

90nm MOSFETでの 飽和速度パラメータ抽出の新アプローチ

群馬大学 電子情報理工学部

小林研究室 学部4年

高橋莉乃

t1304078@gunma-u.ac.jp



Outline

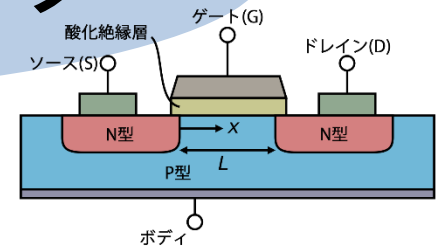
- はじめに
- 速度飽和パラメータ v_{sat} の抽出
 - 速度飽和パラメータ抽出の流れ
 - v_{sat} 式の導出
 - 抽出結果
- まとめ
- 今後の課題

Outline

- はじめに
- 速度飽和パラメータ v_{sat} の抽出
 - 速度飽和パラメータ抽出の流れ
 - v_{sat} 式の導出
 - 抽出結果
- まとめ
- 今後の課題

モデリングの重要性

トランジスタモデリング



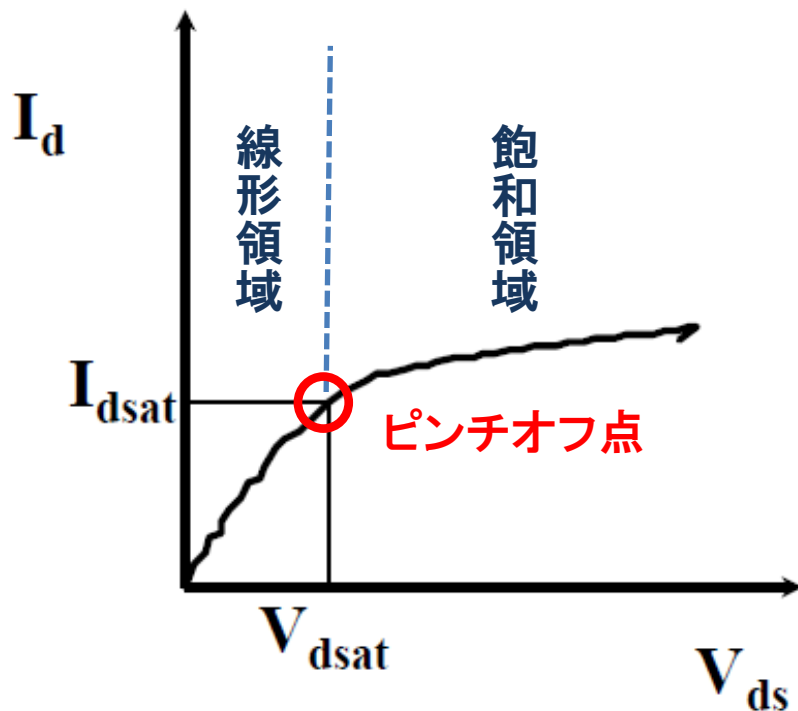
正しい回路シュミレーション

試作の回数を減らす

コスト削減・開発時間の短縮

飽和速度 v_{sat}

トランジスタにかかる電界が非常に高くなり、キャリアの移動速度が限界に達したときの速度。



キーパラメータにも関わらず
モデルが無い

経験的にあたりをつけてフィッティング



物理モデル的な抽出法を考案

Outline

- はじめに
- 速度飽和パラメータ v_{sat} の抽出
 - 速度飽和パラメータ抽出の流れ
 - v_{sat} 式の導出
 - 抽出結果
- まとめ
- 今後の課題

飽和速度抽出の流れ

BSIM4モデルより v_{sat} についての式を導出

必要なパラメータを抽出

v_{sat} 値を測定データと比較検討

モデル式を再度検討

v_{sat} 値を測定データと再度比較検討

v_{sat} 式の検討

BSIM4モデルより

$$V_{ds,sat} = \frac{V_{gst}}{A_{bulk}} \quad (1)$$

$$I_{ds} = \frac{W_{eff}}{L_{eff}} \mu_{eff} C_{ox} \left(V_{gst} \cdot V_{ds} - \frac{1}{2} A_{bulk} V_{ds}^2 \right) \quad (2)$$

内部変数 A_{bulk}

$$A_{bulk} = \left(1 + \frac{K_1}{2\sqrt{(\phi_s - V_{bs})}} \left(\frac{(A_0 L_{eff})}{L_{eff} + 2\sqrt{X_j X_{dep}}} \left(1 - A_{gs} V_{gst} \left(\frac{L_{eff}}{L_{eff} + 2\sqrt{X_j X_{dep}}} \right)^2 \right) + \frac{B_0}{W_{eff} + B_1} \right) \right) \cdot \frac{1}{1 + K_{ETA} V_{be}} \quad (3)$$

