



スイッチング波形に基づく ドレイン-ソース間容量特性の 測定手法に関する検討

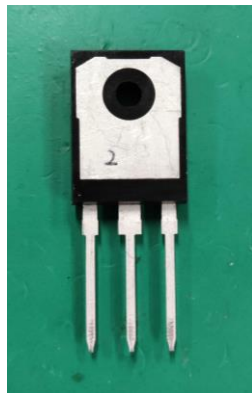
2023年3月16日 電気学会全国大会

京都工芸繊維大学 電子システム工学課程

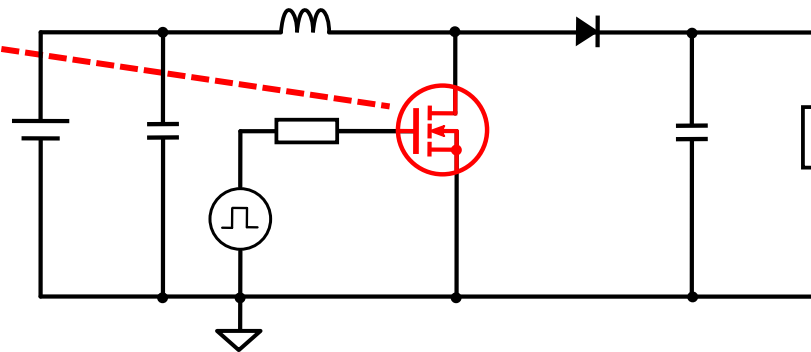
熊田翔, 西谷洋太[†], 古田潤, 小林和淑, 新谷道広,
(京都工芸繊維大学, [†]奈良先端科学技術大学院大学)

研究背景

- ワイドバンドギャップ半導体を用いたパワーMOSFETの登場
 - SiC: 高温動作、高耐圧、低損失が可能
 - 優れた特性を引き出すため、回路シミュレーションを用いた回路最適化は必須の工程
- 回路シミュレーションはデバイスモデルの精度に依存



