GN001 アプリケーションノート

エンハンスメントモード
GaN HEMTの紹介

March 08, 2022

GaN Systems Inc.

内容

- 基本メカニズム
  - GaN と２次元電子ガス (2DEG)
  - エンハンスメントモード　GaN E-HEMT
  - GaN Systems シンプルにドライブできるGaN技術
- 電気特性
- デザインリソース

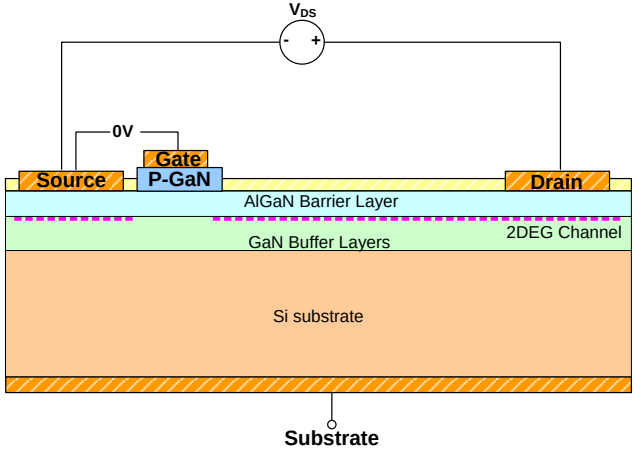
最新のドキュメントのご確認は http://gansystems.com を参照ください

GaN E-HEMTの基本構造

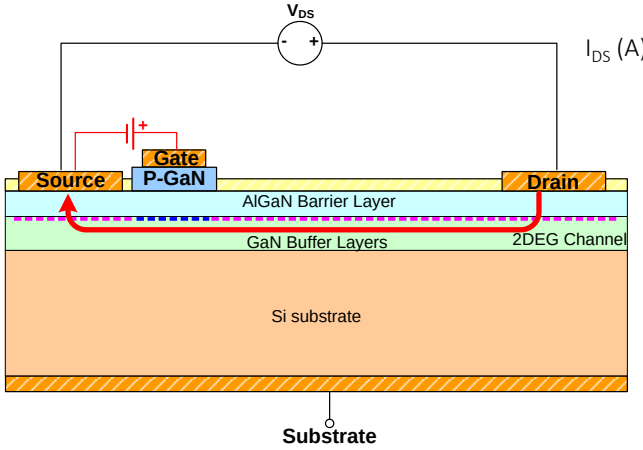
GaN エンハンスト高電子移動度トランジスタ（E-HEMT）

GaN Enhancement mode High Electron Mobility Transistor

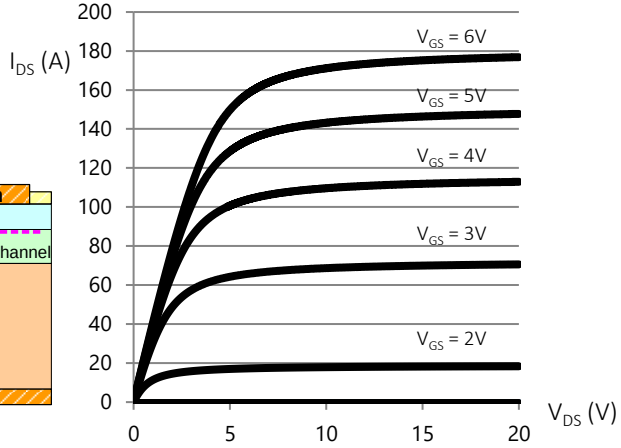
- 横型のAlGaN/GaN のヘテロエピタキシャル構造により形成される2次元電子ガス(2DEG)は、高電子密度で高速である
- エンハンストモードにするため、ゲートが0Vまたは負バイアスの時、2DEG を枯渇させ、正バイアスの時、2DEG を導通させる
- ゲートの動作はMOSFETと同様であるが、優れたスイッチング性能を実現する



OFF 状態



ON 状態

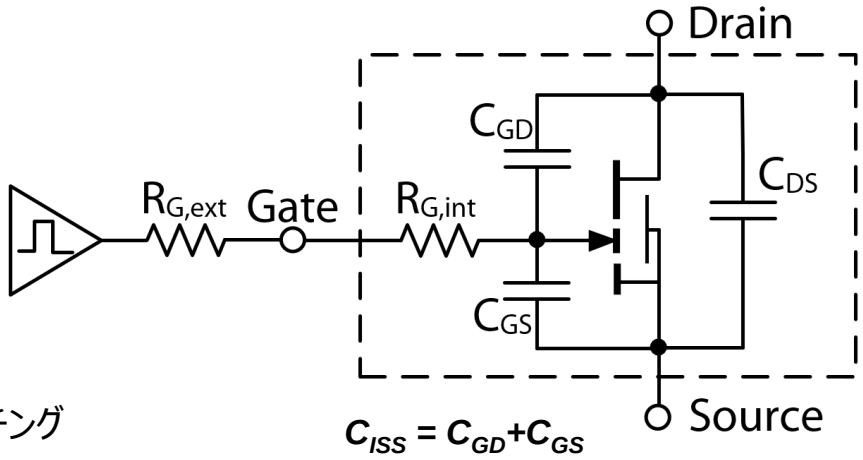


I_{DS} - V_{DS} 特性

シンプルにドライブできるGaNの技術–Simple-driven GaN Technology-

Si(シリコン）MOSFETとの共通点

- エンハンスメントモード（ノーマリーオフ）
- 電圧駆動 – C_{ISS} の充放電による駆動
- ゲート電流はリーク電流 I_{GSS} のみ
- ゲート抵抗 R_G により、V_{DS}のスルーレートは容易に制御可能
- Siドライバを使用できる



Si MOSFETとの相違点

- ゲート電荷量（Q_G）が低い:ドライブロスが少なく高速のスイッチング
- 高いゲインであり、低いゲートソース電圧 V_{GS} ：5-6V 推奨値
- ゲート閾値 $V_{G(th)}$ が低い：typ. 1.5V

他のE-HEMTとの比較

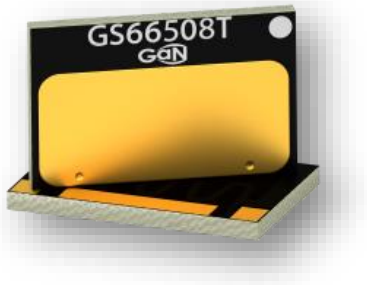
- ロバストなゲート: +10/-20V 最大定格
- ゲートドライブに直流電流は不要
- ゲートドライブのためにダイオードやトランジスタは不要

