

【話題提供】

超高出力高周波半導体アンプの 構成に向けた技術

京都大学
成長戦略本部
池田 光

2025年7月11日



京都大学
KYOTO UNIVERSITY

目 次

1. 超高出力高周波電源
2. 高出力半導体デバイス
3. 基板／部品
4. 高放熱構造
5. まとめ

1. 超高出力高周波電源（目標仕様）

■ 目標仕様

- 周波数：10MHz ～ 100MHz
- デバイス：半導体
- 出力電力：～ 100kW
- 動作：パルス、CW
- 放熱：水冷、空冷



1. 超高出力高周波電源（半導体の動向）

■ 半導体技術の進歩により、
真空管 ⇒ 固体デバイス へ交換

- 真空管 ⇒ トランジスタ(1960年代)
- 撮像管 ⇒ CCD(1980年代)
- ブラウン管 ⇒ プラズマ、液晶(2000年代)
有機EL(2010年代)
- 電球・蛍光灯 ⇒ LED(2000年代)
- マグネトロン ⇒ 固体デバイス(固体発振器)へ



※ 東京計器のHPより

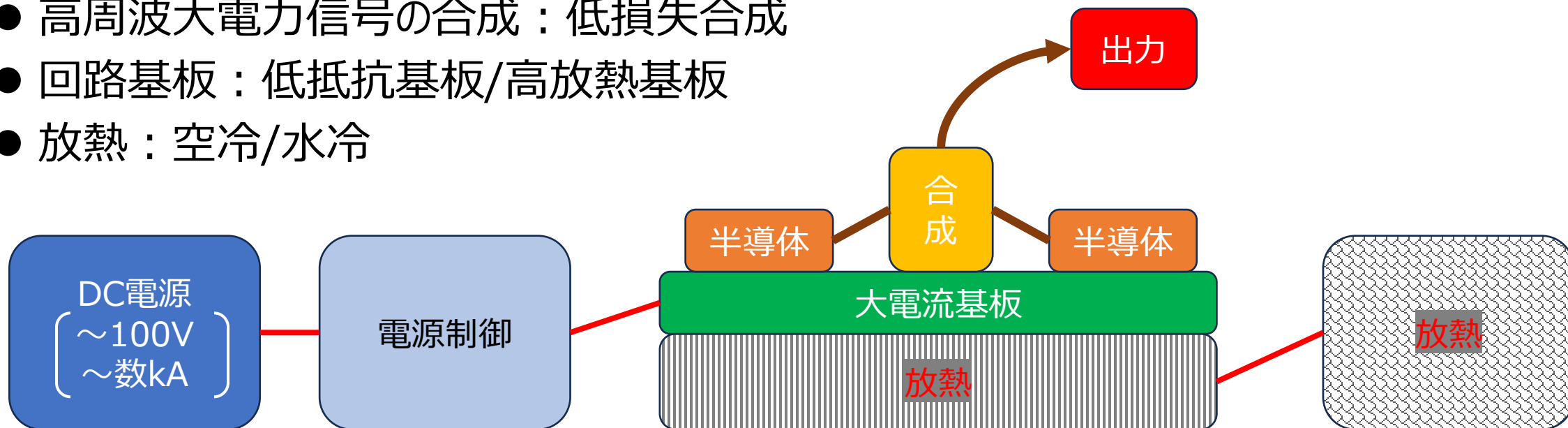
【電子レンジの固体発振器化は進んでいない】



1. 超高出力高周波電源（構成）

■ 構成要素

- DC電源：SiC/GaNトランジスタを用いた高効率電源
- 高周波電源の制御：ハード／ソフト
- 半導体デバイス：Si/SiC/GaN/Ga₂O₃等
- 高周波大電力信号の合成：低損失合成
- 回路基板：低抵抗基板/高放熱基板
- 放熱：空冷/水冷



2. 高出力半導体デバイス（比較）

- Si-LDMOSFET : 1GHz以下では1kWを超える高出力デバイスあり
- SiC-MOSFET : 縦型の高耐圧・大電流スイッチングデバイス
- GaN-HEMT : 通信用途・300W@2.5GHz(GaN on SiC)
: スwitchング用途・600V耐圧(GaN on Si)
- Ga₂O₃-MOSFET : 高耐圧・高周波動作が可能(低放熱・高温動作・低コスト)
- Diamond-MOSFET : 高耐圧・高周波動作が可能(高放熱・高温動作・高コスト)