例) SiC MOSFET

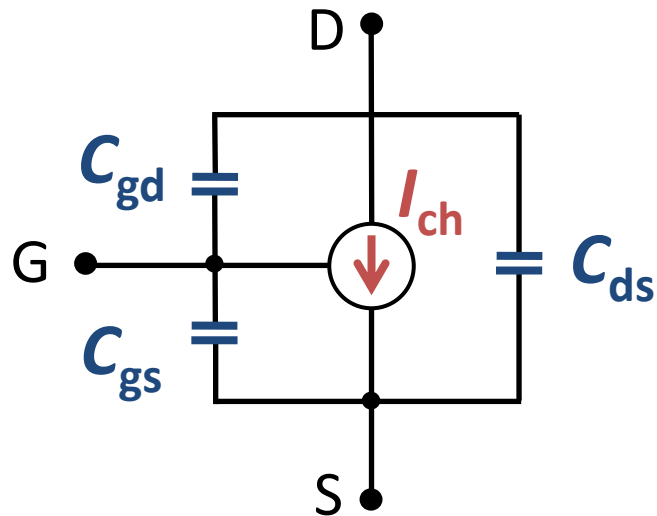


SPICE simulator

MOSFETのデバイスモデル

- 電流・容量特性をモデル化

$$I(t) = I_{ch}(t) + \frac{dQ}{dt}$$



MOSFETのデバイスモデル

業界標準の測定方法

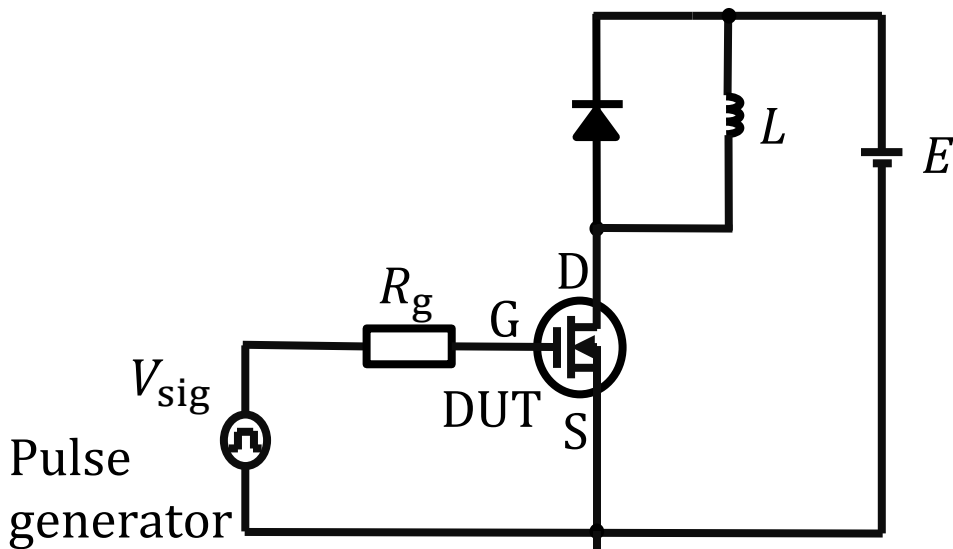
- 電流特性も容量特性も高価な半導体パラメータアナライザを使用
- 特定のバイアス条件下の測定しかできずモデル化には不適切

動作を考慮した測定方法

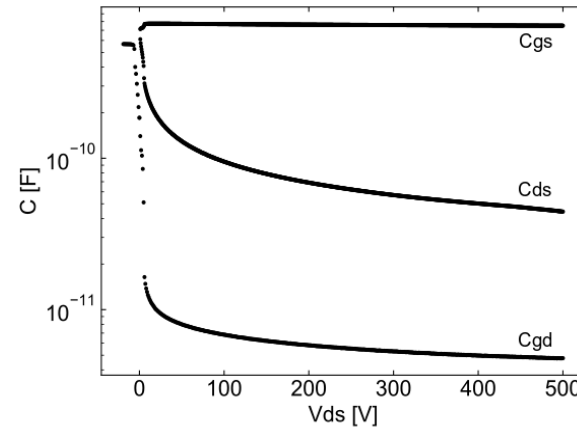
- 電流特性
 - ドレインパルス方式[1]
- 容量特性
 - C_{gs} と C_{gd} をスイッチングから測定[2]
 - C_{ds} は未対応

研究概要

- ドレイン-ソース間容量 (C_{ds}) 特性の測定手法の提案
 - スwitching 波形から容量特性の算出方法
 - 容量特性をモデル式によりモデル化し、半導体パラメータアナライザの実測結果と比較

