

人間の都合とオフシエル科学

坂野 齋

山梨大学工学部 *

(Dated: April 26, 2019)

シリコンはトランジスタなど電子デバイスの材料として社会で活躍する一方、「光らない半導体」として光デバイスの材料には使われてきませんでした。川添忠博士を中心とした大津グループで、シリコンを発光色まで選んで高効率で光らせたこと [1] は近接場光学、半導体物理学の新しい時代の幕開けを意味するのかもしれませんが。

シリコン LED の製作プロセスはドレスト光子アニーリング（ドレスト光子-フォノンアニーリング）といわれ、発光してほしい波長の光を照射しながら、電流のジュール熱によって不純物の拡散を起こし、発光のための構造の最適化を促進するものです。発光の仕組みには光学フォノンが関わっていることが実験的に示されています [2-4]。光学フォノンは電磁場を伴いますが、それは放射せずに物質との相互作用を拠り所に物質内にとどまる **オフシエル**電磁場（ドレスト光子/ドレスト電磁場）です。

光が電磁場であることはマクスウェルによって導かれ、ヘルツによって実験で検証されました。物質から遠く離れて伝搬する光は電磁場のうちの特別なもので、**オンシエル**電磁場です。**オンシエル**とは「分散関係式」という拘束条件を満たすという意味です。「分散関係式」を満たさない電磁場は物質から遠く離れることはできず、物質の近傍や物質の内部にとどまります。これが**オフシエル**電磁場です。認知されにくいものですが、物質のあるところに遍く存在するもので、よくよく考えれば電磁場の「多数派」と言えます。

光学の長い歴史において、**オフシエル**電磁場を**オンシエル**電磁場と同じ資格で光学現象の原因とみなすことはなされてきませんでした。物質から離れた光源から**オンシエル**電磁場（伝搬光）を入射して、物質から離れた観測器で**オンシエル**電磁場（伝搬光）の出射を捉えることが人間にとって実験しやすく、実用に供しやすかったからです。実際、**オフシエル**電磁場である物質に内在する電場や磁場が原因となる複屈折や偏光回転という現象がありますが、操作できない「不自由な」**オフシエル**電磁場は**オンシエル**電磁場と同じような原因としての資格は与えられず、物質の属性として誘電率テンソルに込められました。

熱力学も人間にとっての操作性と有用性を織り込んで考えることができます。例えば、気

*Electronic address: banno@yamanashi.ac.jp

体に満たされたシリンダー内のエネルギーの増加は、系の境界から内部に向かう仕事流と熱流の和と記述されます。この2つの形態の流れはその実態の物理とともに人間にとっての操作性・有用性の心理によって区別されます。系から外部へ向かう仕事流は、微視的にはピストン方向の運動量起源のエネルギー流で、人間にとっては動力として有用で操作しやすいものです。これを効率よく得ることが熱力学の目的です。熱流は微視的には気体分子の回転や振動へのエネルギー流でこれは操作性・有用性が低いものです。熱流に「不自由さがいかほどあるか」という尺度がエントロピーといえるでしょう。

興味深いことに、プリゴジンの散逸構造の理論 [5] では、不自由を規定するエントロピーが、系内でいかほど生成されたかが非平衡系の運動を支配することを述べています。冒頭の川添・大津らのシリコンLEDにおいても、人間にとって操作性・有用性が低かった**オフシェル**電磁場が大切な役割を担っていることは、散逸構造を示唆しているのかもしれませんが。

オンシェル電磁場と**オフシェル**電磁場を切り分けているものは分散関係という物理だけではなく、人間にとっての操作性・有用性という心理もあります。人間にとって認知しづらく不自由な**オフシェル**の場に**オンシェル**の場と対等な資格を与えよう、または、それ以上の役割を見いだそうとすることは「オフシェル科学」の姿勢だと思います。それは私たちの視点を一段高め、きっと見晴らしのよいところへ導いてくれると期待しています。

-
- [1] Minh Anh Tran, Tadashi Kawazoe, and Motoichi Ohtsu. Fabrication of a bulk silicon p-n homojunction-structured light-emitting diode showing visible electroluminescence at room temperature. *Appl. Phys. A*, 115:105–111, 2014. DOI 10.1007/s00339-013-7907-9.
 - [2] N. Wada, M. A. Tran, T. Kawazoe, and M. Ohtsu. Measurement of multimode coherent phonons in nanometric spaces in a homojunction-structured silicon light emitting diode. *Appl. Phys. A*, 115:113–118, 2014. DOI 10.1007/s00339-013-7906-x.
 - [3] M. Yamaguchi, T. Kawazoe, and M. Ohtsu. Evaluating the coupling strength of electron-hole pairs and phonons in a $0.9\mu\text{m}$ -wavelength silicon light emitting diode using dressed-photon-phonons. *Appl. Phys. A*, 115:119–125, 2014. DOI 10.1007/s00339-013-7904-z.
 - [4] T. Kawazoe, K. Nishioka, and M. Ohtsu. Polarization control of an infrared silicon light-emitting diode by dressed photons and analyses of the spatial distribution of doped boron atoms. *Appl. Phys. A*, 121:1409–1415, 2015. DOI 10.1007/s00339-015-9288-8.
 - [5] G. ニコリス and I. プリゴジヌ. 散逸構造 – 自己秩序形成の物理学的基礎. 岩波書店, 1980.