

## まえがき

本書は、著者のウェブサイト「物性なんでも Q&A」に寄せられた多くの質問と、それに対する回答のうちから半導体に関するものを抜粋し、半導体教本として編纂したものです。質問をいただいた方々のうち、質問時のメールアドレスをたどって連絡がついた方々には、質問を本書に掲載させていただくことにご許可をいただきました。また、著者のウェブサイトでも質問者に呼びかけ、それを見た方々からもご許可をいただきました。ご快諾をいただきました質問者に厚くお礼申し上げます。

半導体は現代の産業のコメとも呼ばれます。携帯電話、パソコン、テレビ、DVD、デジタルカメラなどの電子機器はもちろんのこと、自動車の制御、IC キャッシュカード、交通 IC カード、電子マネー、光ファイバー通信のためのレーザー、白色 LED、信号機、太陽電池のようなエネルギー分野まで、半導体なしでは1日も生活ができないのです。

半導体デバイスの分野は進展が速く、常に積極的な開発が行われています。このため、新規材料の探索、既存材料・製品の改良とさまざまな研究段階で基礎となる物性に立ち戻ることになります。

半導体の物性を理解するにはかなりの基礎知識が必要です。学生時代に半導体の教育を受けた経験のある電気電子系の人でも実際の問題解決に直面したとき、「授業で学んだことはあるが身についていない」、「なんとなくわかっていたつもりだったけど…」ということがよくあります。また、異分野の出身者も「教科書を

読んでもわからない…」,「どこから取りかかってよいか…」と困っている方も多いようです。

「物性なんでも Q&A」は、このようなお困り研究者の駆け込み寺です。それゆえ、ホームページに読者が集まり、それぞれの置かれた立場でそのつど再勉強しているようです。

本書では、ナマのホームページの雰囲気をできるだけ伝えるために、質問に対する回答を受けての再質問、それに対する回答、というやりとりも再録しました。

ホームページでは、html で記述しているため数式がわかりにくい、図が少ないなど、やや不親切な部分もありましたので、本書では、数式の記述や適切な図の挿入などに手を加えました。また、ホームページでは、質問者のレベルに合わせて専門用語の意味をわかっているとしてお答えしている部分があり、分野の離れた読者には不親切ではないかと考え、follow up という項目を設け解説しました。

