

半導体と絶縁体のあいだに、自然の境目は無い

— 10^{70} の開きの中を、値は一度も跳ばずに連続に変わる — 「絶縁体」であるダイヤモンドは 1000 K で、「半導体」である SiC の室温値より 3.97×10^{13} 倍上に来る — [論文275]

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)

Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan | 山岸勇輝ラボ

2026年8月

— *From thinking to syncing.* —

要旨

物質は半導体と絶縁体に分けられている。本稿が問うのは、その境目はどこにあるのかである——答は、どこにも無い。真性キャリア濃度は $\exp(-E_g/2kT)$ で連続に変わり、跳ぶ場所が一つも無い。新しい数学定理も新しい法則も主張しない。第一に、室温で七つの物質を並べる。Ge が 2.3564×10^{-6} 、SiO₂ が 2.5312×10^{-76} ——開きは 9.31×10^{69} 倍である（第2節）。第二に、これが本稿の芯である。 10^{70} の開きの中に、切れ目が一つも無い—— E_g を連続に動かせば、値も連続に動く（第2節）。第三に、「3 eV 以上は絶縁体」は約束である。その線を引くと SiC (3.26 eV) と GaN (3.40 eV) が絶縁体になる——どちらも実務ではパワー半導体と呼ばれている（第3節）。第四に、温度で境界が動く。ダイヤモンドは 300 K で 1.1325×10^{-46} 、1000 K で 1.6452×10^{-14} ——同じ物質が 1.45×10^{32} 倍上がる（第4節）。第五に、順序が入れ替わる。1000 K のダイヤモンド（絶縁体）は、300 K の SiC（半導体）より 3.97×10^{13} 倍上に来る（第4節）。第六に、分類は物質の性質ではない。ダイヤモンドは 1465.2 K でシリコンの室温値に並ぶ——何度で見るかを書かなければ、分類は決まらない（第5節）。

本稿の射程 (scope note) : 新しい数学定理も新しい法則も主張しない——真性キャリア濃度が $\exp(-E_g/2kT)$ に比例すること、各物質のバンドギャップの値、半導体と絶縁体の慣用的な区別は、いずれも標準的である。固体物理を作らない——使うのは一つの指数関数だけである。バンド理論を扱わない——バンドギャップがなぜ生じるかは一切扱わない。絶対値を主張しない—— $\exp(-E_g/2kT)$ は前因子を落とした比較用の量であり、実際のキャリア濃度ではない。有効質量も温度依存も入れていない。ドーピングを扱わない——真性 (不純物の無い) 場合だけを見る。実務の半導体は不純物が支配するので、本稿の量は実際の伝導度ではない。バンドギャップの温度依存を入れていない——実際には E_g が温度とともに縮む。第4節はそれを無視した下限側の見積もりである。バンドギャップの値を測定しない——すべて引用の代表値であり、文献によって幅がある。分類を改めよと言わない——慣用が便利であることは認める。本稿が言うのは、それが約束であって発見ではないという一点だけである。既刊との関係 : 論文265 は結晶の状態密度を扱った——本稿は同じ結晶を、分類の側から見る。論文269 は結晶が禁じているのが周期性だと書いた——本稿は分類の境目が約束であることを書く。どちらも何が決めているかを取り違えないという同じ規律である。論文273 は同じ単位が四つの別の量を書いていることを数えた——本稿は一つの連続量を二つの名前で切っていることを書く。論文190 は「稀」を対数の目盛りで測った——本稿は 10^{70} という開きを桁で書く。論文201 は「完備」が四つの別の主張であることを数えた——本稿は逆に、二つの名前が一つの連続量を指していることを書く。加えたのは七つの物質で $\exp(-E_g/2kT)$ を計算して 10^{70} の開きを出したこと、3 eV の線が SiC と GaN を絶縁体にしてしまうと見たこと、ダイヤモンドが 1000 K で 1.45×10^{32} 倍上がることを計算したこと、1000 K のダイヤモンドが 300 K の SiC を 3.97×10^{13} 倍上回ると出したこと、ダイヤモンドがシリコンの室温値に並ぶ温度を 1465.2 K と出したことである。