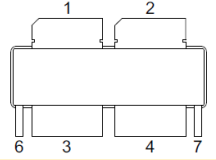
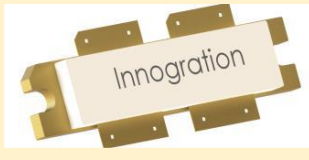
	Si-LDMOSFET	SiC-MOSFET	GaN-HEMT	Ga ₂ O ₃ -MOSFET	Diamond-MOSFET
動作周波数(GHz)	～ 2.5	～ 0.01	～ 200	～ 50?	?
出力電力(W)	～2,500@100MHz	—	～300@2.5GHz	～1,000?@2.5GHz	?
電源電圧(V)	65	—	50	200?	300?
パッケージ	セラミック/樹脂	—	セラミック	?	?
熱伝導率(W/cmK)	1.5	2.7	2.1	0.27	22.0
コスト	安い	高い	高い	安い	高い
バンドギャップ(eV)	1.1	3.3	3.4	4.8	5.5
現状	商品化	商品化	商品化	開発中	開発中



2. 高出力半導体デバイス（市販デバイス）

■ 大出力高周波デバイス (Si-LDMOSFET)

- NXP : 旧Freescale
(Philips/Motorola)
- Ampleon : 旧NXP
(中国)
- Innograion :
3kW(CW)出力デバイスを開発中
(中国)

	NXP	Ampleon	Innogrations	
品名	MRFX1K80H	ART2K5TFUS	MF012K5VPX	
動作周波数	1.8～400MHz	1～400MHz	10～200MHz	
出力電力	1,800W(CW)	2,500W(Pulse)	2,500W(Pulse)	1,450W(CW)
電源電圧	65V	75V	50V	42V
パッケージ				
効率	78%(144MHz)	76%(108MHz)	75%(98MHz)	90%(60MHz)
利得	23.5dB	29.5dB	18dB	19.8dB
反射波対応	65:1(Pulse)	65:1(Pulse)	65:1(Pulse)	
開発	—	—	高耐圧化、高放熱化	



