

カーボンフォトニクスへの期待

山下 真司

(東京大学)

近年、カーボンの評判が芳しくない。「カーボン」や「炭素」で検索してみると、「カーボンニュートラル」や「脱炭素社会」など、カーボンに対するネガティブな言葉ばかりがヒットする。もちろんそこでの意味は二酸化炭素を指しており、地球温暖化を防ぐためにその排出削減は重要ではあるが、生命活動で最も基本的な物質であるカーボンが過度に悪者にされているように感じる。

それはさておき、カーボンがダイヤモンドからグラファイトまで、幅広い形態と同素体をもつことは古くから知られてきた。光学への応用という点では、天然ダイヤモンドを用いたデバイスの研究がいくつかあったもののコストの面で普及せず、唯一の応用といえるのはグラファイトを用いた光吸収材くらいであった。カーボンの真の光学応用である「カーボンフォトニクス」が可能になったのは、ダイヤモンドの窒素-空孔 (NV) 中心、およびカーボンの一次元・二次元構造であるカーボンナノチューブ (CNT)・グラフェンのもつ特異かつ有用な光物性が解明され、さらにそれらナノカーボン材料の化学合成法と分析法が確立されるようになったからである。ダイヤモンドの NV 中心は窒素と空孔からなる格子欠陥であり、室温でも量子状態を保ちながらそれに依存した蛍光を示すため、本特集でも取り上げられているようなナノサイズの超高感度センサーとして機能する。また、グラファイトから原子層 1 層を剥離して得られたグラフェンは円錐状のバンド構造をもち、その結果として波長無依存な 2.3% の光吸収をもつ。一方、グラフェンを巻いた円筒構造をもつ CNT のバンド構造はカイラリティ（螺旋度）で決まり、金属型 CNT と半導体型 CNT に分けられる。半導体型 CNT は CNT 径に反比例するバンドギャップをもち、それに対応する波長の光を吸収する。CNT・グラフェンは本特集にもあるような透明電極や発光素子のほかに、可飽和吸収素子や変調素子としても応用されている。特に CNT・グラフェン可飽和吸収素子はモード同期レーザーに用いられており、いくつかの企業から商品化もされている。さらに、カーボン以外の元素の一次元・二次元構造（遷移金属ダイカルコゲナイド (TMD) や六方晶窒化ホウ素 (hBN) など) と CNT・グラフェンとのヘテロ構造の研究も活発に行われている。

このように、ナノカーボン材料はほかでは実現できないユニークな光物性をもち、まだまだ未開拓の光応用があるはずである。「カーボン」で検索したときに「カーボンフォトニクス」が上位に来ることを切に期待している。