

半導体デバイス用窒化アルミニウム基板

(1985年～現在)

Key-words：半導体、熱伝導率、銅、薄膜

注1 モータに与える電源周波数を任意に変えて、モータの回転速度を自由・連続的に、しかも効率良く制御する装置。

注2 GaAs（ガリウム・ヒ素）系や GaN（ガリウム・窒素）系等の化合物半導体を用いたレーザー発振モジュールであり、コンパクトディスク（CD）や DVD 用の光ピックアップ等に搭載されている。化合物半導体レーザーチップの他に、ヒートシンク、サブマウントやリード等から構成されている。

注3 半導体レーザーモジュール中に使われている化合物半導体のチップのこと。赤外～赤色レーザー用には GaAs 系結晶が、青色レーザー用には GaN 系結晶が用いられている。

大電力を制御するインバータから市販の DVD 機器に至る様々な用途に、高放熱性が要求される半導体デバイスが搭載されている。熱伝導率が金属アルミを超える窒化アルミニウムは、そのようなデバイスの用途により、厚い銅板や Au 薄膜などで金属回路形成された上で半導体実装基板として使用され、デバイスの性能向上に大きく貢献している。半導体製品の性能向上は今後益々加速し、その中で窒化アルミニウムの必要性はさらに高まると考えられる。

1. 製品適用分野

汎用インバータ、車載インバータ、半導体レーザー、高周波通信機器。

2. 適用分野の背景

半導体は高機能化、高集積化の一途をたどっているが、その一方で半導体素子自身が発する熱が特性劣化の大きな要因となっている。そのため、実装基板としては、電気絶縁性ととも、放熱特性、熱膨張特性が重視されている。

各種電力制御に使用されるインバータ^{注1)}の心臓部であるパワーモジュールは、制御電力の増大、高集積化、高信頼性要求の中、放熱特性および大型の Si チップを直接実装する際の Si との熱膨張マッチングが強く求められてきた。

また、昨今パソコンや映像機器の飛躍的な特性向上の源となっている DVD 機器には半導体レーザー^{注2)}が使用されているが、レーザー自身が、熱や、熱を起因とする応力に弱いことから、こちらの分野でも性能向上に呼応するように、高放熱性とレーザーチップ^{注3)}（材質は GaAs など）に近似した熱膨張性が強く求められている。図1に半導体レーザーの構造を示す。

3. 窒化アルミニウム路基板の特徴

窒化アルミニウム (AlN) は天然には存在しない窒化物の一種であり、理論的には 320W/mK という高い熱伝導率を有している。工業製品としての熱伝導率は理論値との比較では低くなるものの、微量の不純物や製造プロセスの制御により金属アルミを超える熱伝導率が達成されている。一方、窒化アルミニウムを半導体実装基板として使用するためには金属回路を形成する必要があり、用途により様々な金属回路形成法が産み出されていった。表1に窒化アルミニウム素体の特性例を、図2に AlN 回路基板形成方法事例を示す。窒化物上にいかに金属を接合するかが回路形成の重要なポイントとなっている。

1) 銅貼り基板

前述のパワーモジュール用基板としては、0.2～0.5mm 程度の厚い銅板を直接接合した銅貼り基板が用いられている。厚い銅板を AlN に直接接合した単純な構造であり、放熱特性に優れていること、銅回路上の熱膨張係数が AlN と等しく、大型の Si チップを回路に直接接合できる点があるのがその特徴であり、結果として、従来その熱膨張整合用に複雑な構造をしていたパワーモジュール構造を単純化することができるようになった。図3に銅貼り基板外観写真を、