Gate Bias Level	GaN Systems GaN E-HEMT	Si MOSFET	IGBT	SIC MOSFET
Maximum rating	-20/+10V	-/+20V	-/+20V	-8/+20V
Typical gate bias values	0 or-3/+5-6V	0/+10-12V	0 or -9/+15V	-4/+15-20V

❖ GaN HEMTの**ゲートドライブ**に関する詳しい情報は アプリケーションノート**GN012**を参照してください

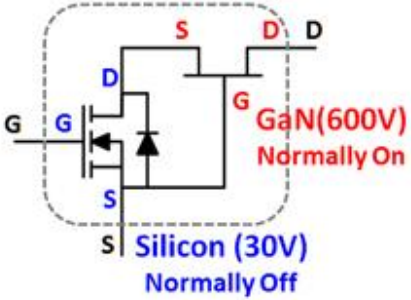
GaN 方式比較

GaN Systems E-mode HEMT



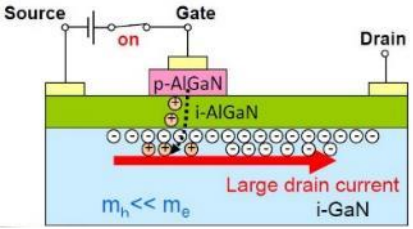
- **純粋なエンハンスメントモード**
- **D,S,Gで構成される電圧駆動スイッチ**
- **FOMと性能に優れる**
- **Island Technology®スケーリングが容易**
- **GaNPx ® 低L エンデベッドパッケージ**
- **リカバリー損失がゼロ**
- **容易に並列駆動ができる**

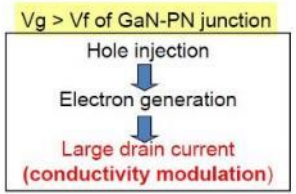
D-mode GaN (カスコード)



- D-GaNとSi-FETをカスコード接続してノーマリオフ化
- スイッチングのスピード制御が難しい(EMIに課題)
- 内部の接続に信頼性の課題
- Si-FETとGaNのマッチングに制約
- リカバリー損失がある (Si-FETのQrr)
- 並列駆動が困難である

GaN Gate Injection Transistor (GIT)





- ゲートの電流が大きい（BJTのような電流駆動）
- スイッチング制御が難しい-ゲート特性が複雑
- 再結合電流の影響:
  - 特性が温度の影響を受ける
  - 並列駆動の安定動作が課題
  - GaNの中では低速
  - E-HEMTよりFOMが悪い

内容

- 基本のメカニズム
- 電気特性
  - フィギュアオブメリット（性能指標）
  - 逆導通特性
  - ゼロ逆回復特性
  - 出力容量
  - スイッチング動作の比較
  - スイッチングエネルギー
- デザインリソース

フィギュアオブメリット（性能指標）

＊FOM：Figure of Merit

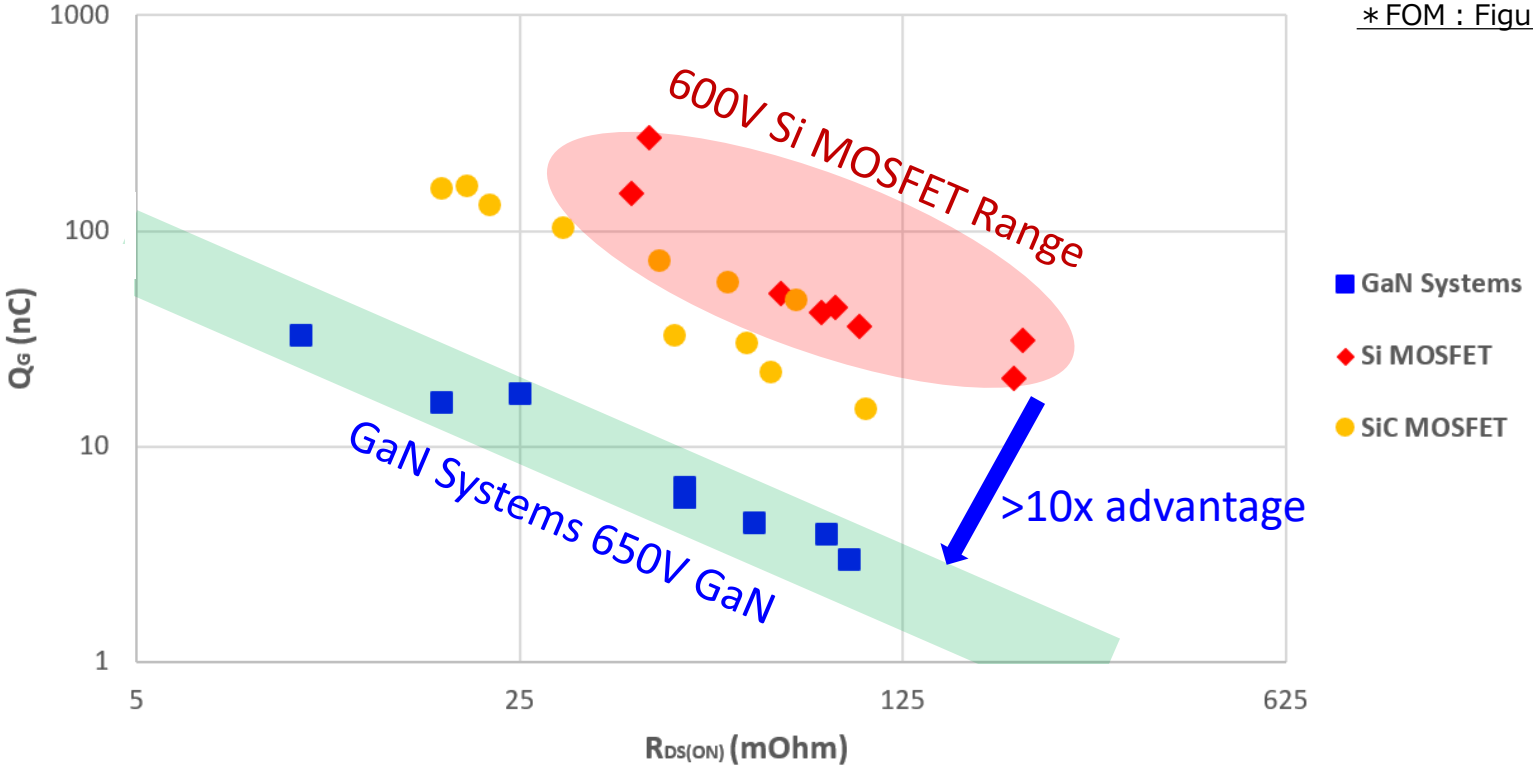
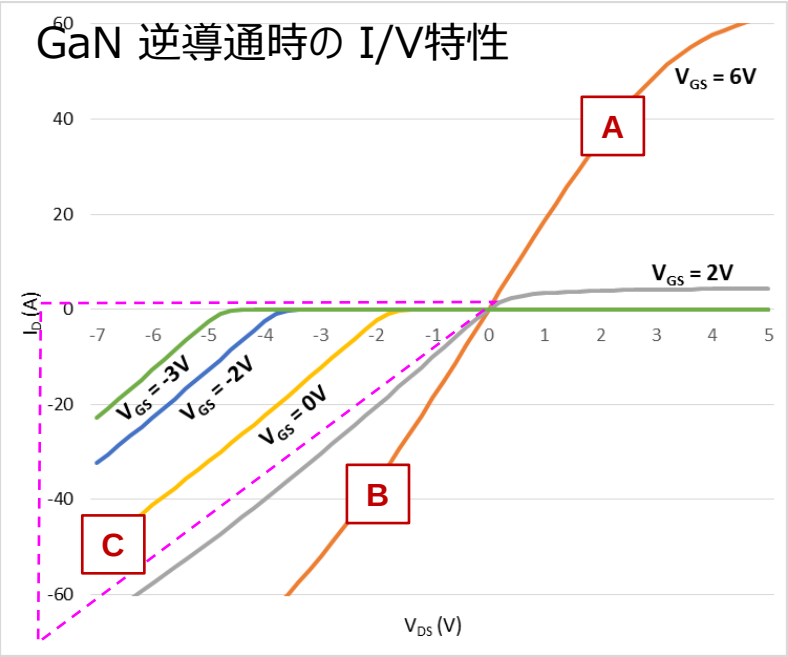