A_{bulk} は L_{eff} が90nmより小さいとき1に近似できる

v_{sat} 式の検討

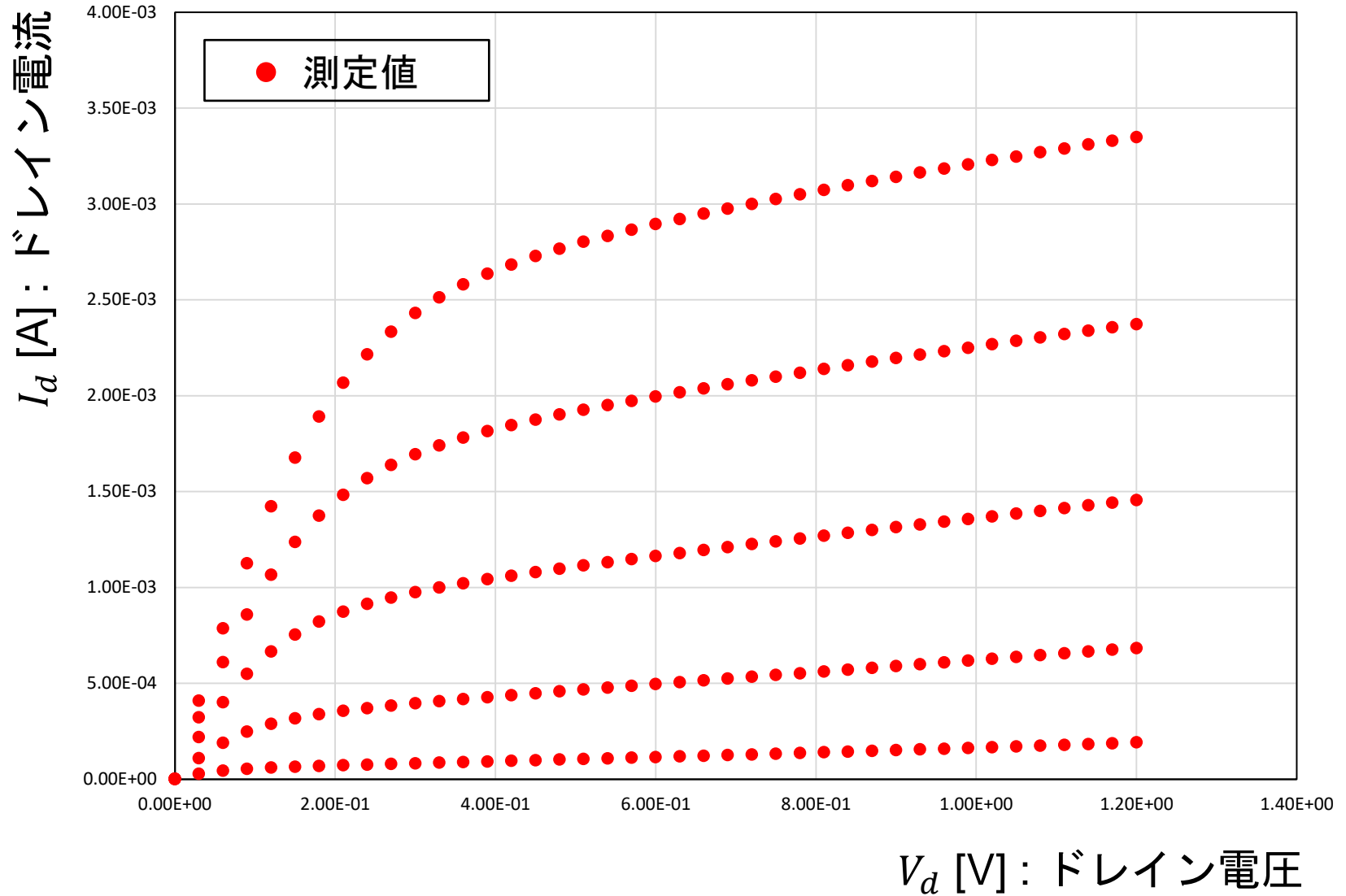
前項の式より

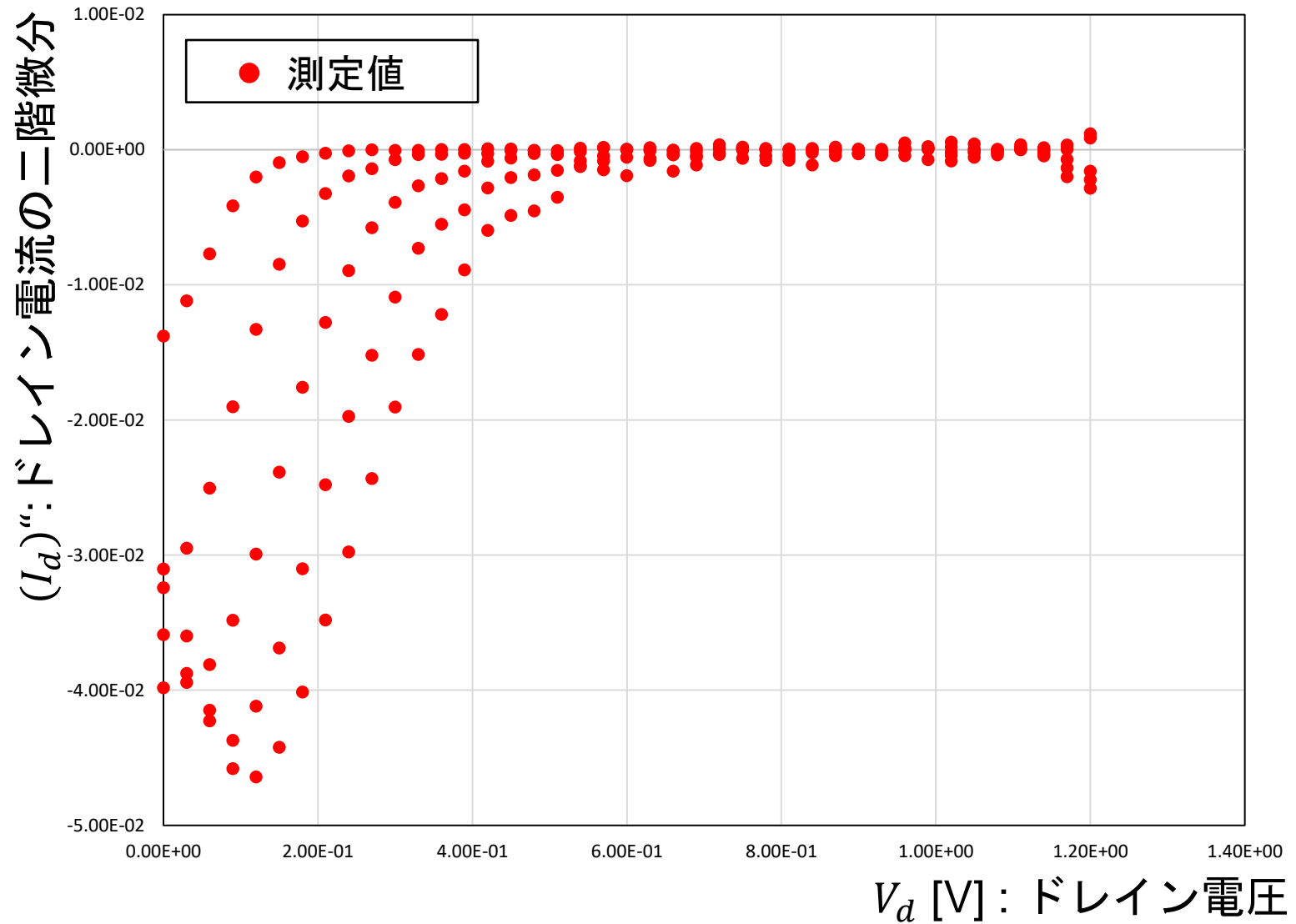
$$I_{ds,sat} = W_{eff} C_{ox} (V_{gst} - A_{bulk} V_{ds,sat}) v_{sat} \quad (4)$$

