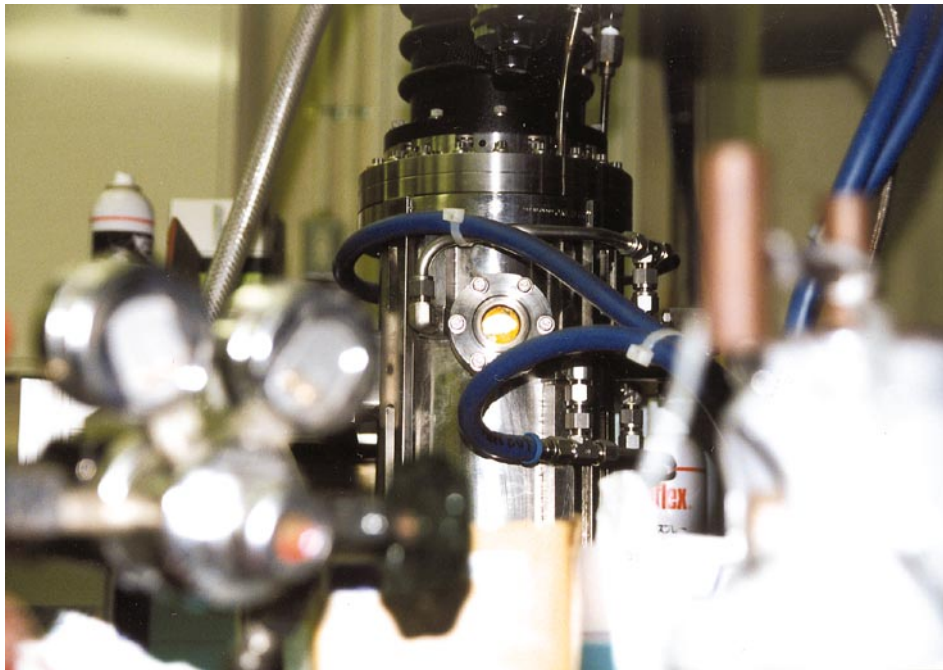


Fundamentals and Applications of Photofunctional Interfaces using Diamond Film.

ダイヤモンド薄膜を用いる 光機能界面の基礎と応用

プロジェクトリーダー 藤 嶋 昭

東京大学 大学院工学系研究科 教授



1. 研究の目的

宝石として良く知られているダイヤモンドは、様々な新規機能の可能性を秘めています。それはダイヤモンドが非常に硬い材料ということとともに、高い熱伝導性・化学的安定性など他にはない優れた物性を有する材料だからです。また、ダイヤモンドの結晶構造が現在の電子産業を支えている半導体材料の基礎となるシリコンの結晶構造ときわめて類似することから、様々な素子やデバイスとしての可能性が考えられています。

天然ダイヤモンドは約 10^{13} M Ω 以上の抵抗率を示す良好な絶縁体ですが、合成する際に不純物としてホウ素を注入することにより、p型半導体として用いることができます。しかも注入量によって半導体から導電体まで変化できます。したがって、ダイヤモンドを電気化学または光電気化学の分野において、既存のsp²炭素材料に次ぐ新規の炭素電極材料として用いることが考えられるのです。電極は、化学的そして生物学的な界面や接点において、インターフェースとなりうる材料です。従来の様々な問題のあった金属や半導体電極にかわる未来の電極として、ダイヤモンドは注目されつつあります。さらにダイヤモンドの伝導帯が非常に高いエネルギー位置にあるため、光励起された電子が非常に強い還元力をもつことが期待できるのです。

本プロジェクトでは、新しい機能材料であるダイヤモンド薄膜を用いて、新規な機能界面や光界面を構築し、その基礎的過程を明らかにするとともに、実際の応用まで視野に入れた研究をすることを目指しています。