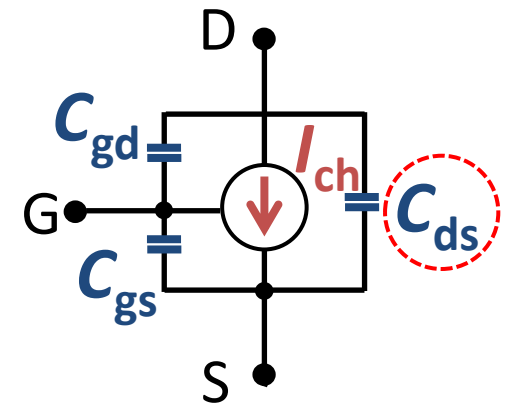


スイッチング波形の取得



容量特性

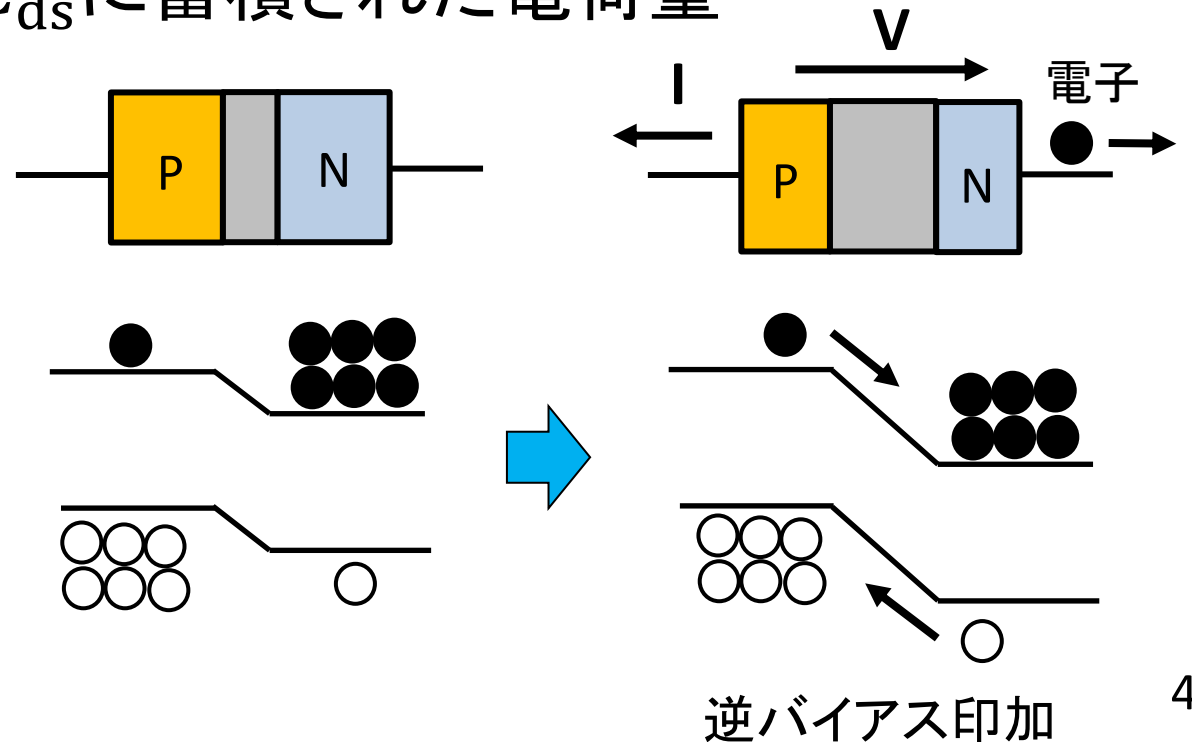
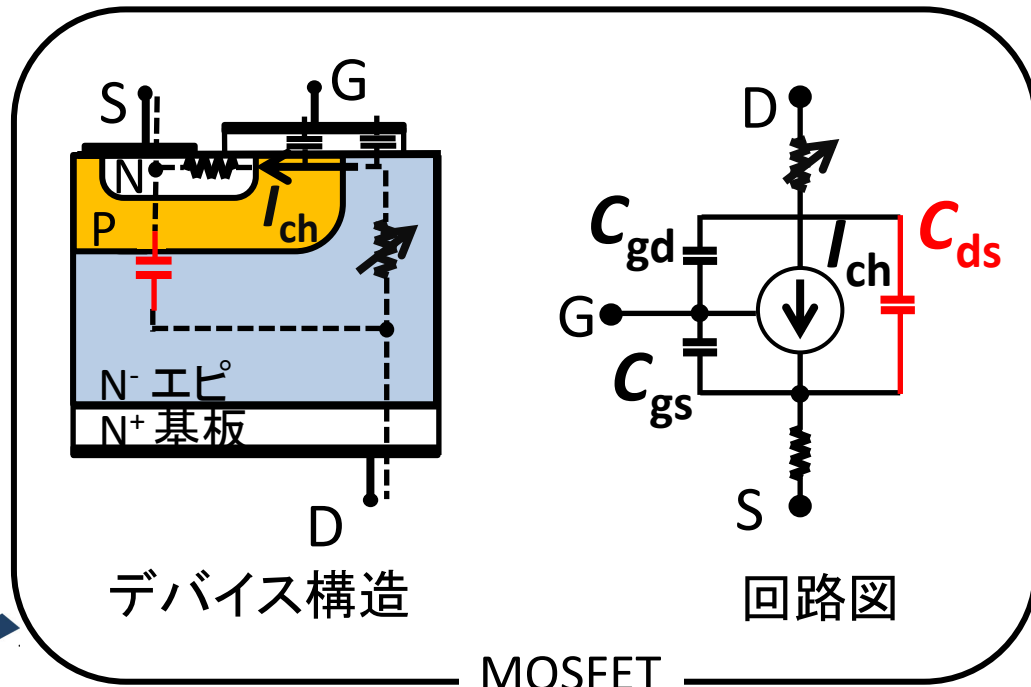
MOSFETの特性実測



