



e-ラーニング

# ディスクリート半導体の基礎

## 第1章 半導体の基礎

東芝デバイス&ストレージ株式会社

2025.01

# 半導体とは何か

「**半導体**」は、金属のように電気をよく通す「**導体**」と、電気をほとんど通さない「**絶縁体**」との中間的な性質を持つ物質です。不純物を含まない真性半導体に不純物を添加（拡散・ドーピング）することによりN型・P型の2種の半導体を作り出すことができます。これらは電圧・電流・光・熱などの入力によって導体・絶縁体の性質を示すようになります。また、これらを組み合わせることによってダイオードやトランジスタ、IC（集積回路）などのデバイスを構成することができます。

電気の流れやすさは、その物質の電気抵抗の大きさが関係しています。電気抵抗が大きければ電流は流れにくく、電気抵抗が小さければ流れやすくなります。電気の通しやすさを抵抗率で表すと、

導体が： $10^{-8} \sim 10^{-4} \Omega\text{cm}$ 、絶縁体が $10^8 \sim 10^{18} \Omega\text{cm}$ であるのに対し、半導体は $10^{-4} \sim 10^8 \Omega\text{cm}$ あたりの範囲に分布しています。

導体としては金・銀・銅・鉄・アルミなど、絶縁体としてはガラス・ゴム・油・プラスチックなど、半導体は単元素ではシリコン（Si）・ゲルマニウム（Ge）、化合物としてはガリウムヒ素（GaAs）・SiC・SiGe・GaNなどがあります。



# 半導体の原料

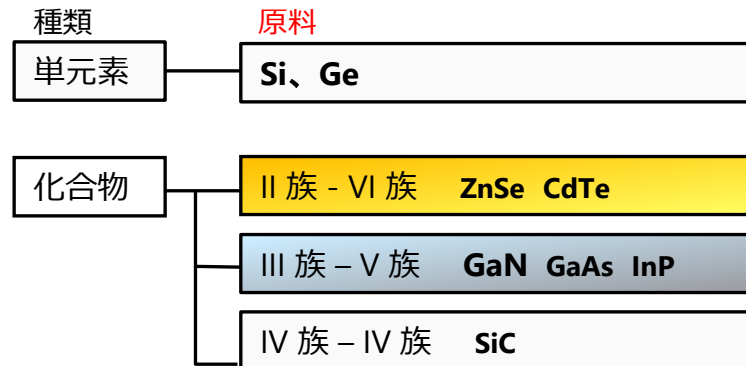
代表的な半導体の原料であるIV族\*のシリコン(Si)やゲルマニウム(Ge)は、純粋な結晶(真性半導体)では絶縁体に近い物質ですが、わずかな不純物を添加(拡散・ドーピング)することで、電気抵抗が大きく低下し導体のような特性を示します。添加する不純物の種類によって、n型半導体とp型半導体を作る事が出来ます。n型半導体の形成に用いられる不純物としては、リン(P)やヒ素(As)、アンチモン(Sb)などが、p型半導体の場合の不純物としては、ホウ素(B)やガリウム(Ga)、インジウム(In)などが主に使われます。

シリコン半導体のような単元素を原料にしているものに対し、複数の元素を原料にした半導体を化合物半導体と言います。組み合わせとしては周期表のIII族とV族、II族とVI族、IV族同士などがあります。最近話題のワイドバンドギャップ半導体であるSiCやGaNなども化合物半導体です。

\*: 現在一般的には長周期表が用いられますが、短周期表では原子の電子殻を基準に配置されており、半導体の原料となる元素の特性や動作を説明しやすいことから、ここでは短周期表を使用しています。短周期表では元素の族をローマ数字、長周期表ではアラビア数字を用い、その値も異なります。例えばSiはIV族、同時に14族でもあります。