最後に、本書が半導体を再学習する方々の助けになることを祈っています。

2010年6月

佐藤勝昭

まえがき……………iii

## 第1部 もっと知りたい!半導体デバイス 1

**Stage 1** p-n接合の拡散電位差を電池として利用できるか……………2

**follow up 01** 化学ポテンシャル……………5

**follow up 02** 酸化還元電位……………5

**Column** 「物性なんでもQ&A」のはじまり……………6

**Stage 2** p-n接合ダイオードの順方向電流-電圧特性……………8

**follow up 03** ドリフト電流と拡散電流……………12

**follow up 04** 理想係数……………14

**follow up 05** pinダイオード……………14

**Stage 3** 金属の種類とショットキー接合……………16

**follow up 06** 仕事関数……………18

**follow up 07** 電子親和力……………20

**Stage 4** シリコンにショットキー障壁を作る金属……………21

**Column** 「物性なんでもQ&A」のお約束……………25

**Stage 5** バイポーラトランジスタの電流増幅率の

温度依存性……………26

**follow up 08** バイポーラトランジスタの電流増幅率……………27

**Stage 6** パンチスルー現象……………29

**Stage 7** 半導体素子の温度依存性……………32

**follow up 09** p-n接合容量……………33

**follow up 10** MOSキャパシタ(ポリシリゲート)容量……………37

**Column** 「物性なんでもQ&A」の質問者……………39

**Stage 8** p-n接合の光電流……………40

**Stage 9** フォトダイオード……………43

**Stage 10** フォトダイオードの受光領域……………46

**Stage 11** 太陽電池の理論的 $\text{最大変換効率}$ の導出法……………48

**Stage 12** 太陽電池の $\text{低温特性}$ ……………53

**follow up 11** 開放端子電圧, 短絡電流, 曲線因子……………55

**Stage 13** 太陽電池作製に必要な $\text{シリコンの量}$ ……………56

**Stage 14** ソーラーパネルは $\text{発光するか}$ ……………58

**follow up 12** 発光したとしても $\text{赤外線}$ なので  
見えない……………59

**Stage 15** LED( $\text{発光ダイオード}$ )の $\text{発光の原理}$ ……………60

## 第2部 半導体物性のココが難しい! 63

**Stage 16** 半導体の $\text{フェルミ準位}$ はなぜ

$\text{バンドギャップの真ん中}$ にくるのか……………64

**follow up 13** フェルミ分布関数……………69

**follow up 14** 状態密度関数……………70

**Column** 時には出張サービスも……………71

**Stage 17**  $\text{間接遷移}$ がわからない……………72

**follow up 15** 三角関数を $\text{指数関数}$ で表す……………78

**Stage 18**  $\text{間接遷移・直接遷移}$ は何によって決まるのか……………80

**follow up 16** GaAs と GaP のイオン性と $\text{電子親和力}$ および  
 $\text{格子定数}$ ……………83

**Stage 19** シリコンの $\text{直接バンドギャップ}$ ……………84

**follow up 17** 吸収係数の計算……………87

**follow up 18** 吸収スペクトルから $\text{直接遷移}$ か $\text{間接遷移}$ かを  
見分ける方法……………87

**Stage 20** GaAs, GaP の $\text{バンドギャップ}$ ……………89

**Stage 21**  $\text{バンドギャップ}$ の $\text{温度依存性}$ ……………92

**Stage 22** なぜ ZnO は n 形で, NiO は p 形か……………96

**Stage 23**  $\text{融点以上}$ での半導体の $\text{キャリア密度}$ ……………98

**Column** ありがたい $\text{読者コメント}$ ……………101

**Stage 24**  $\text{ホッピング伝導}$ と $\text{トンネル伝導}$ の違い……………102

**Stage 25**  $\text{水素化アモルファスシリコン}$ の $\text{電子移動度}$ と $\text{ホール移動度}$ の  
差はなぜか……………104

**follow up 19**  $\text{水素化アモルファスシリコン}$ と  
 $\text{単結晶シリコン}$ の比較……………107

**follow up 20**  $\text{水素化アモルファスシリコン}$ の特徴①  
 $\text{長距離秩序}$ の破れ……………107

**follow up 21**  $\text{水素化アモルファスシリコン}$ の特徴②  
 $\text{周期ポテンシャル}$ の乱れと  
 $\text{アンダーソン局在}$ ……………108

**follow up 22**  $\text{水素化アモルファスシリコン}$ の特徴③  
 $\text{可変領域ポッピング}$ ……………110

**Stage 26** 半導体の $\text{誘電率}$ ……………112

**follow up 23** クラマース・クローニツヒの関係式……………115

**follow up 24** ドルーデの式……………116

**Stage 27**  $\text{ドーピング}$ によって $\text{シリコンの色}$ は変わるのか……………118

**Column** 理科年表くらいはそばに置こうよ……………121

**Stage 28** 絶縁体はすべて透明か……………122

**follow up 25** モット絶縁体……………126

**follow up 26** アンダーソン局在……………128

**Column** 忙中閑あり……………129

**Stage 29 半導体のサブギャップ吸収**……………130

**follow up 27** フォノンによる赤外吸収……………131

**follow up 28** 自由キャリアによる吸収……………132

**follow up 29** 価電子帯内遷移による吸収……………133

**follow up 30** 格子欠陥による吸収……………134

**follow up 31** 不純物準位とバンド状態との間の遷移による  
吸収……………135

**follow up 32** 遷移金属イオンの配位子場遷移による  
吸収……………136

**follow up 33** 励起子吸収……………138

**Stage 30 なぜ光伝導スペクトルを測定するのか**……………140

**Stage 31 半導体中の空間電荷制限電流の温度依存性**……………142

**Stage 32 オーミックな電流より多く流れるのに、  
なぜ空間電荷「制限電流」と呼ぶのか**……………146

**Stage 33 縮退半導体の静電シールド効果**……………148

**Stage 34 形態の違うシリコンの物性値**……………150

**Stage 35 分極と光学遷移**……………153

**Stage 36 半導体の光学現象の量子力学**……………156

**follow up 34** 井戸型ポテンシャルと調和振動子の  
ポテンシャル……………162

索引……………165