MOSFETの等価回路図

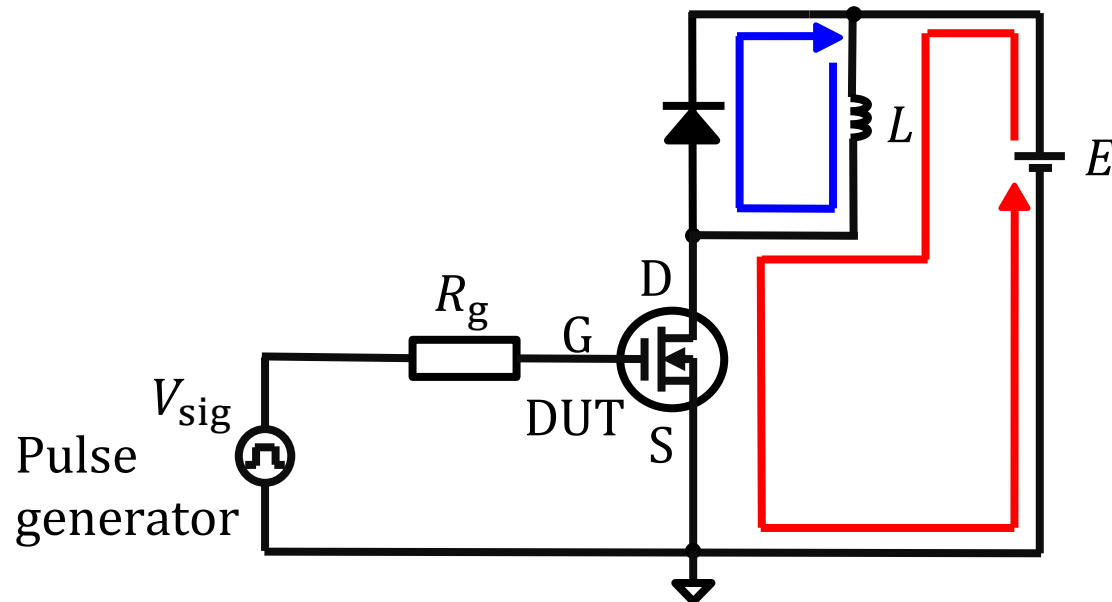
測定原理

- C_{ds} はボディダイオードのPN接合容量
- ボディダイオードに逆バイアスを印加した時の動作に着目
 - 少数キャリアが移動し、微小な電流が流れる
 - 少数キャリアの移動量 $\rightarrow C_{ds}$ に蓄積された電荷量