\*IV族のシリコン(Si)にV族のリン(P)を加えると、  
n型半導体ができます。

\*IV族のシリコン(Si)にIII族のホウ素(B)を加えると、  
p型半導体ができます。



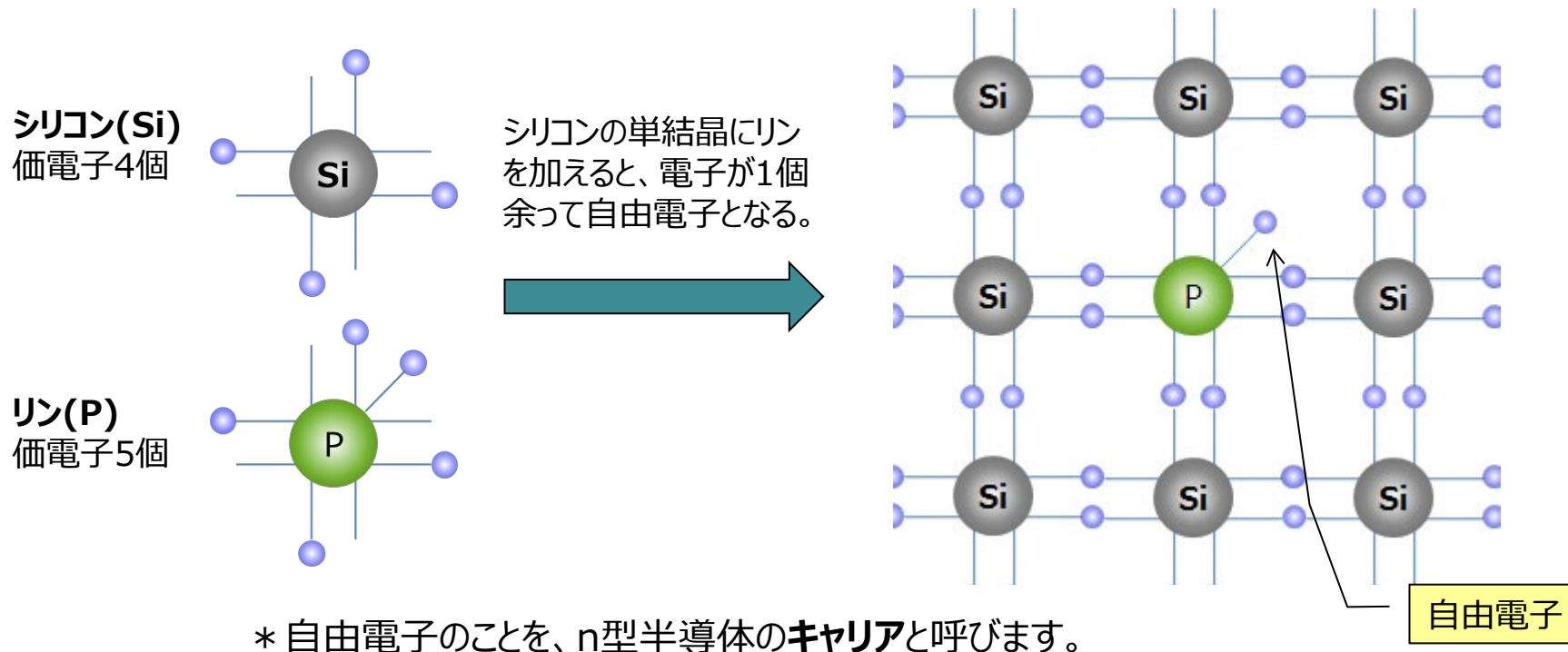
| II 族         | III 族        | IV 族         | V 族         | VI 族        |
|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| Be<br>ベリリウム  | B<br>硼素      | C<br>炭素      | N<br>窒素     | O<br>酸素     |
| Mg<br>マグネシウム | Al<br>アルミニウム | Si<br>シリコン   | P<br>リン     | S<br>硫黄     |
| Zn<br>亜鉛     | Ga<br>ガリウム   | Ge<br>ゲルマニウム | As<br>砒素    | Se<br>セレン   |
| Cd<br>カドミウム  | In<br>インジウム  | Sn<br>スズ     | Sb<br>アンチモン | Te<br>テルル   |
| Hg<br>水銀     | Tl<br>タリウム   | Pb<br>鉛      | Bi<br>ヒ素    | Po<br>ポロニウム |