1. 記法と位置づけ

設定 : 真性半導体のキャリア濃度は

$$n_i \propto \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right)$$

に従う。以下、前因子を落とした $\exp(-E_g/2kT)$ を比較のための量として使う。室温では $kT = 0.025852$ eV である。

問い : 半導体と絶縁体の境目は、どこにあるのか。

答は、どこにも無い。 E_g を連続に動かせば、この量も連続に動く——跳ぶ場所が一つも無い。

注意 : 本稿の量は真性の場合である。実務の半導体は不純物が支配するので、実際の伝導度ではない——混同しない。

2. 芯 : 10^{70} の開きの中に、切れ目が一つも無い

検算 2.1 : 室温 (300 K) で七つの物質を並べる。

物質	E_g [eV]	$\exp(-E_g/2kT)$
Ge	0.67	2.3564×10^{-6}
Si	1.12	3.9121×10^{-10}
GaAs	1.42	1.1817×10^{-12}
SiC	3.26	4.1420×10^{-28}
GaN	3.40	2.7622×10^{-29}
ダイヤモンド	5.47	1.1325×10^{-46}
SiO ₂	9.00	2.5312×10^{-76}

観察 2.2

最大と最小で 9.31×10^{69} 倍、およそ 10^{70} の開きがある。これは物理量の並びとしては極端に広い。

観察 2.3

それでも切れ目が一つも無い。 E_g は連続な量であり、指数関数も連続である—— 10^{70} の道のりのどこにも、跳びが無い。

観察 2.4

分離子——何を動かすと値が変わるか。 E_g と T の二つだけである。そしてどちらも連続に動く——離散な量が一つも入っていない。

3. 「3 eV 以上は絶縁体」は約束である

検算 3.1：よく使われる目安の線 (3 eV) を、上の表に当てる。

物質	E_g	3 eV の線では	実務での呼び名
Ge	0.67	半導体	半導体
Si	1.12	半導体	半導体
GaAs	1.42	半導体	半導体
SiC	3.26	絶縁体	パワー半導体
GaN	3.40	絶縁体	パワー半導体
ダイヤモンド	5.47	絶縁体	絶縁体（ただし研究対象は半導体）

観察 3.2

3 eV の線を引くと、SiC と GaN が絶縁体に入ってしまう。どちらも実際にはパワー半導体として使われている——約束の線が、用途と食い違っている。

観察 3.3

別の線を引けば別の分類になる。4 eV に引けば SiC も GaN も半導体側に来る——どこに引くかをめているのは物質ではなく、引く人である。

観察 3.4

正直に書くべき点——慣用の分類が役に立たないとは言わない。実務では有用である——本稿が言うのは、それが約束であって発見ではないという一点だけである。

4. 温度で、境界が動く

検算 4.1：ダイヤモンドを、温度を変えて見る。1000 K では $kT = 0.086173$ eV である。

物質	温度	$\exp(-E_g/2kT)$
ダイヤモンド	300 K	1.1325×10^{-46}
ダイヤモンド	1000 K	1.6452×10^{-14}
上がった倍率	—	1.4527×10^{32}

観察 4.2

同じ物質が、温度を上げるだけで 1.45×10^{32} 倍上がる。 E_g は一つも動かしていない——動かしたのは T だけである。

検算 4.3：1000 K のダイヤモンドを、300 K の物質と並べる。

物質	温度	値	呼び名
GaAs	300 K	1.1817×10^{-12}	半導体
ダイヤモンド	1000 K	1.6452×10^{-14}	絶縁体
SiC	300 K	4.1420×10^{-28}	半導体
GaN	300 K	2.7622×10^{-29}	半導体

観察 4.4

1000 K のダイヤモンドは、300 K の SiC より 3.97×10^{13} 倍上にある。それでも一方は「絶縁体」、他方は「半導体」と呼ばれている——名前の順序と、量の順序が食い違っている。

観察 4.5

正直に書くべき点——実際には E_g が温度とともに縮むので、1000 K の値はここで出したものより大きくなる。つまり食い違いはもっと広がる——本稿の見積もりは食い違いを小さく見る側である。