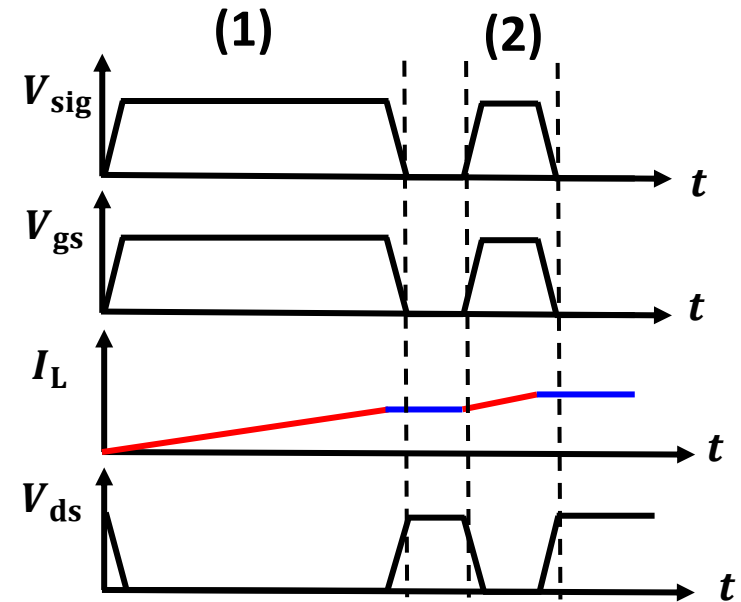


ダブルパルス試験

- スイッチング動作評価に使用される基本回路
 - ファーストパルス：任意の電流値まで上昇
 - セカンドパルス：インダクタにより電流値を保持したまま出力
- 任意の動作条件で測定可能



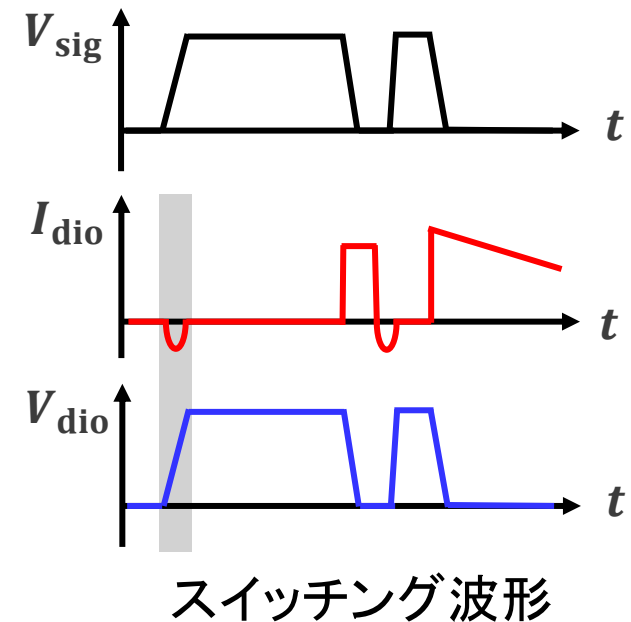
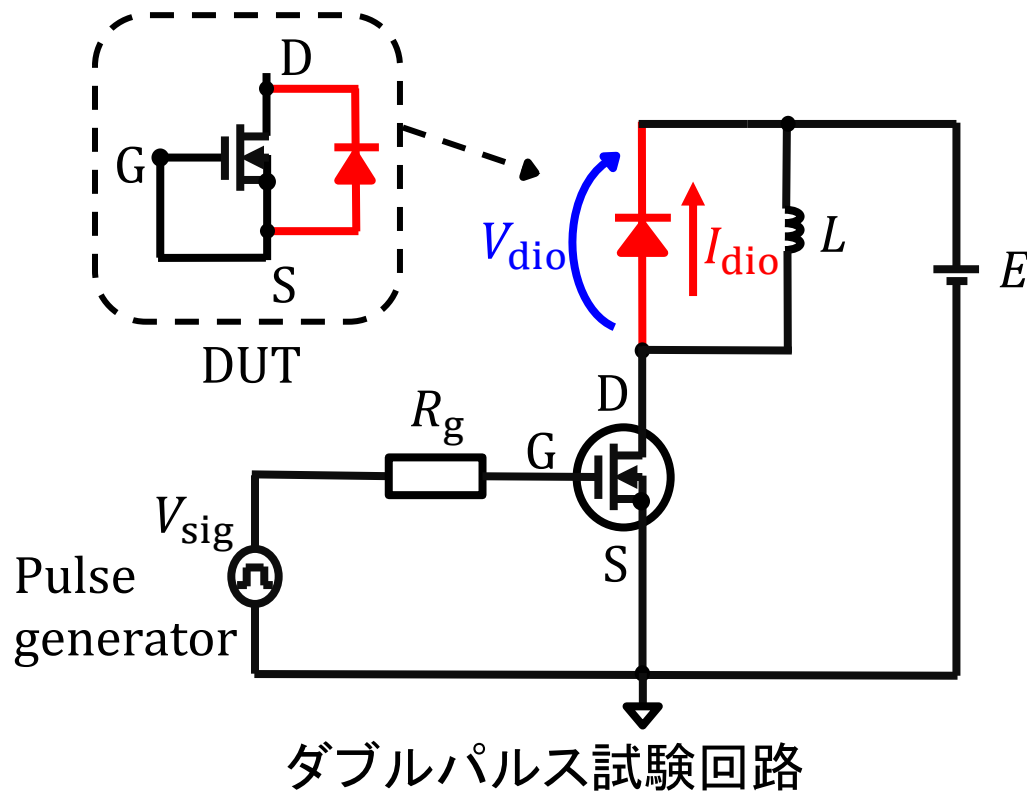
ダブルパルス試験回路