# n型半導体

**n型半導体とは、**シリコン（Si）などのIV族の真性半導体にV族のリン(P)やヒ素(As)、アンチモン(Sb)を不純物として添加したものです。

IV族の元素は価電子を4個持つ4価の元素でV族の元素は価電子を5個持つ5価の元素です。Siなどの4価の元素だけで作られた単結晶は、共有結合により結合の手が他の元素と結びつき、余剰の電子や正孔が無い状態です。この不純物の無い状態が真性半導体です。この単結晶に少量のリンを添加（拡散・ドーピング）すると、リンが持っていた価電子の内の1個が余剰な電子として自由に動き回れる(自由電子)ようになります。電圧を印加するとこの自由電子(エレクトロン)が+電極に引き寄せられて移動することで電流が流れます。このためn型半導体（および後述のp型半導体）の抵抗率は不純物濃度が上がるにつれて下がります。

n型半導体を構成するSiや不純物であるPなどは、原子単体では電氣的に中性です。従って、n型半導体も電氣的に中性になります。ただし、n型半導体では電荷を運ぶ粒子（キャリア）は自由電子です。このキャリアが負（Negative）電荷であるためn型と呼ばれます。

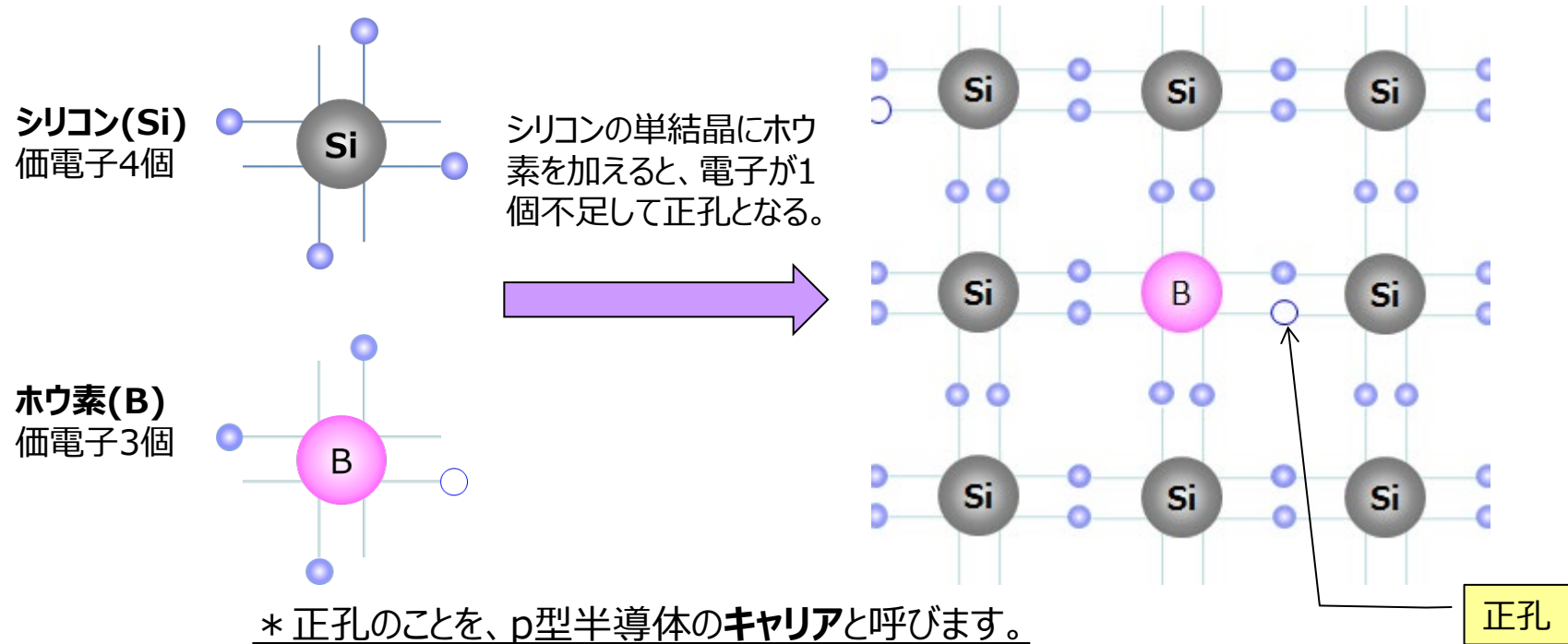


# p型半導体

**p型半導体とは、シリコン（Si）などのIV族の真性半導体にIII族のホウ素(B)やインジウム(In)を不純物として添加したものです。**

IV族の元素は価電子を4個持つ4価の元素でIII族の元素は価電子を3個持つ3価の元素です。Siなどの4価の元素だけで作られた単結晶は、共有結合により結合の手が全て他の元素と結びついた真性半導体です。