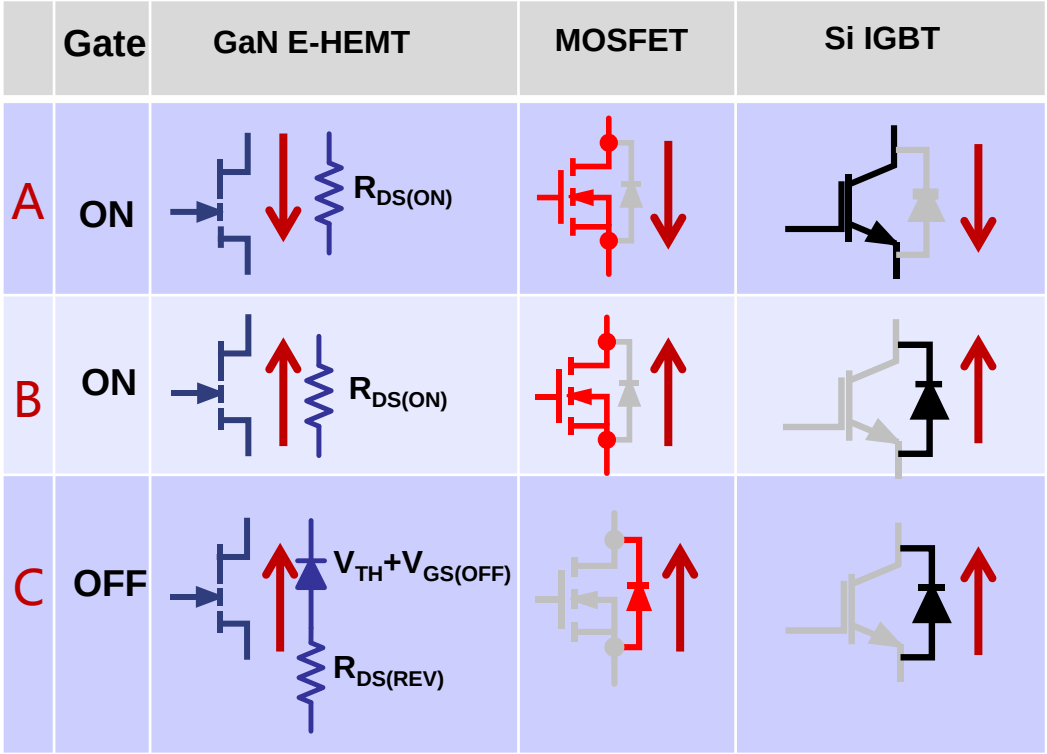
Figure of Merit of 650V/600V Power Switches (Feb.2020 update)

❖ GaN SystemsのE-HEMTはSiやSiC MOSFETに対して **R_{ON} x Q_G の積が小さく**（この値をFOMと定義）
結果、**スイッチングに要するチャージが少なく** また **スイッチングが高速に遷移する**

逆導通特性



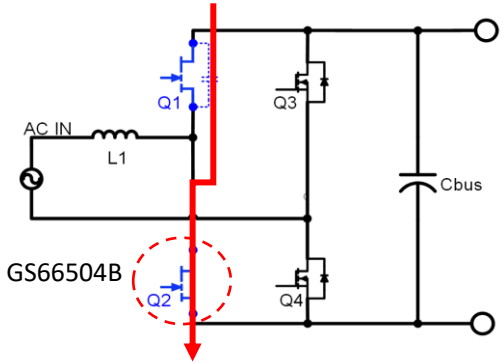
- ゲートがオフの時 (デッドタイムの期間)、2DEG は VF= Vth+ VGS(off)のダイオードのように動作する