例) スイッチング波形

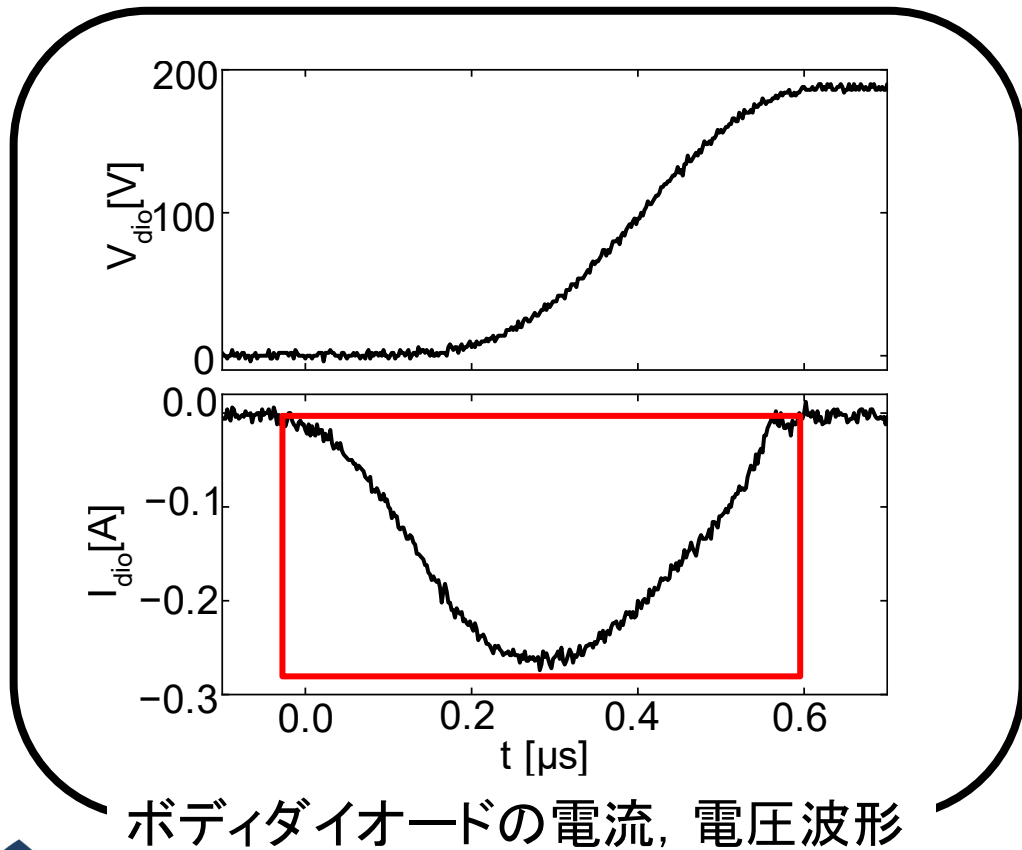
測定方法

- ダブルパルス試験により逆バイアス時のボディダイオードの電流と電圧の波形を測定