この単結晶に少量のホウ素を添加（拡散・ドーピング）すると、シリコンとホウ素の結合の1か所で電子が不足となり、電子の欠落した穴ができます。この穴を正孔(ホール)とよびます。この状態で電圧をかけると、近隣の電子が正孔へ移動してくるため、その電子のいたところが新たな正孔となって、次々に正孔がマイナス極側へ移動していくように見えます。

p型半導体では電荷を運ぶ粒子（キャリア）は正孔です。正孔は電子が不足している部分であるため正（Positive）電荷です。このためp型と呼ばれます。



# 化合物半導体

**化合物半導体とは**、半導体の主流であるSiのような単元素で作られる半導体と異なり、2つ以上の元素からなる化合物です。

III族の元素とV族の元素、II族の元素とVI族の元素、IV族同士の元素を組み合わせた化合物半導体があります。例としては**GaAs**や**InP**、**InGaAlP**、**SiGe**などが、高周波デバイスや光半導体として従来から使用されています。また、青色LEDやレーザーダイオードとして**InGaN**が、また、パワー半導体の材料として**SiC**や**GaN**が注目され、製品化されています。

デバイスに用いられている化合物半導体は、Siなどの単元素の半導体と比較し高い移動度（高周波、高速スイッチング、高効率）を持ち、原子間の結合力が強いことからバンドギャップが広い（高温動作、高耐圧）などの特徴があげられます。これにより、電力用デバイス、LEDに代表される光デバイス、高周波デバイスなどで化合物デバイスは使用されています。単元素の半導体（ダイヤモンドなど）を含むバンドギャップが広い半導体はワイドバンドギャップ半導体とも呼ばれます。