5. 分類は、何度で見るかを書かなければ決まらない

検算 5.1：各物質が、シリコンの室温値（ 3.9121×10^{-10} ）に並ぶ温度を求める。

物質	E_g	並ぶ温度
Si	1.12	300.0 K（定義）
SiC	3.26	873.2 K
ダイヤモンド	5.47	1465.2 K
SiO ₂	9.00	2410.7 K

観察 5.2

どの物質にも「シリコンの室温と同じくらい」になる温度がある。絶縁体だから永遠に届かない、ということはない——温度を書かなければ、分類は決まらない。

観察 5.3

分離子——何を動かすと分類が変わるか。見る温度である。物質も、 E_g も、一つも動かしていない。

観察 5.4

論文273 は同じ単位が四つの別の量を書いていることを数えた。本稿は逆で、二つの名前が一つの連続量を切っている——名前の数と量の数が、どちらの向きにも食い違いうる。

6. 点呼と結び

- 開きは 10^{70} （検算2.1）： 2.3564×10^{-6} から 2.5312×10^{-76} 。
- 切れ目が一つも無い（観察2.3）： E_g も指数関数も連続。
- 離散な量が入っていない（観察2.4）：動くのは E_g と T だけ。
- 3 eV の線は用途と食い違う（検算3.1）：SiC と GaN が絶縁体側に。
- 線を引くのは人（観察3.3）： 4 eV なら分類が変わる。

6. 温度で 1.45×10^{32} 倍 (検算4.1) : ダイヤモンド、 $300 \rightarrow 1000$ K。
7. 順序が入れ替わる (観察4.4) : 1000 K のダイヤが 300 K の SiC の 3.97×10^{13} 倍上。
8. 見積もりは控えめ (観察4.5) : E_g の温度依存を入れれば差はもっと開く。
9. 並ぶ温度がある (検算5.1) : ダイヤモンドで 1465.2 K。

結び : 半導体と絶縁体のあいだに、自然の境目は無かった。室温での値は Ge の 2.3564×10^{-6} から SiO_2 の 2.5312×10^{-76} まで 10^{70} 開いているのに、その道のりのどこにも跳びが無い。「 3 eV 以上は絶縁体」という線は約束であり、その線を引くと SiC と GaN が絶縁体になってしまう——どちらも実際にはパワー半導体である。そして温度を動かせば境界そのものが動く。ダイヤモンドは 1000 K で 1.45×10^{32} 倍上がり、 300 K の SiC より 3.97×10^{13} 倍上に来る——「絶縁体」が「半導体」を追い越している。分けるものは一つ——何度で見ているのかを書き出すこと。書き出せば、物質の性質と、引いた線が分かれる。書き出さなければ、 10^{70} の連続な並びの上に、自然が引いた境目があると読んでしまう。

参考文献

1. Ashcroft, N. W. and Mermin, N. D. (1976). *Solid State Physics*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
2. Sze, S. M. and Ng, K. K. (2007). *Physics of Semiconductor Devices*, 3rd edition. Hoboken: Wiley.
3. Kittel, C. (2005). *Introduction to Solid State Physics*, 8th edition. New York: Wiley.
4. Varshni, Y. P. (1967). Temperature Dependence of the Energy Gap in Semiconductors. *Physica*, 34(1).
5. Baliga, B. J. (2008). *Fundamentals of Power Semiconductor Devices*. New York: Springer.
6. Wort, C. J. H. and Balmer, R. S. (2008). Diamond as an Electronic Material. *Materials Today*, 11(1--2).
7. 山岸勇輝 (2026). 「稀」は、対数の目盛りで測る [論文190]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22106182
8. 山岸勇輝 (2026). 「完備」は四つの別の主張である [論文201]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22109052
9. 山岸勇輝 (2026). 低温比熱で二つの模型を分けたのは、量子化ではなく状態密度である [論文265]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22169749
10. 山岸勇輝 (2026). 結晶が禁じているのは対称性ではなく、周期性である [論文269]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22169855
11. 山岸勇輝 (2026). 同じ J/kg で書かれた、四つの別の量 [論文273]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22169983

— From thinking to syncing. —

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)