2. 研究の内容

新規機能界面や光界面を構築するために、電気的伝導性の制御されたダイヤモンド薄膜を比較的大面積で作成する技術を確立し、溶液や気相と接する機能界面として用い、新しい反応場を提供することを試んでいます。さらに、表面修飾や表面加工を行うことにより、新規特性を模索すると共に、その表面特性を明らかにしていくことを目標としています。そこで具体的には、電気化学特性として、(a) 水溶液において、水素過電圧・酸素過電圧が大きい、(b) レドックス系に対する応答が良い、(c) バックグラウンド電流が小さい、など電極材料として優れた特性を有するダイヤモンド薄膜を、次のような研究項目で開発、探索しています。

(1) ダイヤモンド薄膜の作成技術

気相低圧合成(CVD)による薄膜状ダイヤモンド形成を中心に、安定した特性が大面積でできるような方法を開発中です。特に我々はマイクロ波による放電を利用するマイクロ波プラズマCVD法を用いています。高出力のプラズマの採用により、短時間で実用に耐えうるダイヤモンド薄膜ができます。一方、ダイヤモンド単結晶にホモエピタキシャル成長させ、表面を著しく制御したダイヤモンド薄膜の作成も試んでいます。さらに白金単結晶上に含むヘテロエピタキシャル成長したダイヤモンド薄膜も開発中です。

(2) ホウ素をドーピングしたダイヤモンドの物性評価と電気化学特性

ダイヤモンド薄膜を作製する際の炭素源の混合溶液に含まれるホウ素の割合の制御は、得られる薄膜の抵抗率と密接な関係にあります。これらの薄膜は非常に広い電位窓を有しています。電位窓とは電気化学反応のための電極特性を検討するときの大きな尺度の一つです。従来の電気化学測定で広く用いられる金や水銀と比較しても、極端に電位窓が広い事がわかります。このような特性を基礎的に解明していきます。また、ダイヤモンド電極は酸化側・還元側両方について電位窓が広いので、広範な酸化還元反応の場として用いようとしています。

(3) ダイヤモンド薄膜電極

ダイヤモンド電極は非常に広い電位窓を持つほか、バックグラウンド電流(電気化学的には残余電流という)が非常に小さいことが特徴です。これは現在使われている炭素電極では考えられないことで、この特性について現在検討を進めています。一方、バックグラウンド電流が小さいことは、界面における様々な反応がスムーズにいくことを示し、一電子が関与する外圏型のレドックス反応は容易にダイヤモンド電極上で反応できます。この特性を利用した様々な測定系を現在模索中です。

(4) 基質選択型バイオセンサー

ダイヤモンド電極では水の酸化還元は抑制され、他のレドックス反応は容易に起こるという選択性があります。最近、さらに脳内物質として重要なドーパミンとアスコルビン酸の酸化反応の分離分析をダイヤモンド電極で行うことに成功しました。尿酸の分析も同様に分離分析できます。今後おもしろい選択性を有する反応をダイヤモンド電極上で見つけていきます。

(5) ダイヤモンド薄膜電極の光電気化学特性

ダイヤモンドは約5.5eVのバンドギャップを有します。さらにホウ素を少量含有するダイヤモンド薄膜はp型半導体特性を示します。これを用いると、光励起によって非常に還元性に富んだ表面になることがわかってきました。そこでこの表面を有効に利用し、地球環境問題で注目されている炭酸ガスの還元、あるいは空気中の窒素の還元を行えるよう、模索していきます。

(6) ダイヤモンド表面加工

ダイヤモンドは炭素ですので燃えます。その特性に注目して化学的にもっとも安定でフッ化水素にも不溶であるダイヤモンドを、酸素プラズマによって局所的に燃焼させエッチングし、微細加工する技術を開発していきます。この技術により様々な形状のダイヤモンド薄膜を得ることができ、マイクロ・ナノファブリケーションとして発展させていく予定です。

3. 研究の体制

期 間：1996年10月～2001年3月

構 成：コアメンバー3名を含め、研究メンバー12名で構成されています。その他、各メンバーの研究室に所属する学生・研究生がこのプロジェクトに多数参加しています。

研究場所：主拠点を東京大学大学院工学系研究科に、副拠点を北海道大学大学院理学研究科と東京工業大学生命理工学部に置き、7大学8研究室でプロジェクトを進めています。

ホームページ：<http://www.appchem.t.u-tokyo.ac.jp/appchem/labs/fujisima/Diamond1.html>