代表的な化合物半導体

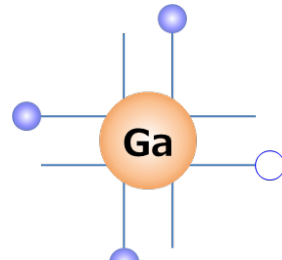
II族-VI族 : ZnSe

III族-V族 : GaAs、GaN、InP、InGaAlP、InGaN

IV族-IV族 : SiC、SiGe

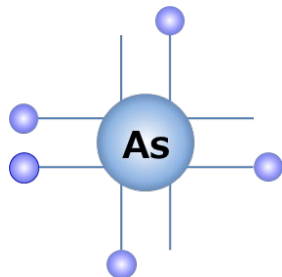
【GaAsの場合】

ガリウム(Ga)  
価電子3個

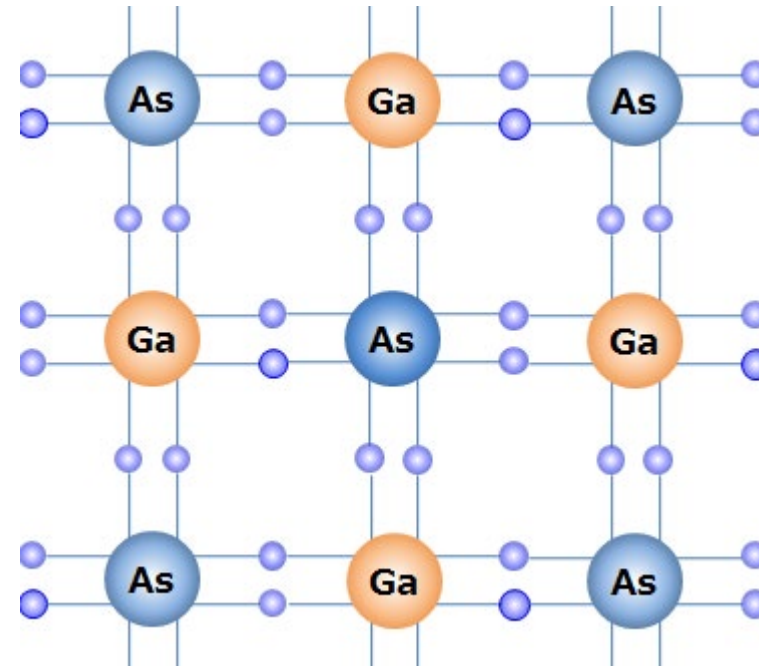


ガリウムが多ければ  
p型半導体に

砒素(As)  
価電子5個



砒素が多ければ  
n型半導体に



# pn接合

**p型半導体**と**n型半導体**の境界面を、pn接合と呼びます。

p型半導体とn型半導体を接合（実際には接合ではなく、隣接するようにドーピングで形成）すると、それぞれのキャリアである正孔と自由電子が引き付けあって、境界付近で結合し消滅します。この付近はキャリアが存在しなくなるため、**空乏層**と呼ばれ、絶縁物と同じ状態になっています。（無バイアス状態）