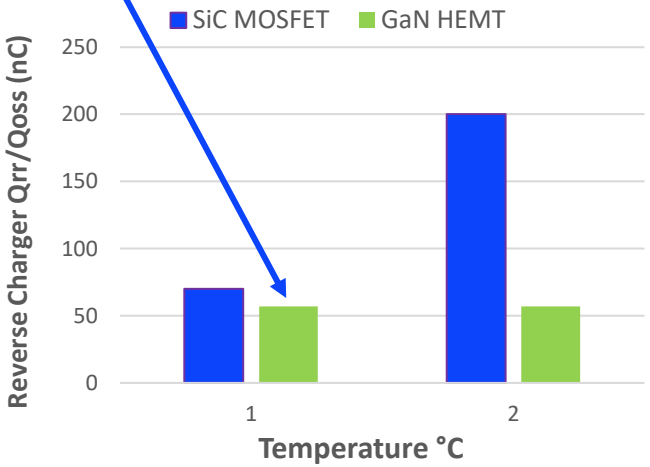
- ❖ GaN E-HEMTTは、MOSFETのような **ボディダイオードがない**
- ❖ 2DEGは、上図のように第３象限を導通できるため、IGBTに用いるような**逆並列ダイオードは不要**

詳細情報: https://gansystems.com/wp-content/uploads/2020/01/Common-misconceptions-about-the-MOSFET-body-diode.pdf

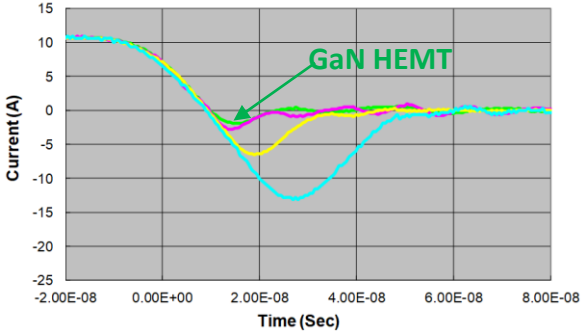
ゼロ逆回復特性



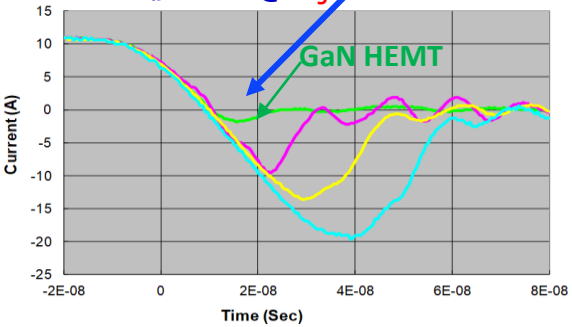
- **GaN HEMTは Qoss （出力電荷量）のみ存在し Qrr（逆回復電荷量）はゼロ**



逆回復特性 @ Tj=25°C



逆回復特性 @ Tj=100°C



GaN HEMT 650V/15A　SiC MOSFET 650V/120mΩ　Si MOSFET 650V/15A　Si diode 650V/15A

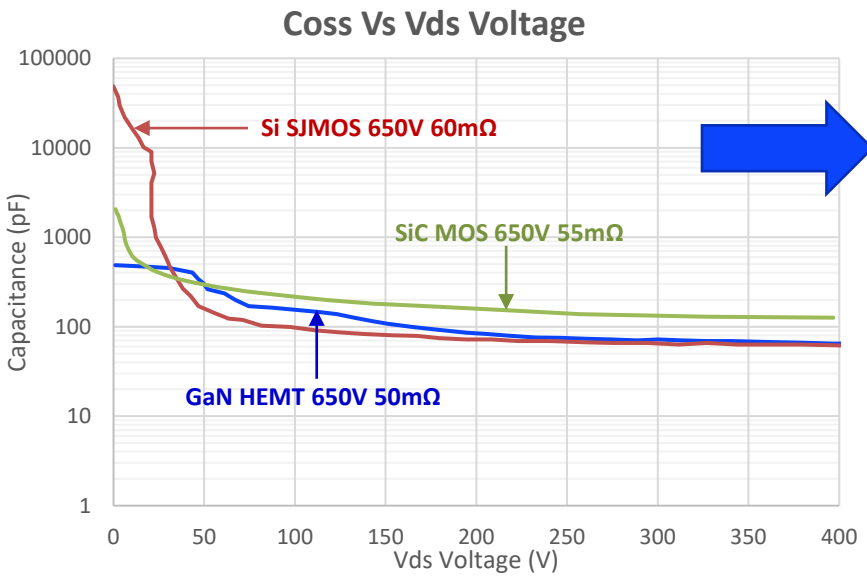
❖ Qrr（逆回復電荷量）がゼロなので、**スイッチングロスが小さく、**かつ **EMIノイズを低減できる**

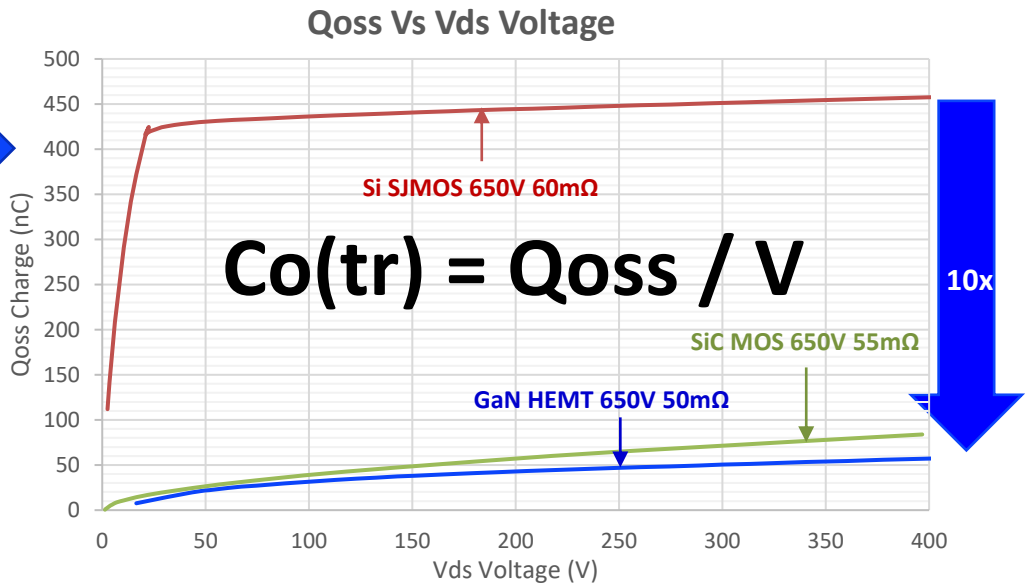
出力容量

$$\begin{cases} Q_{oss} = C_{o(tr)} \cdot V \\ Q_{oss} = \int_0^{Vds} Coss(v)\, dv \end{cases}$$