 - 電流を時間で積分することにより, C_{ds} に蓄積された電荷量を算出

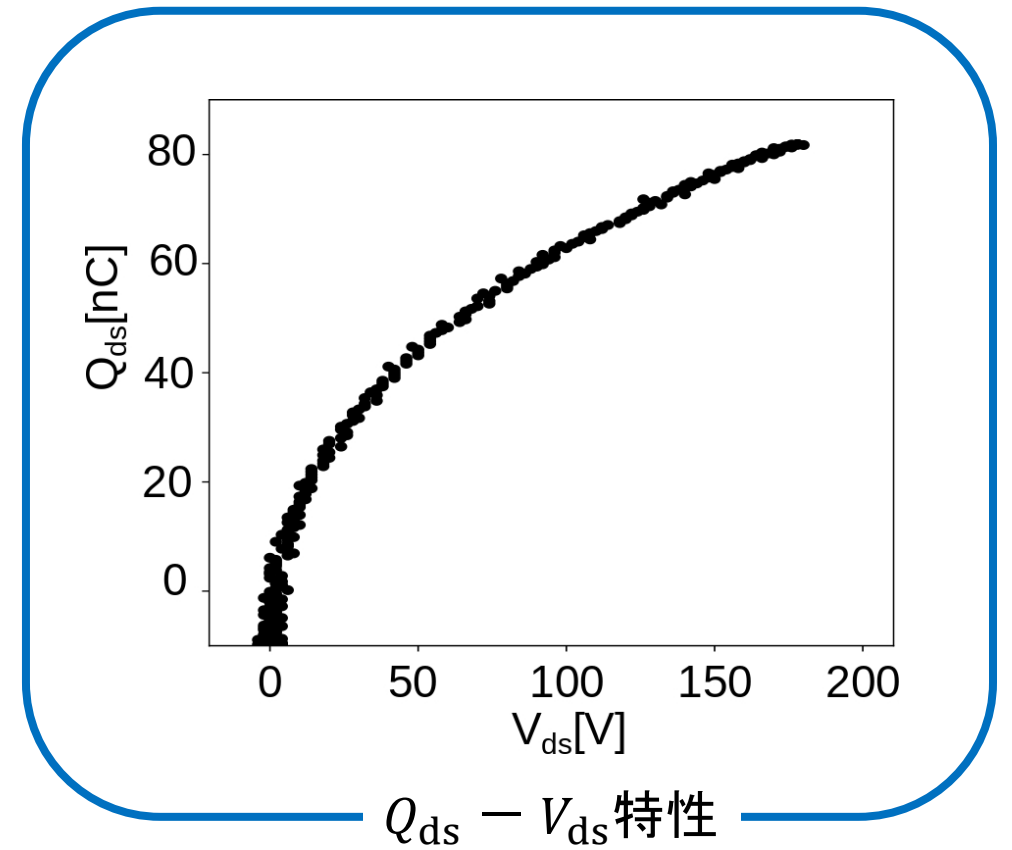


実測結果

使用デバイス: ROHM社製 SCH2080KE (1200 V, 40 A)