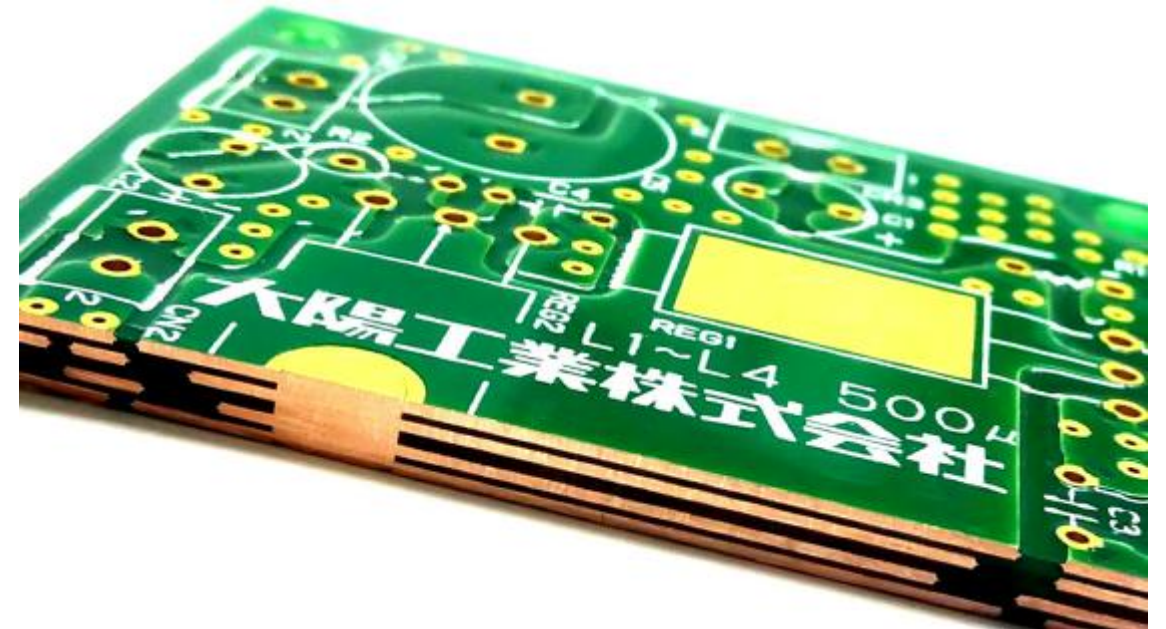
3. 基板／部品

■ 基板

- 低損失基板（大電流が流れるため）
- 裏面に金属板（放熱のため）

■ 部品

- 高耐圧（大電力のため）
- 低損失（大電力のため）
- 大容量（周波数が低いため）



※ 太陽工業のHPより



4. 高放熱構造

■ 熱拡散

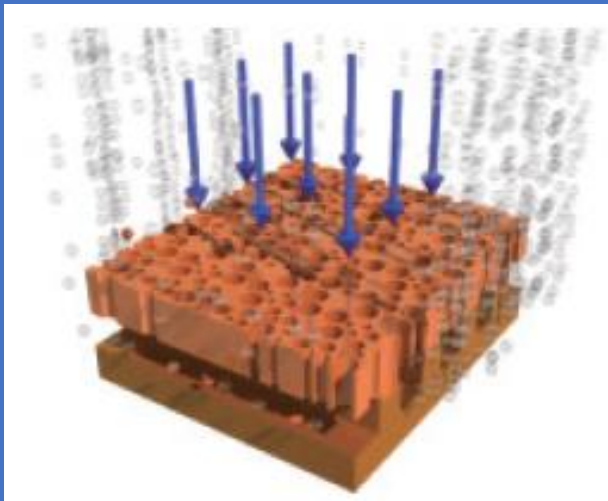
- 点熱源を面熱源へ広げる ⇒ ベーパーチャンバー（沸騰冷却）

■ 放熱

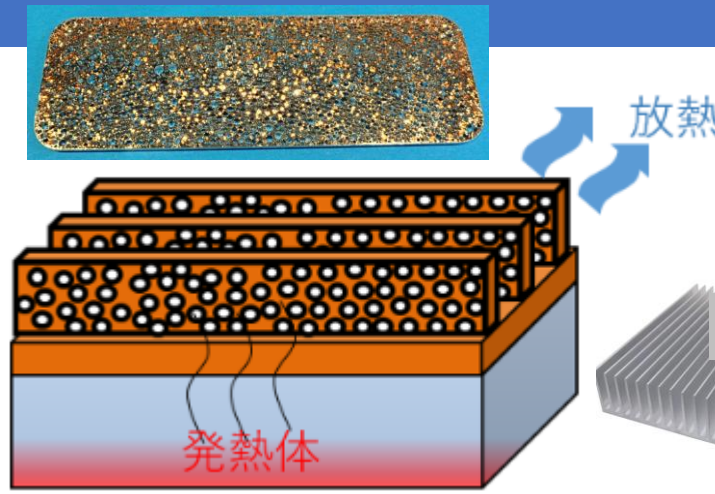
- 小型・高放熱 ⇒ ロータス金属（レンコンのような穴の開いた金属）で数百倍の表面積で放熱

■ 熱変換

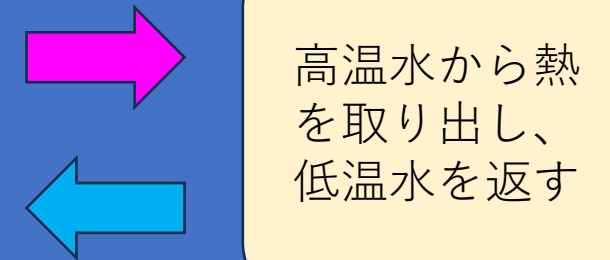
- 空冷／水冷（高周波で液冷は厳しい） ⇒ 素子を冷媒の中に入れられれば、高放熱が可能(富岳のように)



ベーパーチャンバーの構造



ロータス金属の構造と性能



熱変換構造

5. まとめ

- 目標仕様の高周波電源を実現するための課題が判明
- 今後の可能性
 - 大信号合成器ができれば、市販デバイスで数10kWの高周波電源は可能性あり？
 - 半導体デバイスはSi-LDMOSFETだが、将来はGa₂O₃デバイスが有望？
100kWの実現には10kW程度のデバイス（電圧が200V以上）が必要？
 - 放熱はロータス金属を用いたベーパーチャンバー等が有望？