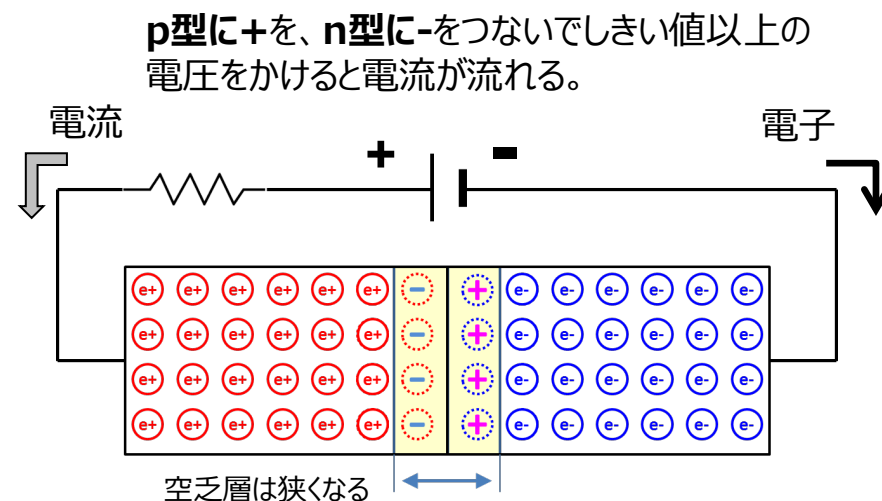
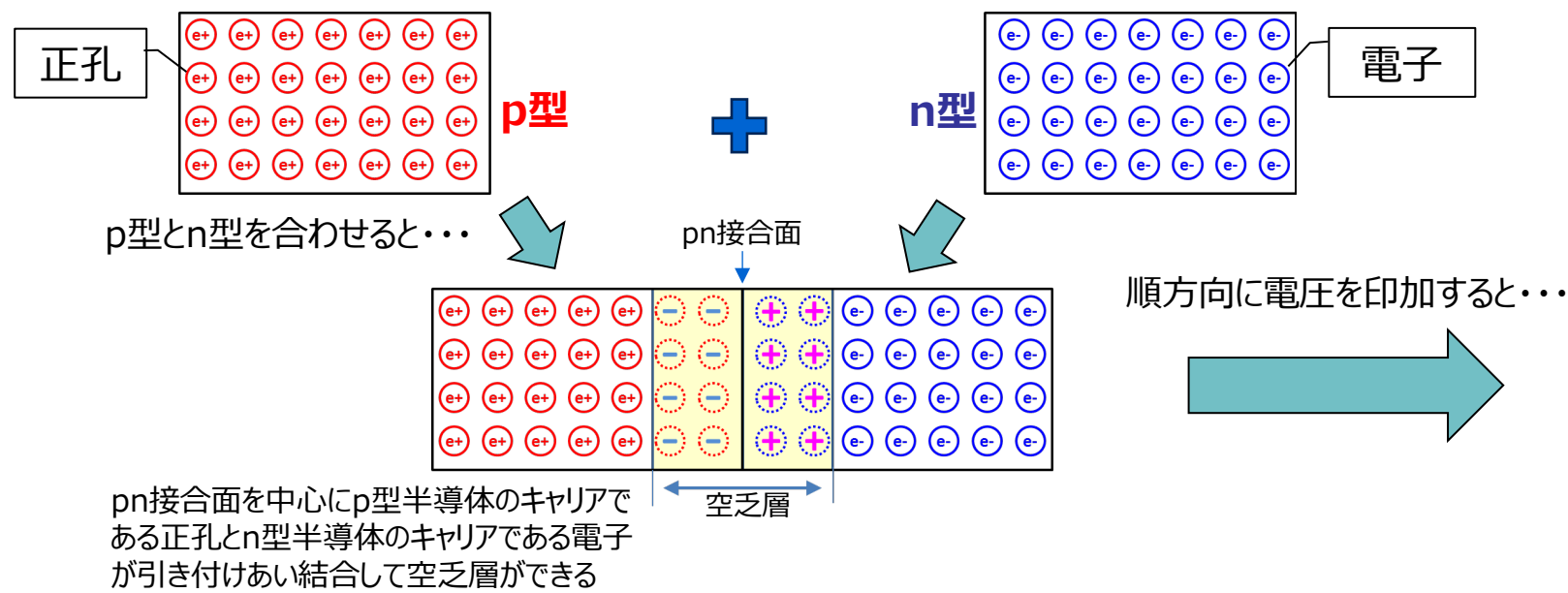
・**順方向**（p型領域にプラス極をつなぎ、n型領域にマイナス極をつないで電圧を印加）：

印加電圧を徐々に上げ順方向電圧（シリコン Si の場合 約0.7V）を超えるあたりから、電子が次々にn型領域からp型領域に流れ込み、正孔と結合して消滅しなかった電子が+極へ移動して電流が流れるようになります。pn接合の物性的な説明に関しては、以下のe-learningに説明があります。

[ショットキーバリアダイオードの基礎1章3節 pn接合](#)

・**逆方向**（p型領域にマイナス極をつなぎ、n型領域にプラス極をつないで電圧を印加）：

電流は流れません。通常の電圧範囲では、n型半導体の過剰電子は境界面から遠ざかります。また、p型半導体のホールも境界面から遠ざかることとなります。このことにより境界面付近の空乏層は広がります。ただし、降伏電圧（ブレイクダウン電圧）を超えた電圧を印加すると、pn接合はツェナー効果（アバランシェ効果）によって降伏状態になり急激に電流が流れます。一般のダイオードではこの降伏により、性能が劣化・破壊します。



# 半導体デバイスの種類

半導体を用いた電子部品のことを、**半導体デバイス**といいます。

半導体デバイスは、応用分野の拡大と電子機器の進化に伴い、多くの種類が生まれました。トランジスタやダイオードのように 1 素子が単独の機能を持つものをディスクリート（個別半導体） といいます。複数の機能の素子を 1 チップに載せたものが IC（集積回路）で、メモリやマイクロプロセッサ（MPU）、ロジックICなどがその代表です。ICの集積度を高めたものがLSIです。一般的な機能・構造による分類を以下に示します。