積分
→



比較

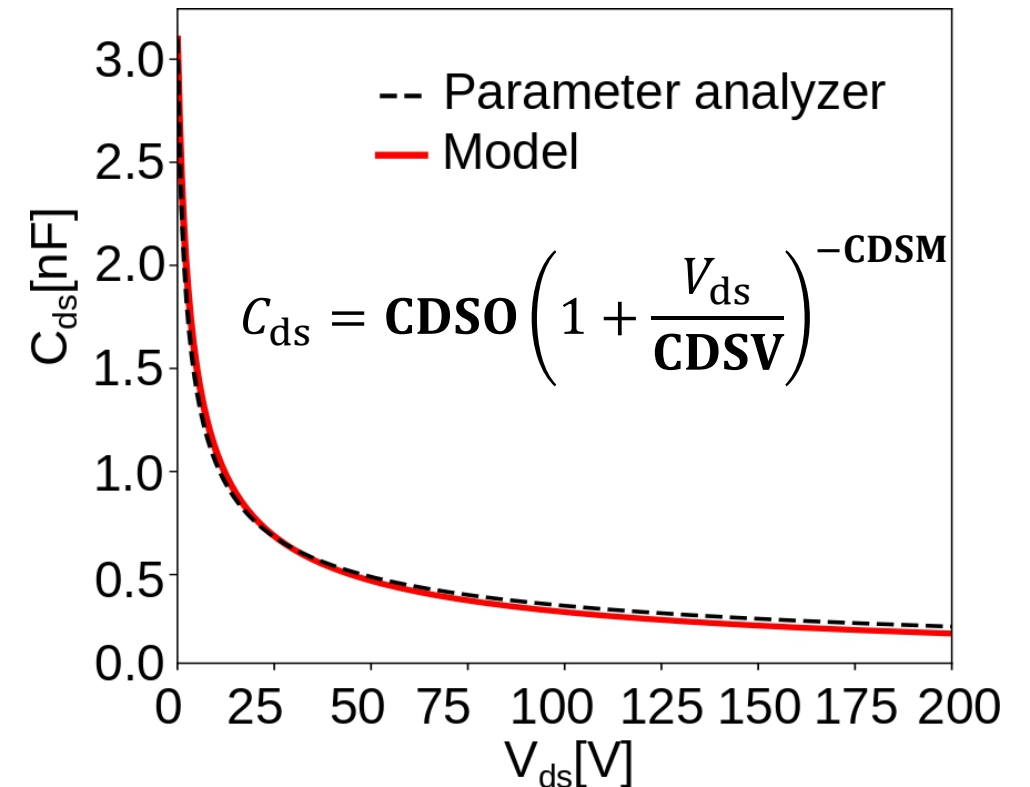
- モデル

- 実測結果の電荷特性を電圧微分することで容量特性に変換
- 容量特性をPN接合容量でモデル化

- 半導体パラメータアナライザ

- 半導体の電気特性を評価するために用いられる装置

→ 結果は良く一致



まとめと今後の展望

- まとめ

- 正確なパワーMOSFETモデル作成に向けて、スイッチング波形からドレイン–ソース間容量特性の測定方法を提案
- 高価な半導体パラメータアナライザ不要
- 市販SiC MOSFETで良好なモデル化結果

- 今後の展望

- 市販SPICEシミュレータにモデルを実装
- DC解析と過渡解析により評価



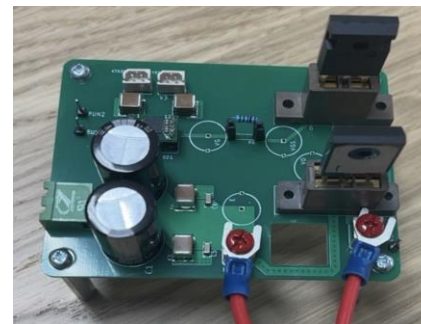
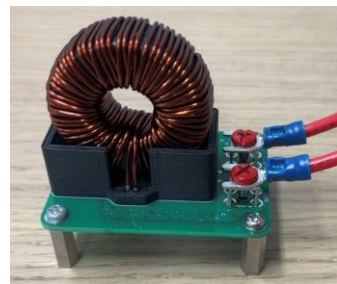
補足スライド



測定条件

- 測定条件

DUT	SCH2080KE (ROHM)
ゲートドライバ	Si8275
電圧E	200V
ゲート抵抗	510 Ω
インダクタ	220 μH



実際の測定回路

モデルパラメータ

- モデルパラメータの算出結果

<モデル式>

$$C_{ds} = \begin{cases} \text{CDSO} \left(1 + \frac{V_{ds}}{\text{CDSV}}\right)^{-\text{CDSM}} & (V_{ds} > 0) \\ \text{CDSO} & (V_{ds} \leq 0) \end{cases}$$

↓ V_{ds} で積分

$$Q_{ds} = \begin{cases} \frac{\text{CDSO} \cdot \text{CDSV}}{1 - \text{CDSM}} \left(1 + \frac{V_{ds}}{\text{CDSV}}\right)^{1 - \text{CDSM}} & (V_{ds} > 0) \\ \text{CDSO} \cdot V_{ds} + \frac{\text{CDSO} \cdot \text{CDSV}}{1 - \text{CDSM}} & (V_{ds} \leq 0) \end{cases}$$

モデルパラメータ	結果
CDSO [nF]	3.10
CDSM [-]	0.579
CDSV [V]	2.00

モデル化結果

- 電荷特性をモデル式によりフィッティング