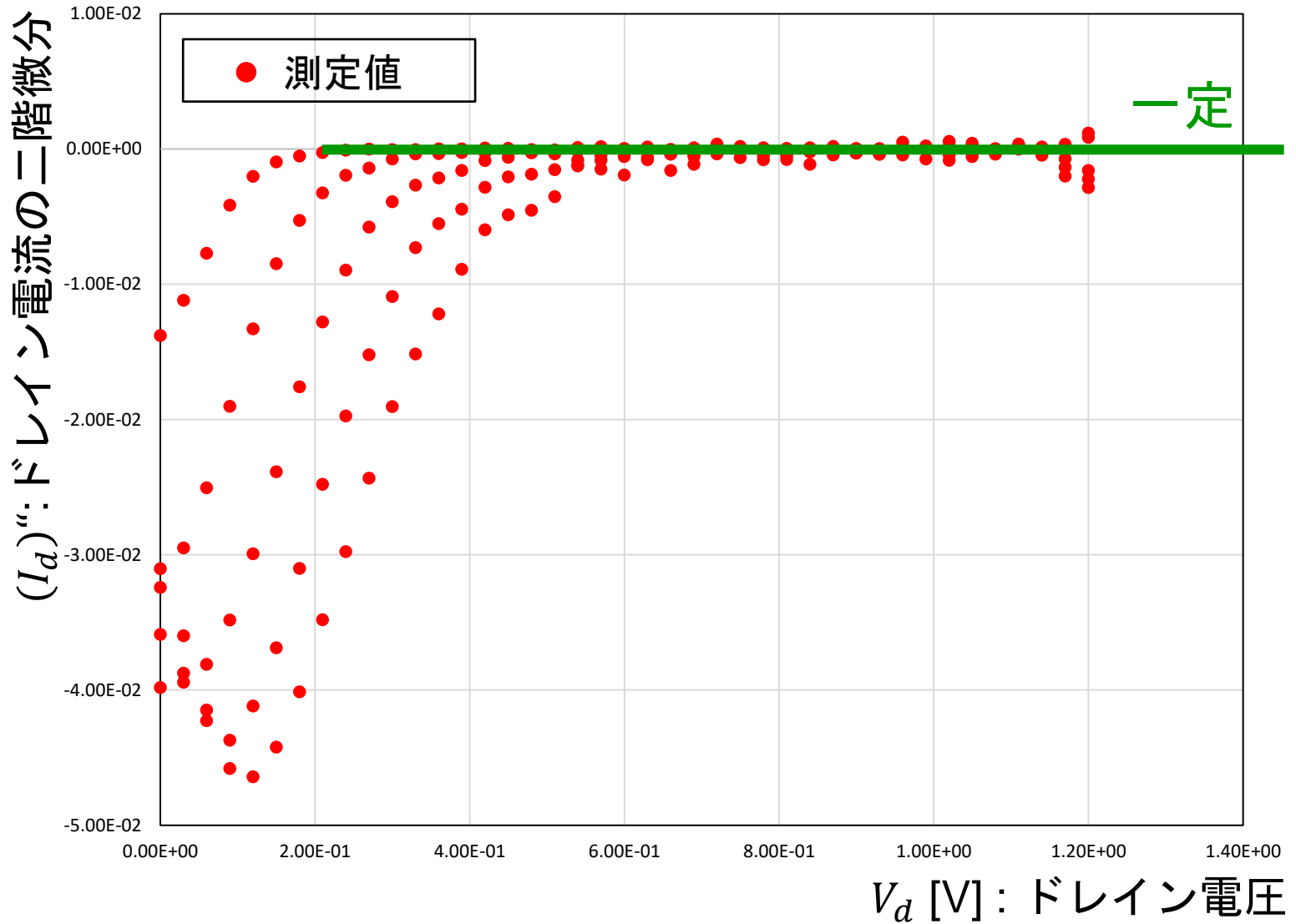
$$V_{gst} = V_{gs} - V_{th} \quad (5)$$

飽和速度 v_{sat} ($L_{eff} < 90nm$)

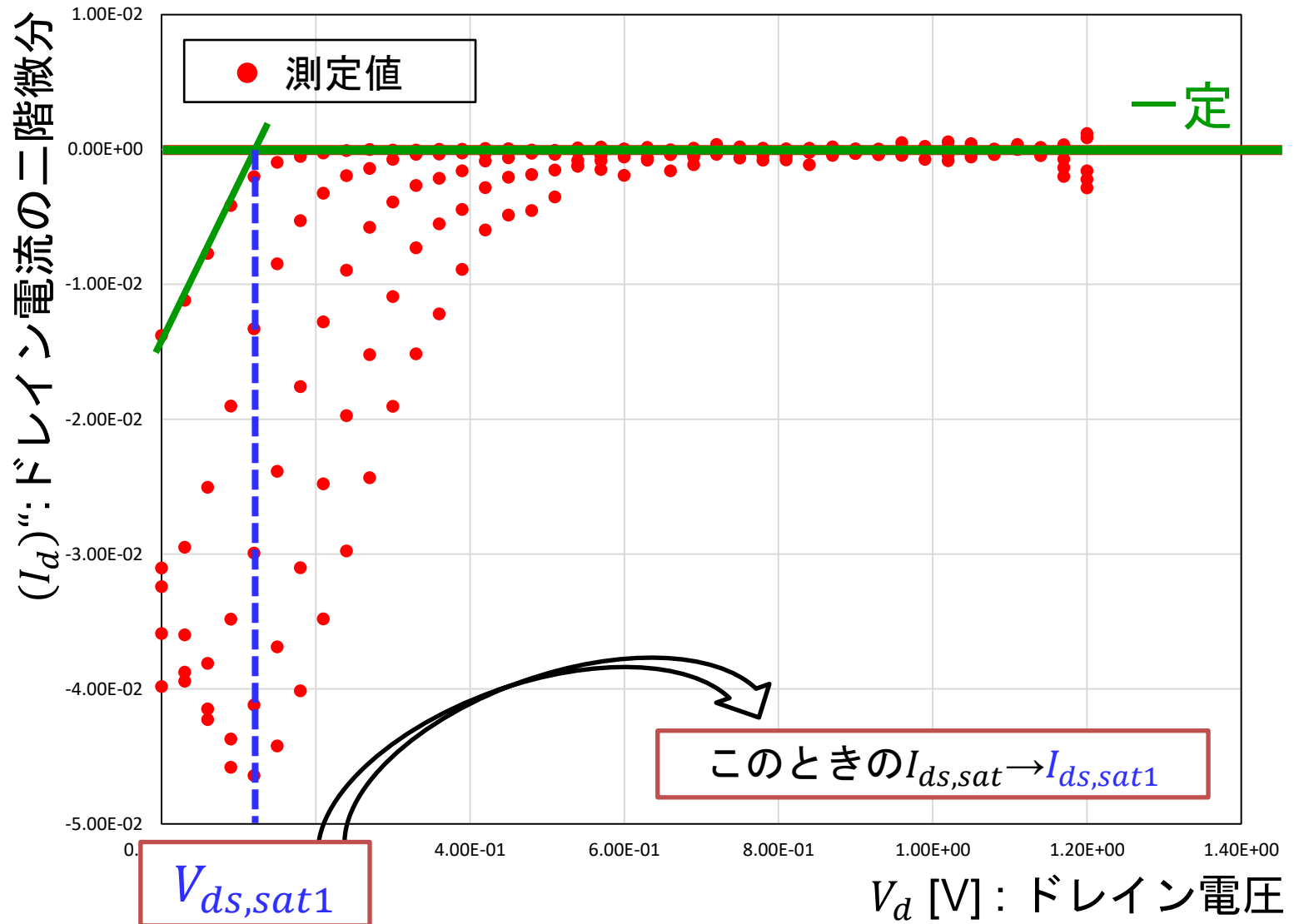
$$v_{sat} = \frac{I_{ds,sat}}{W_{eff} C_{ox} (V_{gst} - V_{ds,sat})} \quad (6)$$