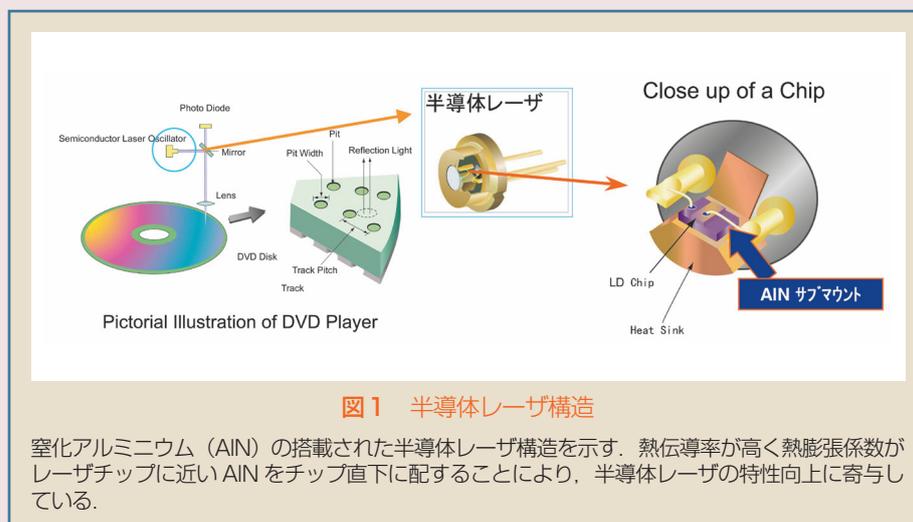


図1 半導体レーザー構造

窒化アルミニウム (AlN) の搭載された半導体レーザー構造を示す。熱伝導率が高く熱膨張係数がレーザーチップに近い AlN をチップ直下に配することにより、半導体レーザーの特性向上に寄与している。

表1 窒化アルミニウムの特性例

窒化アルミニウム (AlN) の特性代表値を示す。従来半導体実装基板として頻りに使用されているアルミナ (Al₂O₃) と比較して熱伝導率が顕著に高いのが特長である。

Item	Unit	Al ₂ O ₃	AlN			
曲げ強度(3点式) Bending Strength	MPa	320	350	330	330	
破壊靱性値 Fracture Toughness	MPa・m ^{1/2}	3.5	3.3	3.0	3.0	
熱膨張係数 Coefficient of Thermal Expansion	X10 ⁻⁶ 1/K	7.3	4.6	4.6	4.6	
熱伝導率 Thermal Conductivity	W/mK	21	170	200	230	
絶縁耐圧 Dielectric Strength	kV/mm	14	14	14	14	

注4 半導体レーザーモジュールにおいてレーザーチップと金属製ヒートシンクの間にある基板のことで、レーザーチップで発生する熱を放熱させる機能や、チップと金属ヒートシンクの間を生じる熱膨張率差による応力を緩和する緩衝機能を有している。

図4にパワーモジュール構造の比較を示す。

銅回路を接合する方法としては、AlN上に直接Cu板を接合する直接接合法、およびTiやZrなどの活性な金属を添加したろう材を中間材として介する活性金属法の2種があり、前者はDBC®基板、後者は活性金属(AMC)基板と呼ばれている。直接接合法は、Cu中に含まれる微量な酸化物を利用し、Cu-O共晶液相を生成させ、これをセラミックスとの接合材に利用したものである。しかしながら、Cu-O共晶は非酸化物に対しては濡れにくいいため、AlN表面に薄い酸化層を形成させることにより、接合を可能としている。

一方活性金属法の場合には、活性金属としてTiが用いられることが多く、さらにAgとCuを入れた組成が一般的である。接合メカニズムは、Tiが優先的にAlN表面に拡散してTiNを形成し、Ag-Cu合金を介してCu板と接合するものである。

図5に直接接合法、活性金属法それぞれの断面模式図を示す。

2) 薄膜基板

半導体レーザーのサブマウント基板^{注4)}として使用されるAlN回路基板としては、一般的にAlN表面に蒸着やスパッタリングなどによる金属薄膜を形成したものが使用される。薄膜構成としてはTi/Pt/Auの3層構成が一般的である。それぞれの層の役割は以下の通りである。

- ① Ti: セラミックスとの接触層としてAlNと反応して窒化物を形成する
- ② Pt: 中間のバリア層として拡散を防ぐ
- ③ Au: チップ実装にAu-Sn共晶はんだが用いられることから、配線としてAuワイヤをボンディングすることから、表面層として用いられる。

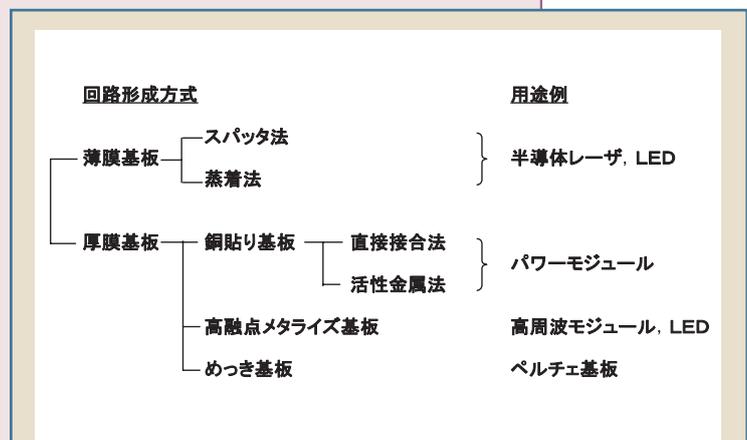


図2 AIN 基板回路形成法事例

AlN 基板の代表的な回路形成法および用途を示す。半導体レーザーやパワーモジュールのみならず、今後はLEDや高周波モジュール・ペルチェ基板としての伸張が期待される。