Coss 特性 → Qoss 特性 → Co(tr) 値算出

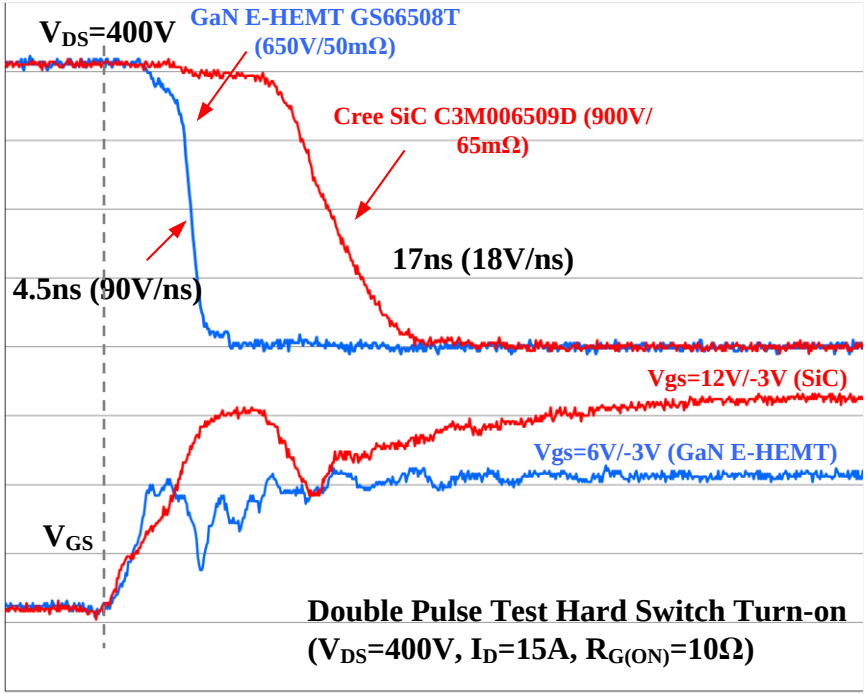
＊Co(tr);時間換算実効容量
Effective output capacitance, time related

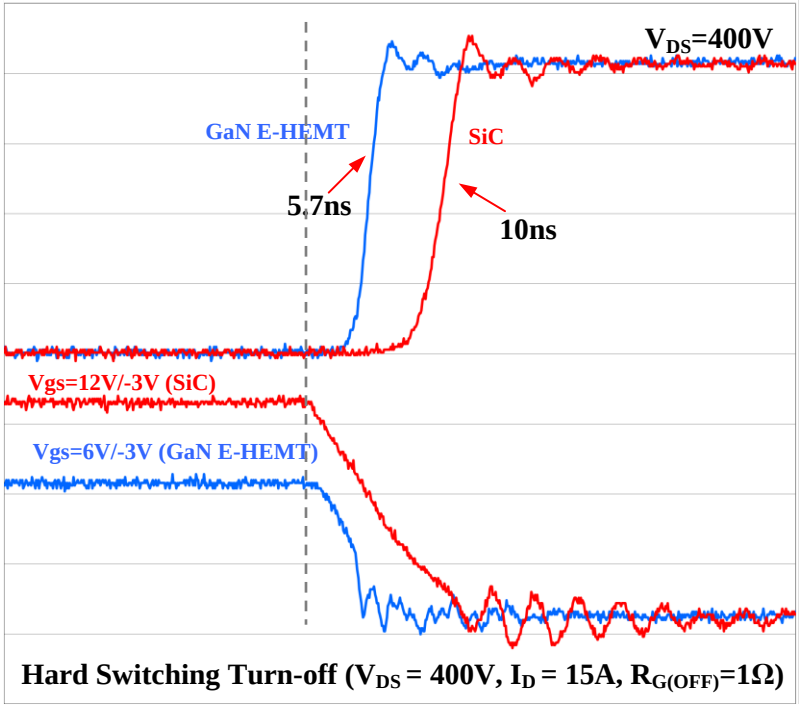




- Co(tr)が、GaNに対して、SiのSJMOSは**~10倍**; SiC MOS は **~1.5倍**大きい.
- 出力容量が小さいことで、**スイッチングロスを抑えたゼロ電圧スイッチング (ZVS)を実現する**