90nm MOSFETにおける $I_{ds} - V_{ds}$ 

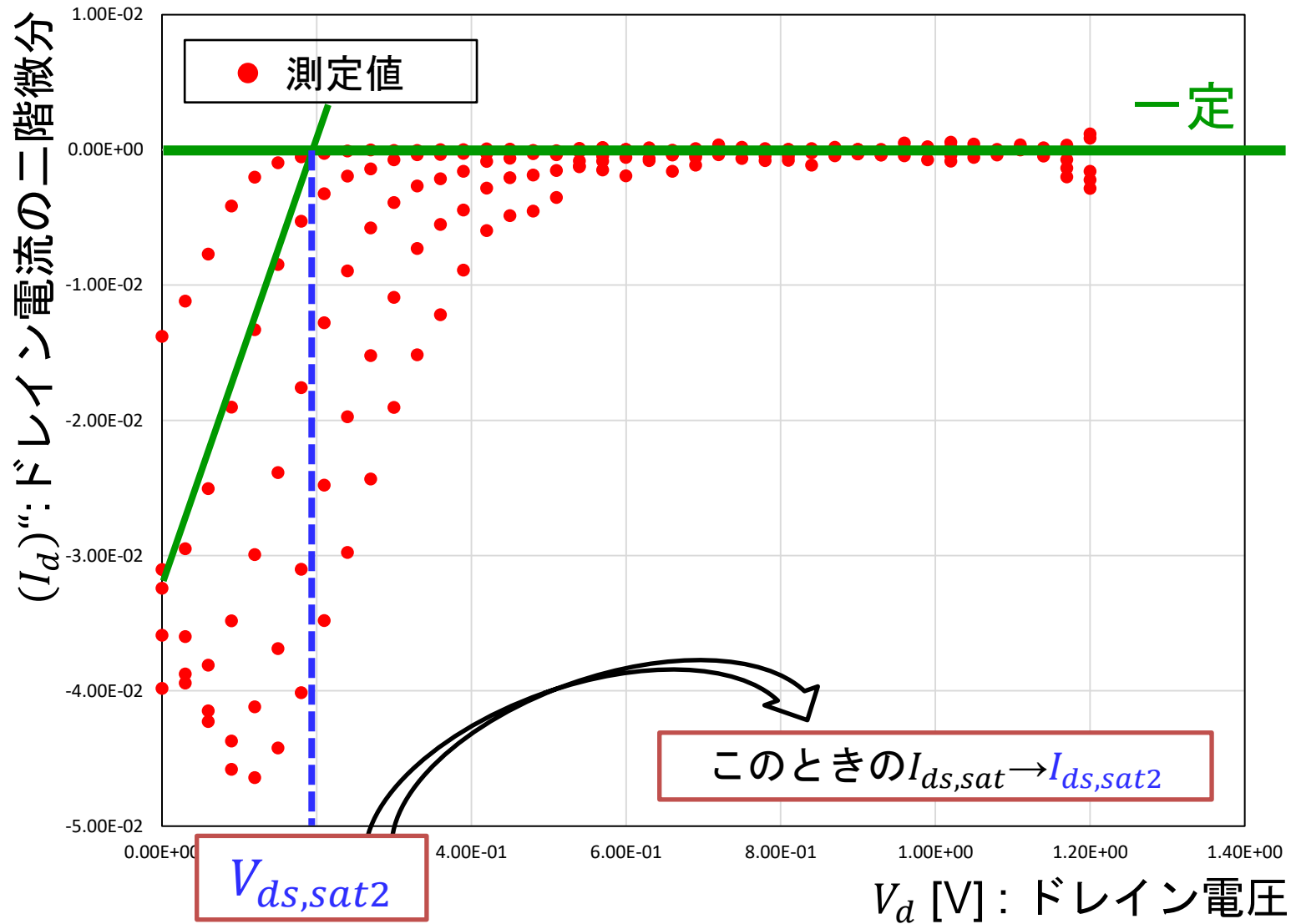
90 nm MOSFET $I_{ds} - V_{ds}$ グラフ 二階微分

90 nm MOSFET $I_{ds} - V_{ds}$ グラフ ピーク検出

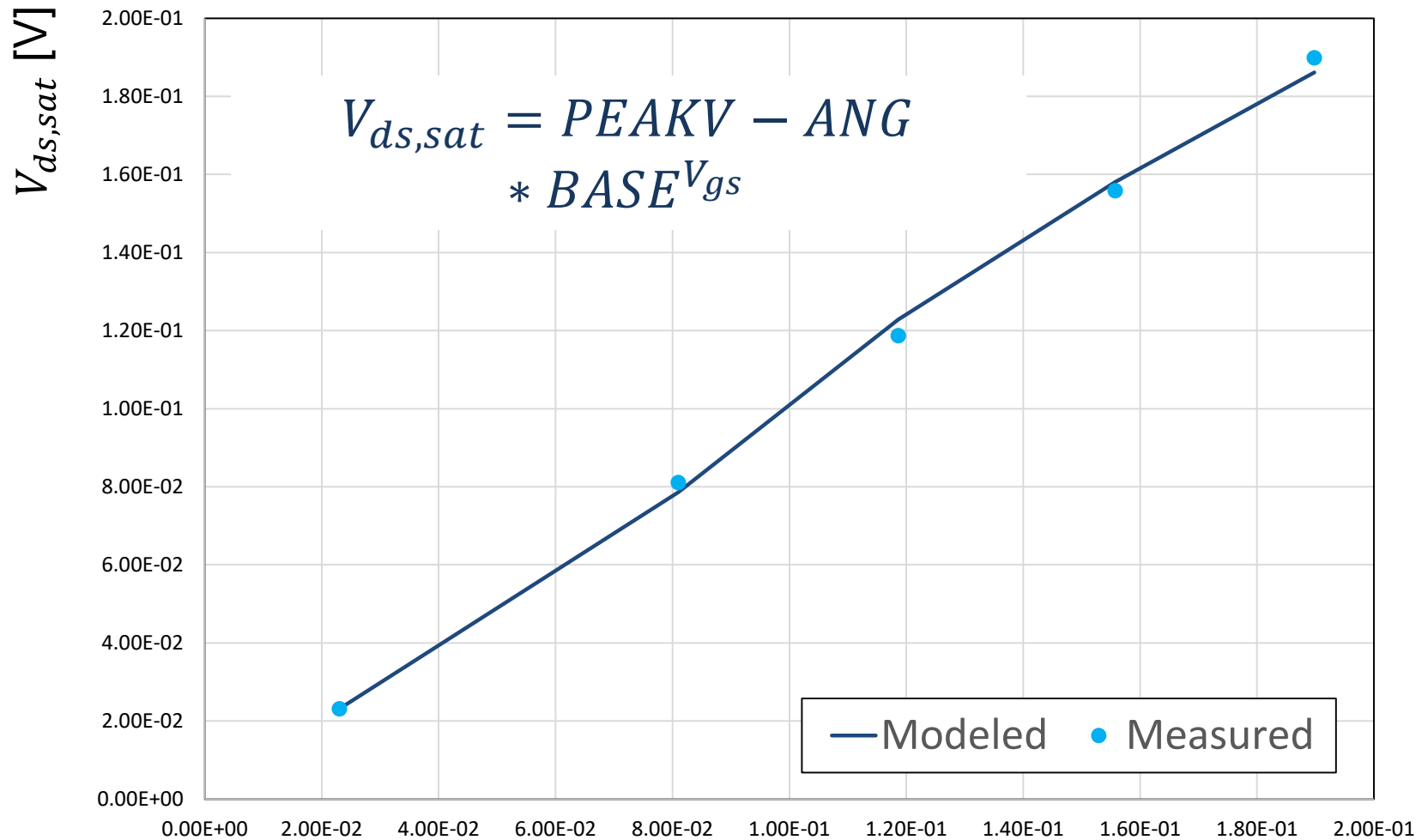
90 nm MOSFET $I_{ds} - V_{ds}$ グラフ $V_{ds,sat}$ の導出



