③その他

(6)成果展開事例

①実用化に向けての展開

企業との共同研究
本プロジェクトではダイヤモンド半導体の実用化を目指し、企業への技術移転を重要なものと捉えている。
発足当初より、東芝（株）研究員の産総研外来研究者としての参加を得、また、平成26年度より、デンソー（株）がプロジェクトの正式メンバーとして加わった。
また、実用化にとって重要な基板開発として、産総研は、並行して信越化学工業（株）と共同研究を進め、シリコン上ヘテロ成長ダイヤモンド基板を用いた良好な特性を持つダイオードの開発という成果に結びつけた。この成果は、企業にとっての大きなモーティブフォースとなり、現在共

同研究へ向けた話し合いを進めている。

他プロジェクトへの展開
本プロジェクトではダイヤモンドデバイス開発のために、成膜技術やダイヤモンド作製技術を進めてきた。その成果は本プロジェクトの大きな推進力となるとともに、成膜装置開発プロジェクトや他のダイヤモンドデバイスプロジェクトへ発展した。

ダイヤモンド成膜装置開発プロジェクトへの発展
平成25年度 A-STEP（ハイリスク挑戦タイプ）において、アリオス（株）と金沢大学及び産業技術総合研究所が共同で「半導体ダイヤモンドの開発」のテーマで採択され成膜装置開発を進めている。

ダイヤモンド熱電子発電プロジェクトへの展開
平成25年度 A-STEP（ハイリスク挑戦タイプ）
デンソー（株）、産総研
車載に向けたダイヤモンド薄膜を使った熱電子発電素子の開発

ダイヤモンド量子デバイスへの展開
総務省　戦略的情報通信研究開発推進事業（SCOPE）
平成 25 年度の新規採択課題
ICT イノベーション創出型研究開発
フェーズ I から現在フェーズ II へ移行
ダイヤモンドを用いた次世代量子暗号用素子の基盤技術開発研究
（大阪大学、産総研）

②社会還元的な展開活動

なし

§５ 研究期間中の活動

５．１　主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2012 年 1 月 25 日	ダイヤモンド国際ワークショップ	、早稲田大学理工キャンパス	40名	
2013 年 6 月 19 日～21 日	1st French-Japanese Workshop ″Diamond power devices″	Grenoble and Chamonix France	35名	
2014 年 10 月 6 日～10 日	第二回日仏 CVD ダイヤモンドパワーデバイス研究会	九大西新プラザ（福岡)・九大山の家(大分)	54名	
2015 年 7 月 7 日～10 日	3rd French-Japanese Workshop on Diamond Power > Devices	Grenoble ・ Nimes France	42名	