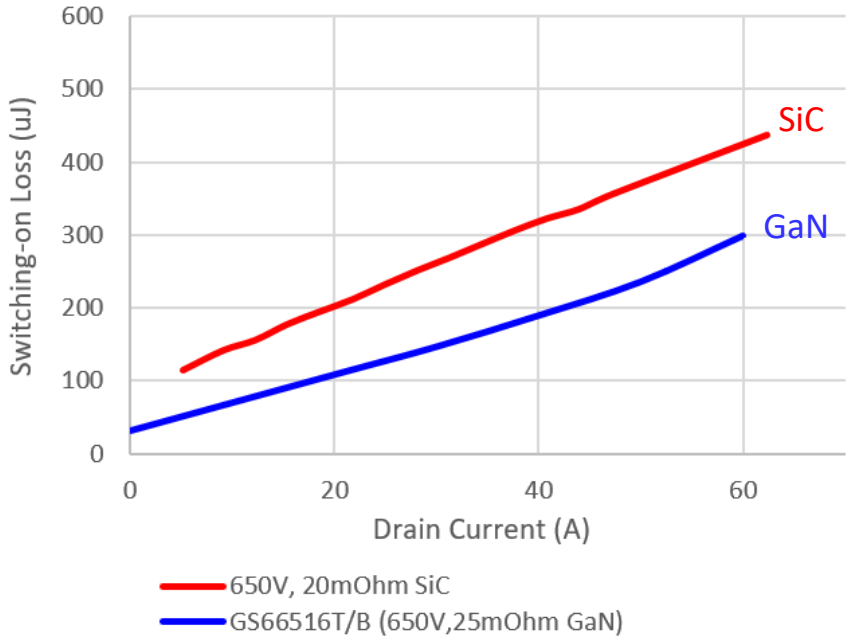
スイッチング動作の比較

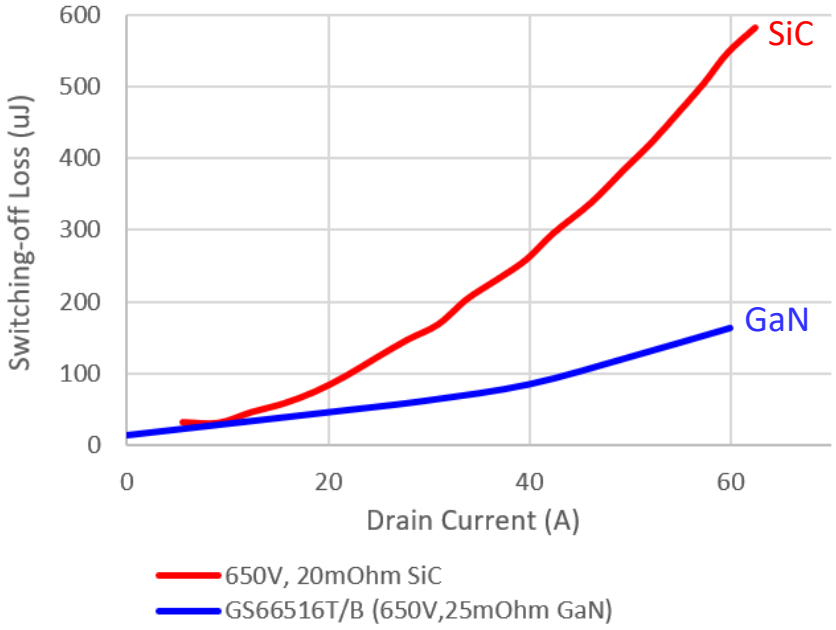




- GaNは、スイッチングの遷移を比較した図に示すように、同程度の$R_{DS(ON)}$のSiC MOSFETに対し、**ターンオンが４倍速く**、**ターンオフが2倍速く**、**スイッチングロスが小さい**
- GaN HEMTの高速スイッチングのパフォーマンスを最大限生かすには、PCBのパターン設計が重要である。
  詳しい情報はアプリケーションノート GN009をご参照ください https://gansystems.com/

スイッチングロス





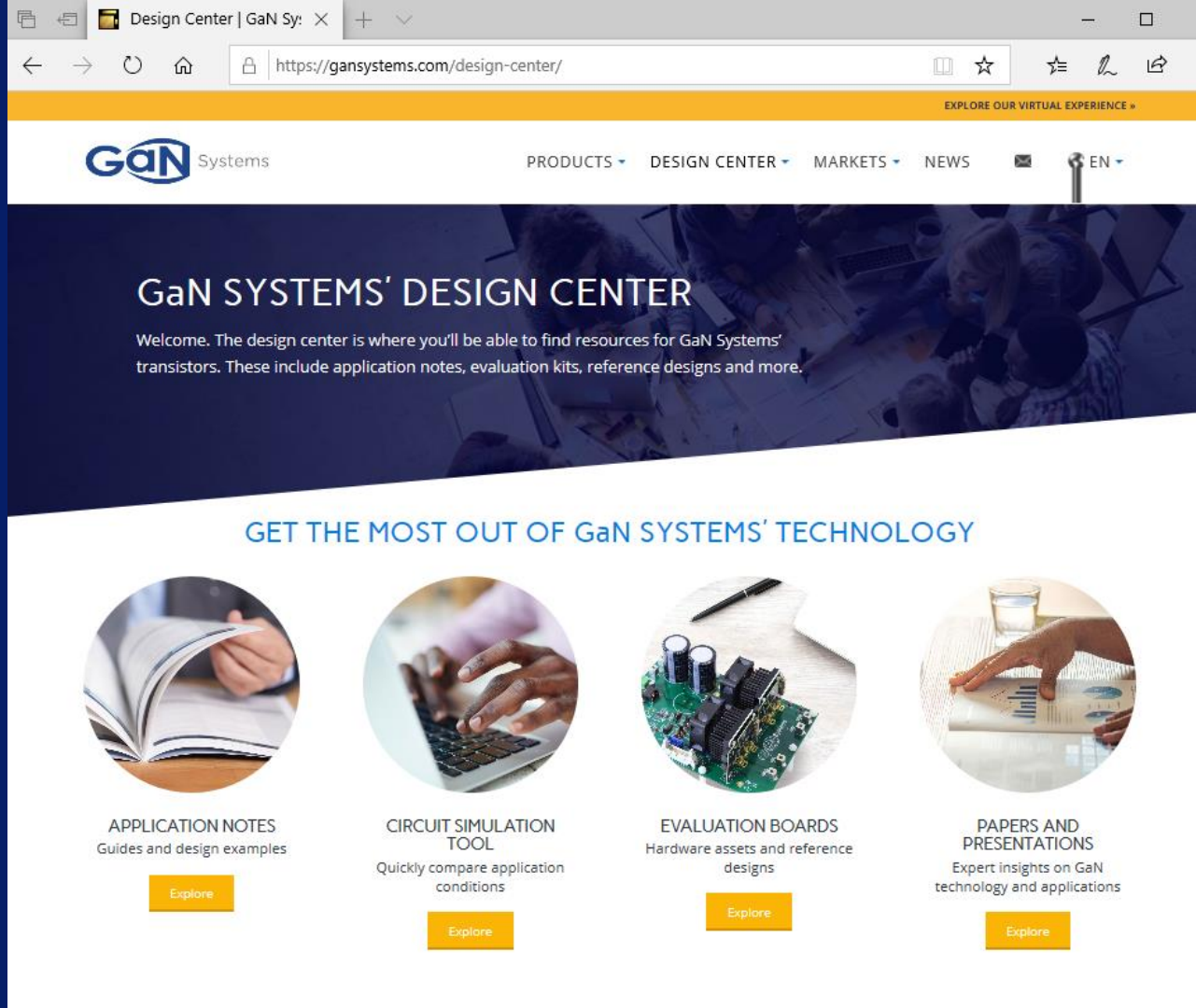
❖ 図に示すように、650V、ほぼ同じ$R_{DS(ON)}$ のSiC MOSFETとGaNのスイッチングロスを比較すると、GaNの方が**顕著に低い**ことを分かる

内容

- 基本メカニズム
- 電気特性
- デザインリソース

GaN Systems Design Center

- 有効な設計資料やツールを提供
  - 見つけやすく
  - 使いやすい



GaN Systems

APP NOTES

- レイアウト
- ゲートドライバ
- 並列ドライブ
- 熱設計
- シミュレーション
- はんだ実装

GaN Systems

PRODUCTS DESIGN CENTER MARKETS COMPANY EN

Application Notes

Our unique portfolio of GaN power transistors enables the design of smaller, lower cost, more efficient power systems that are free from the limitations of yesterday's silicon. Our application guides and design examples will help you understand and get the most out of GaN Systems' technology.