# 製品取り扱い上のお願い

株式会社東芝およびその子会社ならびに関係会社を以下「当社」といいます。

本資料に掲載されているハードウェア、ソフトウェアおよびシステムを以下「本製品」といいます。

- 本製品に関する情報等、本資料の掲載内容は、技術の進歩などにより予告なしに変更されることがあります。
- 文書による当社の事前の承諾なしに本資料の転載複製を禁じます。また、文書による当社の事前の承諾を得て本資料を転載複製する場合でも、記載内容に一切変更を加えたり、削除したりしないでください。
- 当社は品質、信頼性の向上に努めていますが、半導体・ストレージ製品は一般に誤作動または故障する場合があります。本製品をご使用頂く場合は、本製品の誤作動や故障により生命・身体・財産が侵害されることのないように、お客様の責任において、お客様のハードウェア・ソフトウェア・システムに必要な安全設計を行うことをお願いします。なお、設計および使用に際しては、本製品に関する最新の情報（本資料、仕様書、データシート、アプリケーションノート、半導体信頼性ハンドブックなど）および本製品が使用される機器の取扱説明書、操作説明書などをご確認の上、これに従ってください。また、上記資料などに記載の製品データ、図、表などに示す技術的な内容、プログラム、アルゴリズムその他応用回路例などの情報を使用する場合は、お客様の製品単独およびシステム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断してください。
- 本製品は、特別に高い品質・信頼性が要求され、またはその故障や誤作動が生命・身体に危害を及ぼす恐れ、膨大な財産損害を引き起こす恐れ、もしくは社会に深刻な影響を及ぼす恐れのある機器（以下“特定用途”という）に使用されることは意図されていませんし、保証もされていません。特定用途には原子力関連機器、航空・宇宙機器、医療機器（ヘルスケア除く）、車載・輸送機器、列車・船舶機器、交通信号機器、燃焼・爆発制御機器、各種安全関連機器、昇降機器、発電関連機器などが含まれますが、本資料に個別に記載する用途は除きます。特定用途に使用された場合には、当社は一切の責任を負いません。なお、詳細は当社営業窓口まで、または当社Webサイトのお問い合わせフォームからお問い合わせください。
- 本製品を分解、解析、リバースエンジニアリング、改造、改変、翻案、複製等しないでください。
- 本製品を、国内外の法令、規則及び命令により、製造、使用、販売を禁止されている製品に使用することはできません。
- 本資料に掲載してある技術情報は、製品の代表的動作・応用を説明するためのもので、その使用に際して当社及び第三者の知的財産権その他の権利に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません。
- 別途、書面による契約またはお客様と当社が合意した仕様書がない限り、当社は、本製品および技術情報に関して、明示的にも黙示的にも一切の保証（機能動作の保証、商品性の保証、特定目的への合致の保証、情報の正確性の保証、第三者の権利の非侵害保証を含むがこれに限らない。）をしておりません。
- 本製品にはGaAs（ガリウムヒ素）が使われているものがあります。その粉末や蒸気等は人体に対し有害です。破壊、切断、粉碎や化学的な分解はしないでください。
- 本製品、または本資料に掲載されている技術情報を、大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的、あるいはその他軍事用途の目的で使用しないでください。また、輸出に際しては、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」等、適用ある輸出関連法令を遵守し、それらの定めるところにより必要な手続を行ってください。
- 本製品のRoHS適合性など、詳細につきましては製品個別に必ず当社営業窓口までお問い合わせください。本製品のご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制するRoHS指令等、適用ある環境関連法令を十分調査の上、かかる法令に適合するようご使用ください。お客様がかかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、当社は一切の責任を負いかねます。

**TOSHIBA**