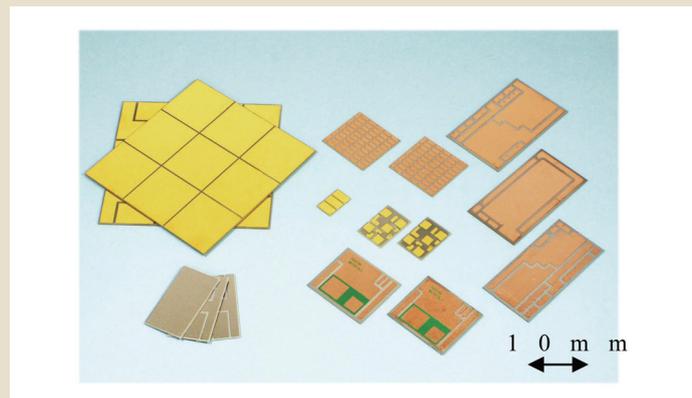


図3 銅貼り基板外観

AlNへ厚い銅板が接合された回路基板外観を示す。場合により銅表面にNiやAuめっきが施される。

4. 将来展望

半導体製品の性能向上は今後益々加速し、その中で窒化アルミニウムの必要性はさらに高まると考えている。その一方で、低価格化が進む半導体デバイスへの採用に際しその製造コストがネックとなっている場合も多い。これは元々窒化物セラミックス自身の物量の問題もあるが、酸化物セラミックスと比較し特殊な製

造装置が必要であることなどプロセスの問題も大きい。今後の大きな普及のためには、用途開拓とともに、製造コストのブレークスルーが求められている。

[連絡先] 東芝マテリアル(株)
 ファインセラミックス製品部
 ファインセラミックス技術担当

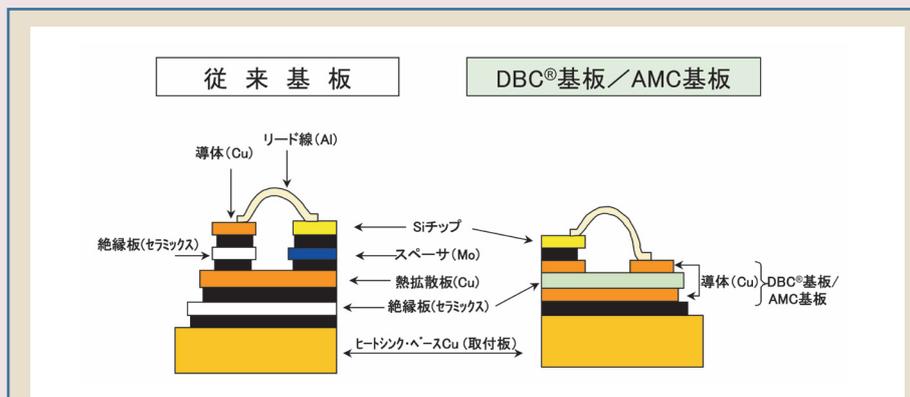


図4 パワーモジュール構造比較

銅貼り基板（DBC®基板/AMC基板）を用いた場合、従来基板と比較してパワーモジュール構造が単純化され、実装コストや熱抵抗の低減が図られた。

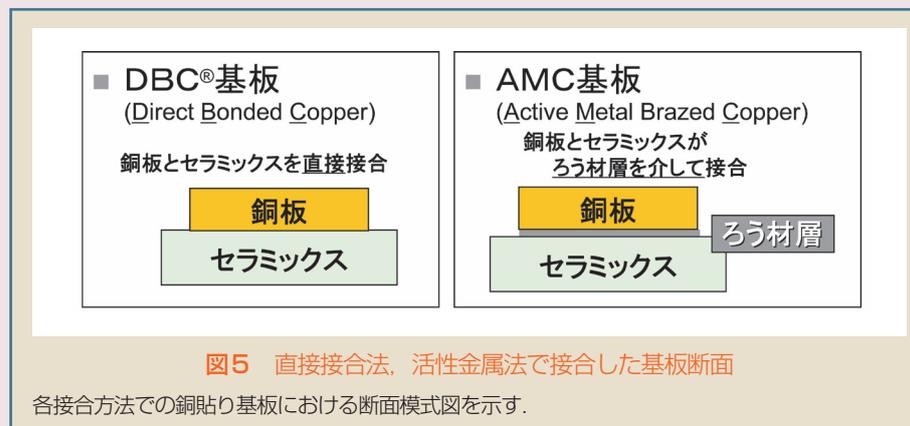


図5 直接接合法、活性金属法で接合した基板断面

各接合方法での銅貼り基板における断面模式図を示す。