App Notes – Chinese

Document #	App Notes
GN001	An Introduction to GaN E-HEMTs
GN002	Thermal Design for Packaged GaNPX® Devices
GN003	Measurement Techniques for High-Speed GaN E-HEMTs
GN004	Design considerations of paralleled GaN HEMT
GN006	SPICE model for GaN HEMT usage guidelines and example
GN007	Modeling Thermal Behavior of GaNPX® packages Using RC Thermal SPICE Models
GN008	GaN Switching Loss Simulation Using LTSpice
GN009	PCB Layout Considerations with GaN E-HEMTs
GN010	EZDrive™ Solution for GaN Systems E-HEMTs
GN011	Soldering Recommendations for GaNPX® Packaged Devices
GN012	Gate Driver Design with GaN E-HEMTs

Document #	App Notes – Japanese 日本語
GN001	GaN E-HEMTの概要
GN002	GaNPX® パッケージデバイスの熱設計
GN003	高速GaN E-HEMTの測定技術
GN004	GaN HEMTの並列動作の考慮事項
GN007	RCサーマルSPICEモデルを用いたGaNPXパッケージの熱モデル
GN008	LTSpiceを用いたGaNのスイッチングロスのシミュレーション
GN009	GaN E-HEMTを実装するPCBのレイアウト設計手順
GN010	GaN Systems' E-HEMTのためのEZDrive ソリューション
GN011	GaNPX®パッケージデバイスのはんだ付けに関する推奨事項
GN012	ゲートドライバ回路設計

GaN Systems

オンライン シミュレーション ツール

GaN Systems

PRODUCTS DESIGN CENTER MARKETS NEWS EN

Welcome to the GaN Systems Circuit Simulation Tools

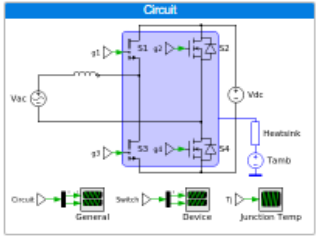
The Circuit Simulation Tool allows you to compare application conditions by implementing specific operating values. Choose various source and load parameters, number of devices to parallel, heat sink parameters etc. Live simulated operating and switching waveforms are generated as well as data tables showing calculations for loss and junction temperature allowing you to compare the effect of parameter variations or the operation of different parts directly.

You may also download the PLECS device model files for GaN Systems' transistors.

- BRIDGELESS TOTEM-POLE PFC
- SINGLE-PHASE, 2-LEVEL INVERTER
- SINGLE-PHASE, 3-LEVEL HALF-BRIDGE INVERTER
- SINGLE-PHASE T-TYPE 3-LEVEL INVERTER
- ISOLATED HALF-BRIDGE LLC CONVERTER
- ISOLATED PHASE-SHIFT FULL BRIDGE CONVERTER
- THREE-PHASE TRACTION INVERTER
- DUAL ACTIVE BRIDGE

Bridgeless Totem Pole Circuit Simulation Tool

Choose various source and load parameters, number of devices to parallel, heat sink parameters etc. Live simulated operating and swi waveforms are generated as well as data tables showing calculations for loss and junction temperature allowing you to compare the eff parameter variations or the operation of different parts directly. If you are interested in receiving the PLECS device model for GaN Syste transistors, contact us.



Input voltage Vac:	230	Vrms
Input frequency:	60	
Load voltage Vdc:	400	V
Inductance:	2	mH
Switching frequency:	50	kHz
Rated power:	2000	VA
Load sweep selection:	Sweep power rating P	

Scaling factor for power rating:

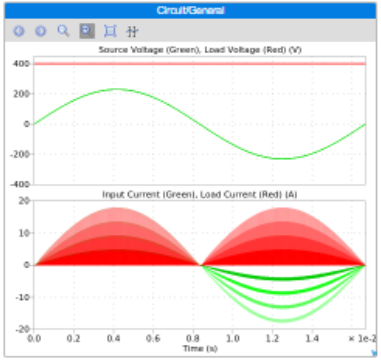
- ☑ 25%
- ☑ 50%
- ☑ 75%
- ☑ 100%

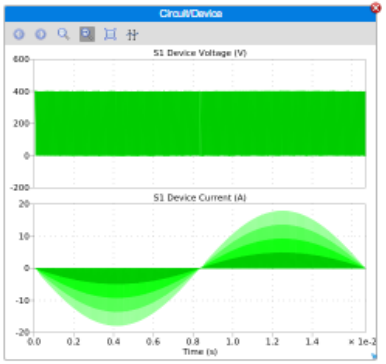
External turn-on gate resistance [1]:	10	Ω
External turn-off gate resistance [2]:	2	Ω
Turn-off gate-source voltage:	-2	V
Deadtime:	100	ns
Number of paralleled GaN transistors:	1	
Ambient Temperature:	25	°C
Rth case to heatsink:	0.05	K/W
Rth heatsink to ambient:	0.5	K/W
Heatsink thermal capacitance:	1	J/K

GaN HEMT:

- ☐ GS66502B 650 V, 7.5 A, 200 mΩ
- ☐ GS66504B 650 V, 15 A, 100 mΩ
- ☐ GS66506T 650 V, 22.5 A, 67 mΩ
- ☑ GS66506B/T/P 650 V, 30 A, 50 mΩ
- ☐ GS66516B/T 650 V, 60 A, 25 mΩ

Simulate Hold result





System overview

GaN Device	MOSFET Rdson [3]	Input Voltage	Output Voltage	Power Rating	Switching Frequency	Efficiency
GS66508B/T/P	143 mΩ	230 V	400 V	496 W	50 kHz	99.31 %
GS66508B/T/P	108 mΩ	230 V	400 V	998 W	50 kHz	99.00 %
GS66508B/T/P	82 mΩ	230 V	400 V	1.498 kW	50 kHz	98.57 %
GS66508B/T/P	62 mΩ	230 V	400 V	1.999 kW	50 kHz	98.03 %