90 nm MOSFET $I_{ds} - V_{ds}$ グラフ $V_{ds,sat}$ の導出

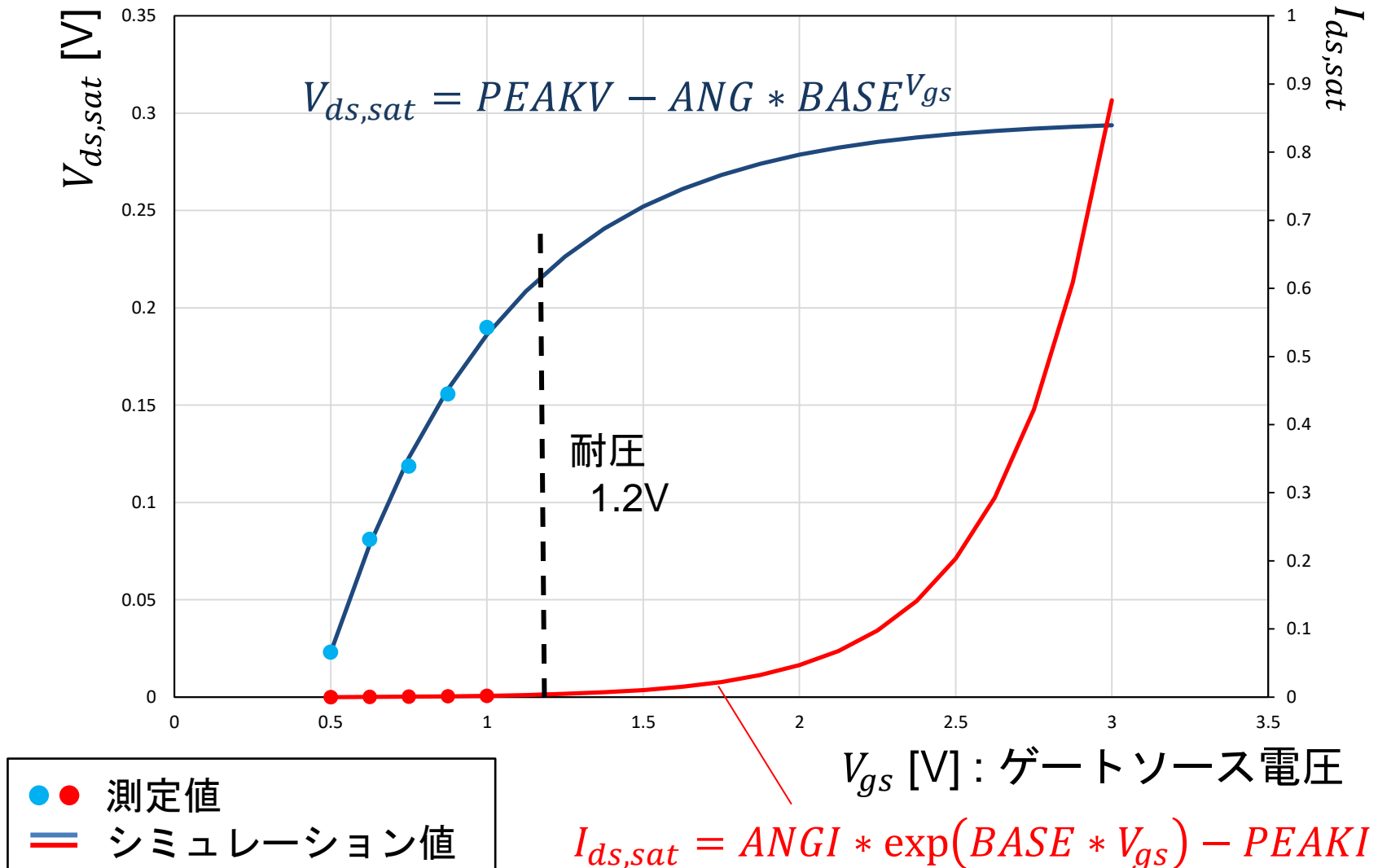


$V_{ds,sat}$ のフィッティング

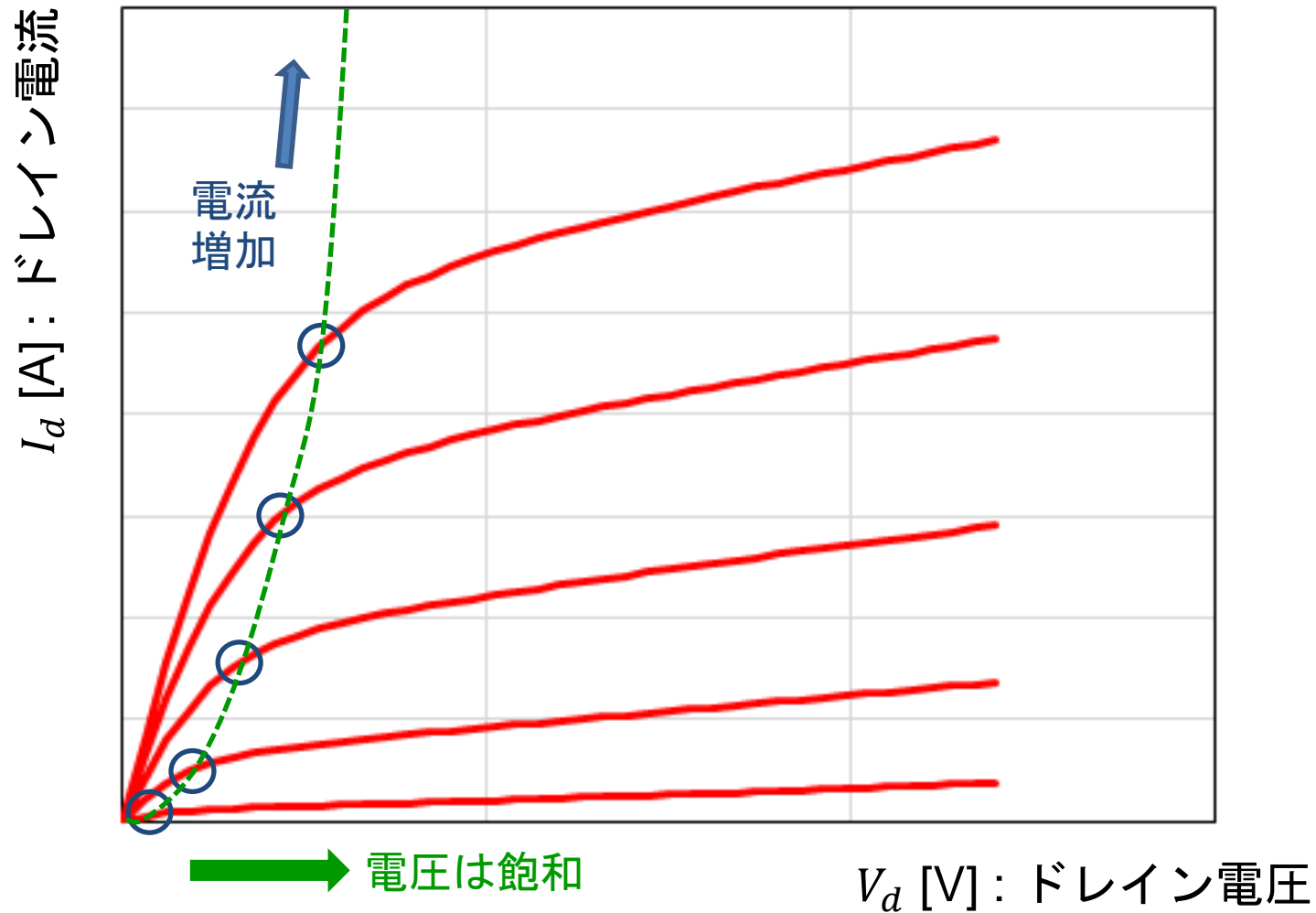


V_{gs} [V] : ゲートソース電圧

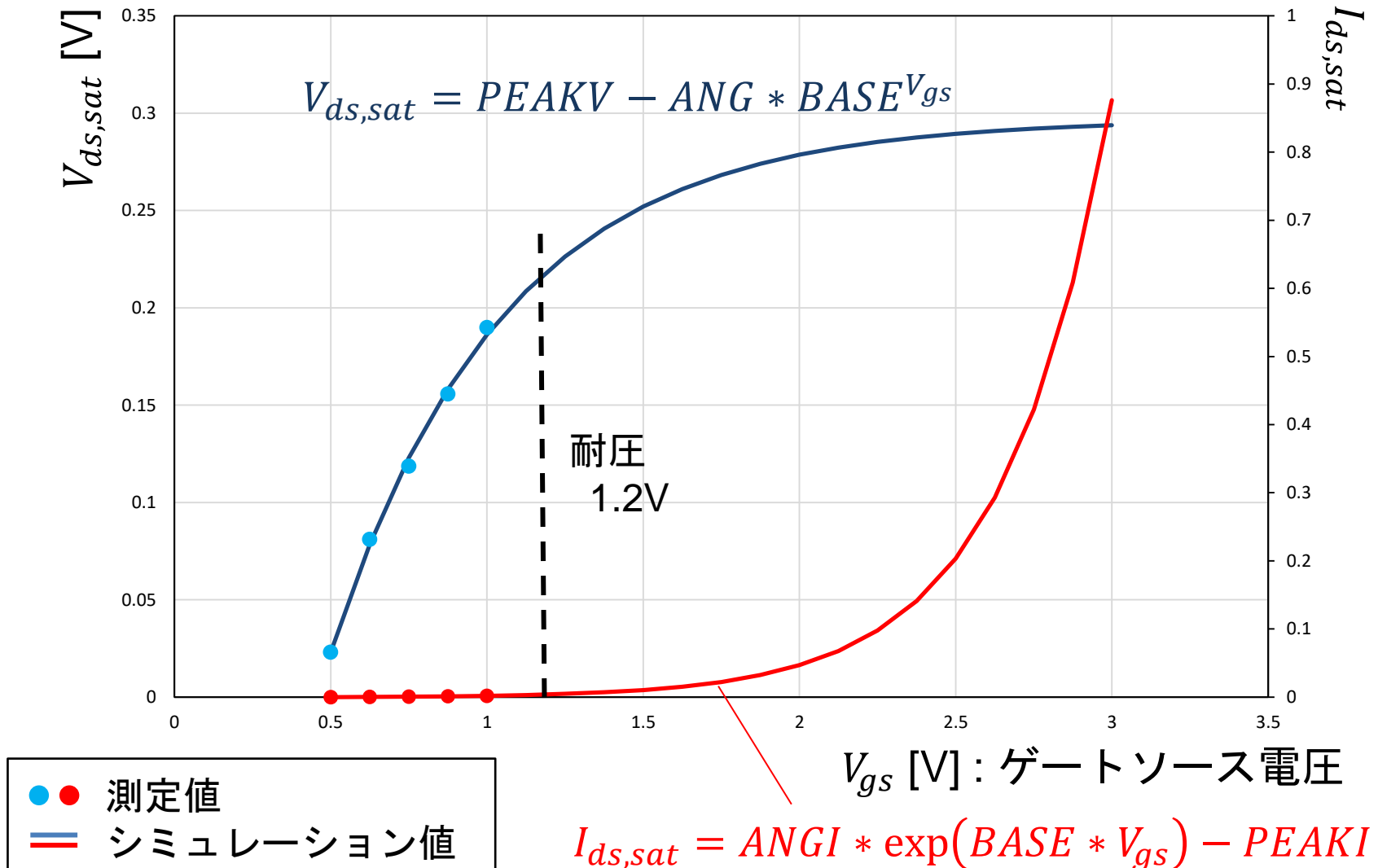
$I_{ds,sat}, V_{ds,sat}$ グラフ



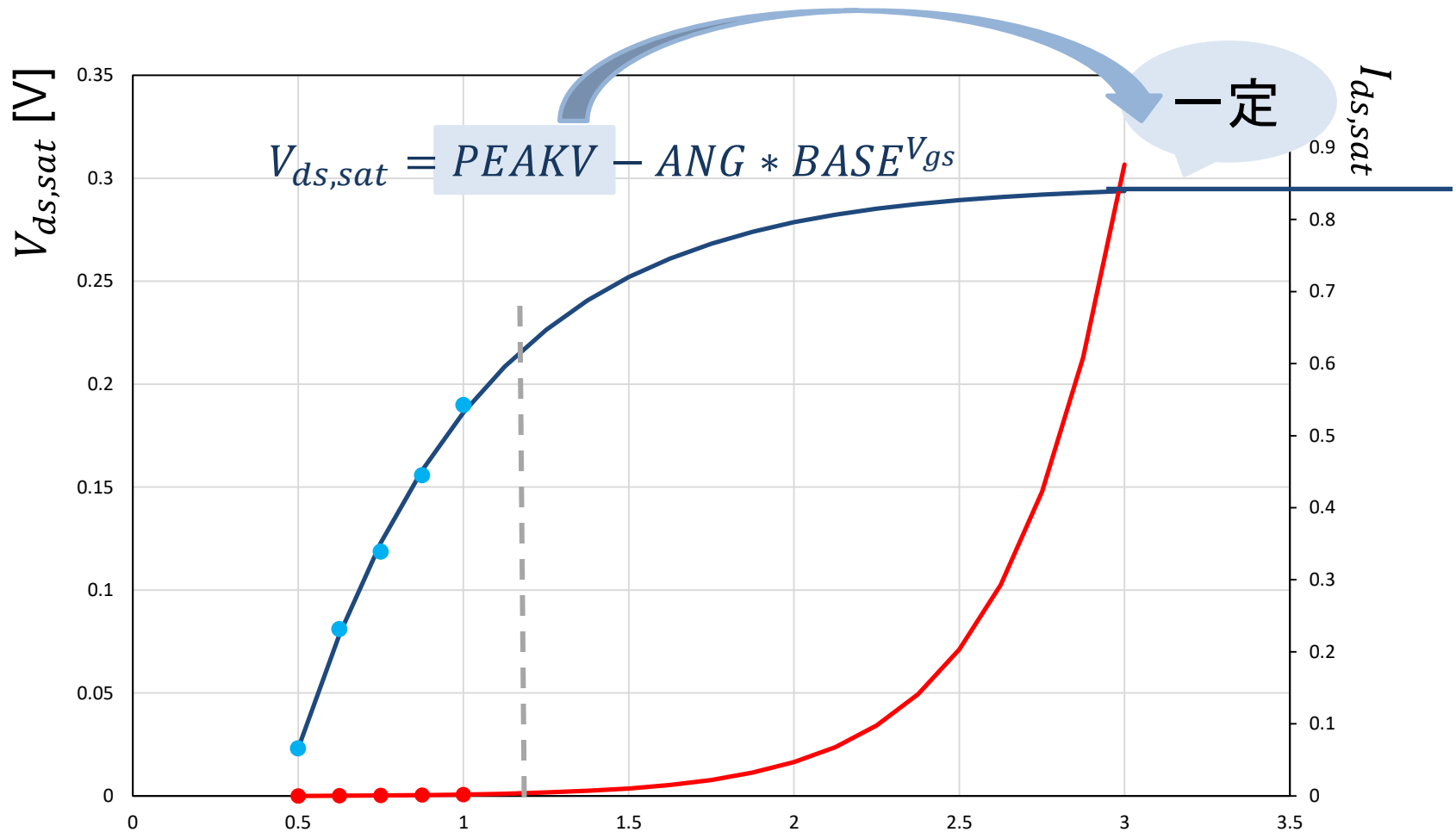
$V_{ds,sat}$, $I_{ds,sat}$ のフィッティングの考察



$I_{ds,sat}, V_{ds,sat}$ グラフ



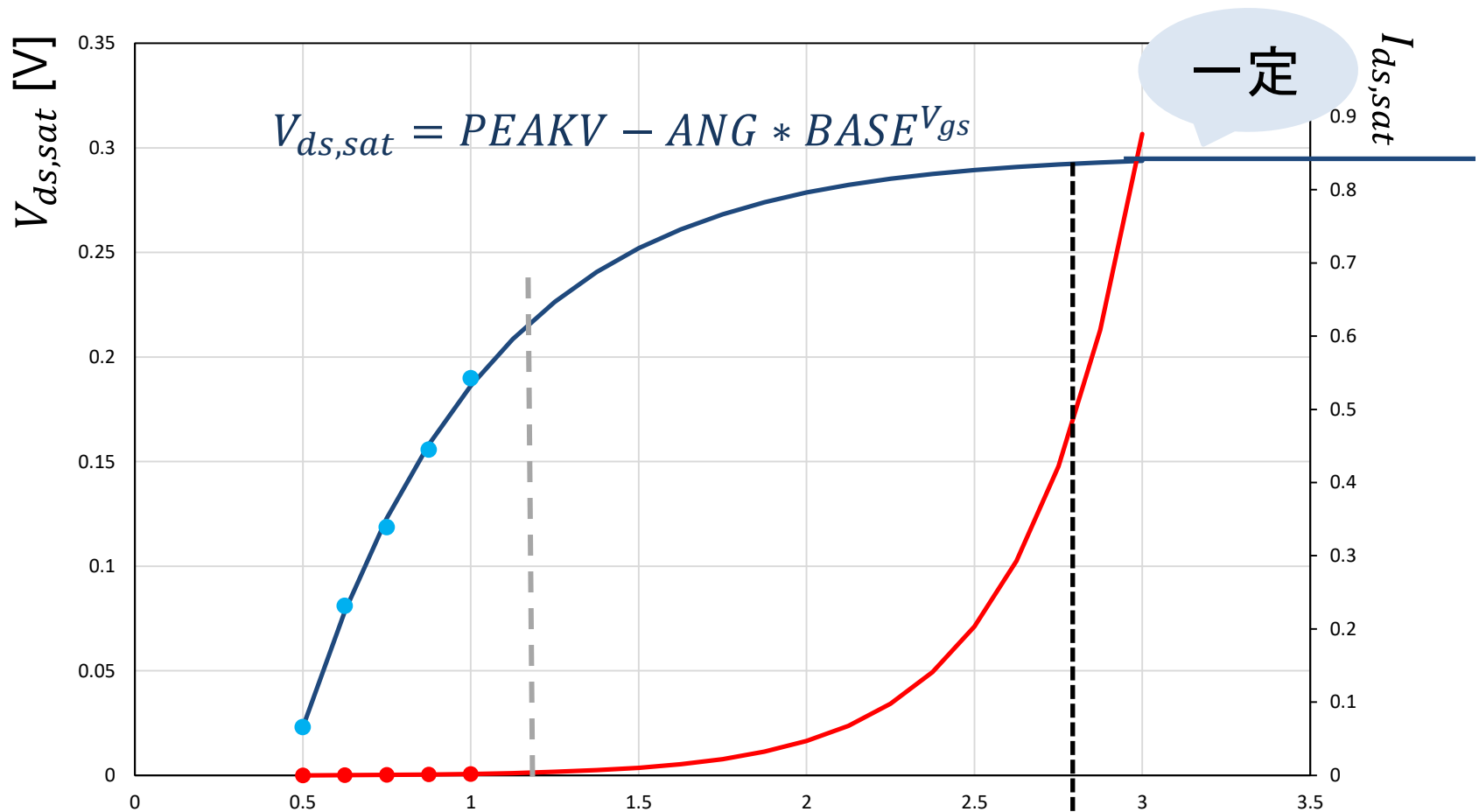
$I_{ds,sat}, V_{ds,sat}$ グラフ $V_{ds,sat}$ 値を得る