GaN transistor thermal overview

Device	Switching	Conduction	Combined Losses [4]	Junction Temperature
GS66508B/T/P	1.44 W	0.29 W	3.42 W	28 °C
GS66508B/T/P	1.74 W	1.62 W	9.99 W	33 °C
GS66508B/T/P	2.06 W	4.48 W	21.46 W	40 °C
GS66508B/T/P	2.48 W	9.58 W	39.41 W	51 °C

- GaN Systemsのオンライン シミュレーション ツールは、PLECS モデルが用いられています
- すべての GaN Systems 製品が、８つの回路トポロジーでご利用可能です https://gansystems.com/

GaNの効果の確認に役立つ – 評価ボード

65W PD QR & ACF Chargers

100W PFC + QR Type-C USB PD 2C port Charger

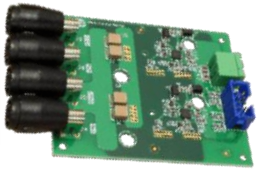
250W AC/DC PFC & LLC Charger

400W Class D Audio Amp & SMPS Eval Kit

12V High-Efficiency Class D Audio Reference Designs

650V test kit

EZDrive™ Eval Kit



50W Wireless Power Amplifier

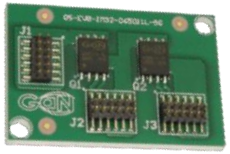
100W Wireless Power Amplifier

300W Wireless Power Amplifier

100V Buck/Boost Evaluation Board with Driver GaN Power Stage

650 V Universal Motherboard

650V 150A HB IPM



650V 300W~500W Low Power IMS2 GaN Half-Bridge & driver board

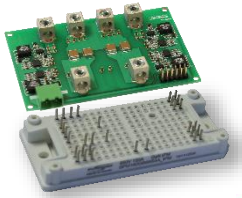
3KW High Efficiency LLC

3kW bridgeless totem pole PFC

High Power Dual Half Bridge Full Bridge, driver board

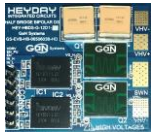
Non-isolated Half Bridge Driver evaluation board

650 V GaN E-HEMT Daughter Board

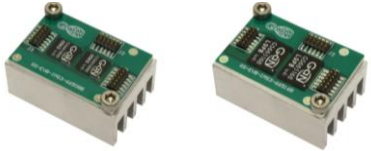

650V 150A FB Module With driver board

100V High-Speed GaN Half-Bridge

High Power half bridge driver board


650 V Half Bridge Bipolar Gate Drive Evaluation Board

650 V Universal HB Isolated Driver Motherboard for IMS2 & IMS3


3kW & 6kW IMS3 half bridge power boards

650 V 30A & 60A GaN Half-Bridge and Driver with Over Current Protection

デザインツールとリソース gansystems.com

GaN Systems

トランジスタドキュメント

DOWNLOADS
- Datasheet
- Spice Models
- Step File
- Allegro Library
- Altium Library

REACH Statement
RoHS Certificate of Compliance

DESIGN CENTER

- Overview
- Application Notes
- Online Simulation Tools
- Featured Developments
- Papers, Webinars, Articles and Presentations
- Partners

plexim
electrical engineering software

Online circuit simulation tool

Features
- Several topologies
- GaN Systems products with paralleling options
- Change values on input variables
- Circuit and GaN transistor output waveforms

GaN Systems

https://gansystems.com/

アプリケーションノート

Document #	App Notes
GN001	An Introduction to GaN E-HEMTs
GN002	Thermal Design for Packaged GaNPX® Devices
GN003	Measurement Techniques for High-Speed GaN E-HEMTs
GN004	Design considerations of paralleled GaN HEMT
GN006	SPICE model for GaN HEMT usage guidelines and example
GN007	Modeling Thermal Behavior of GaNPX® packages Using RC Thermal SPICE Models
GN008	GaN Switching Loss Simulation Using LTSpice
GN009	PCB Layout Considerations with GaN E-HEMTs
GN010	EZDrive™ Solution for GaN Systems E-HEMTs
GN011	Soldering Recommendations for GaNPX® Packaged Devices
GN012	Gate Driver Design with GaN E-HEMTs

Document #	App Notes – Japanese 日本語
GN001	GaN E-HEMTの概要
GN002	GaNPX® パッケージデバイスの熱設計
GN003	高速GaN E-HEMTの測定技術
GN004	GaN HEMTの並列動作の考慮事項
GN007	RCサーマルSPICEモデルを用いたGaNPXパッケージの熱モデル
GN008	LTSpiceを用いたGaNのスイッチングロスのシミュレーション
GN009	GaN E-HEMTを実装するPCBのレイアウト設計手順
GN010	GaN Systems' E-HEMTのためのEZDrive ソリューション
GN011	GaNPX®パッケージデバイスのはんだ付けに関する推奨事項
GN012	ゲートドライバ回路設計

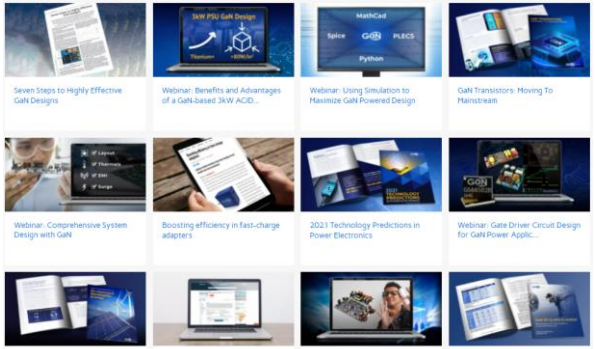
FAQ よくある問い合わせ

All / Device Characteristics / Gate Drive / General / Getting Started / High Frequency / Package & Assembly / Thermal Management

- What are the advantages of GaN versus Silicon?
- In which industries can the use of GaN power transistors drive significant business change?
- Why should executives care as much about GaN technology as power system design engineers do?
- What is GaN Systems' product portfolio?

etc ...

技術論文、記事、発表資料



etc ...

Tomorrow’s power today™

Product and application support at

gansystems.com