- ● 測定値
- — シミュレーション値

$$I_{ds,sat} = ANGI * \exp(BASE * V_{gs}) - PEAKI$$

$I_{ds,sat}, V_{ds,sat}$ グラフ $I_{ds,sat}, V_{gs}$ を得る



$$V_{ds,sat} = PEAKV - ANG * BASE^{V_{gs}}$$

$$I_{ds,sat} = ANGI * \exp(BASE * V_{gs}) - PEAKI$$

$$V_{gs} = 2.68$$

- ● 測定値
- — シミュレーション値

v_{sat} 式の検討

前項の式より

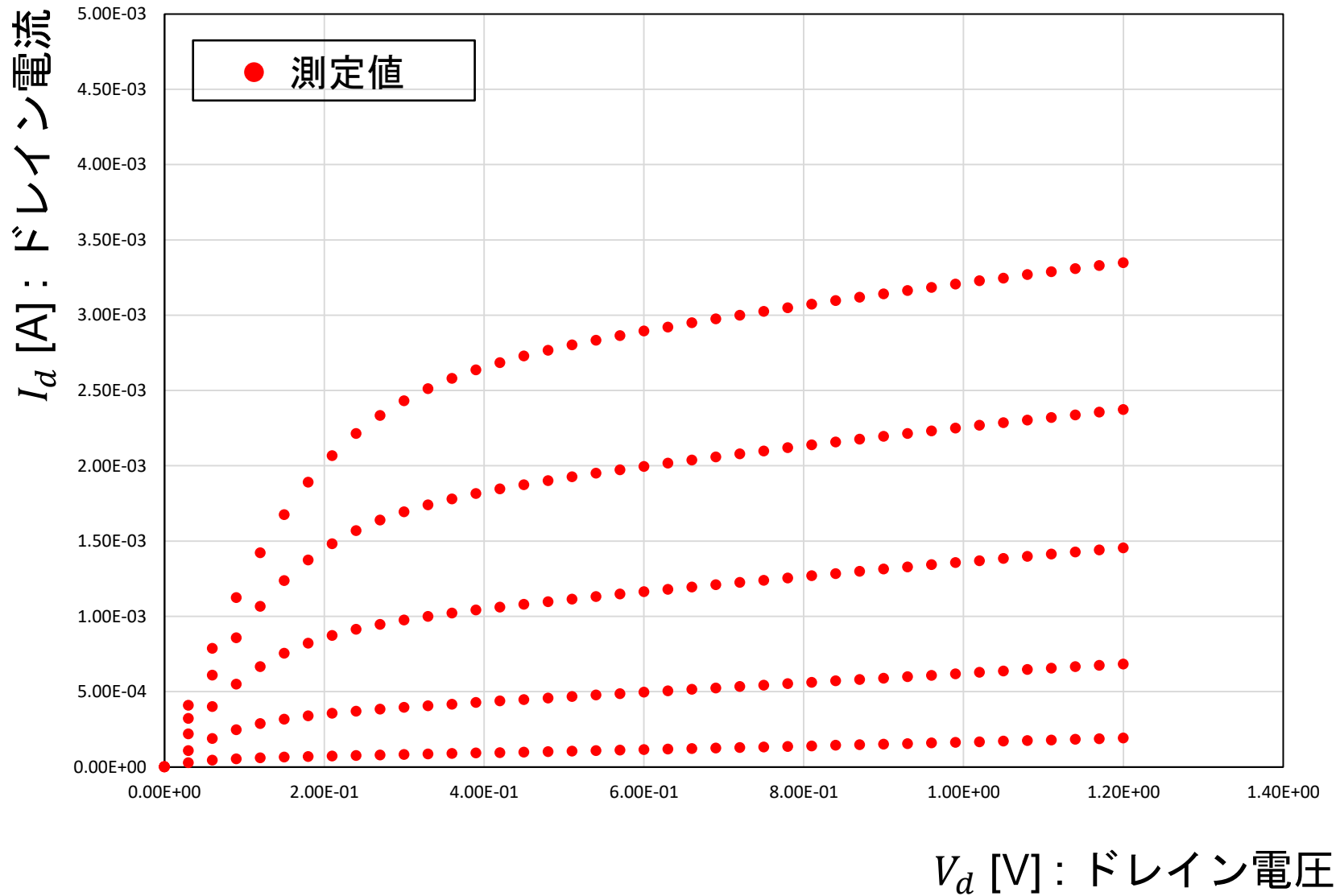
$$I_{ds,sat} = W_{eff} C_{ox} (V_{gst} - A_{bulk} V_{ds,sat}) v_{sat}$$

$$V_{gst} = V_{gs} - V_{th}$$

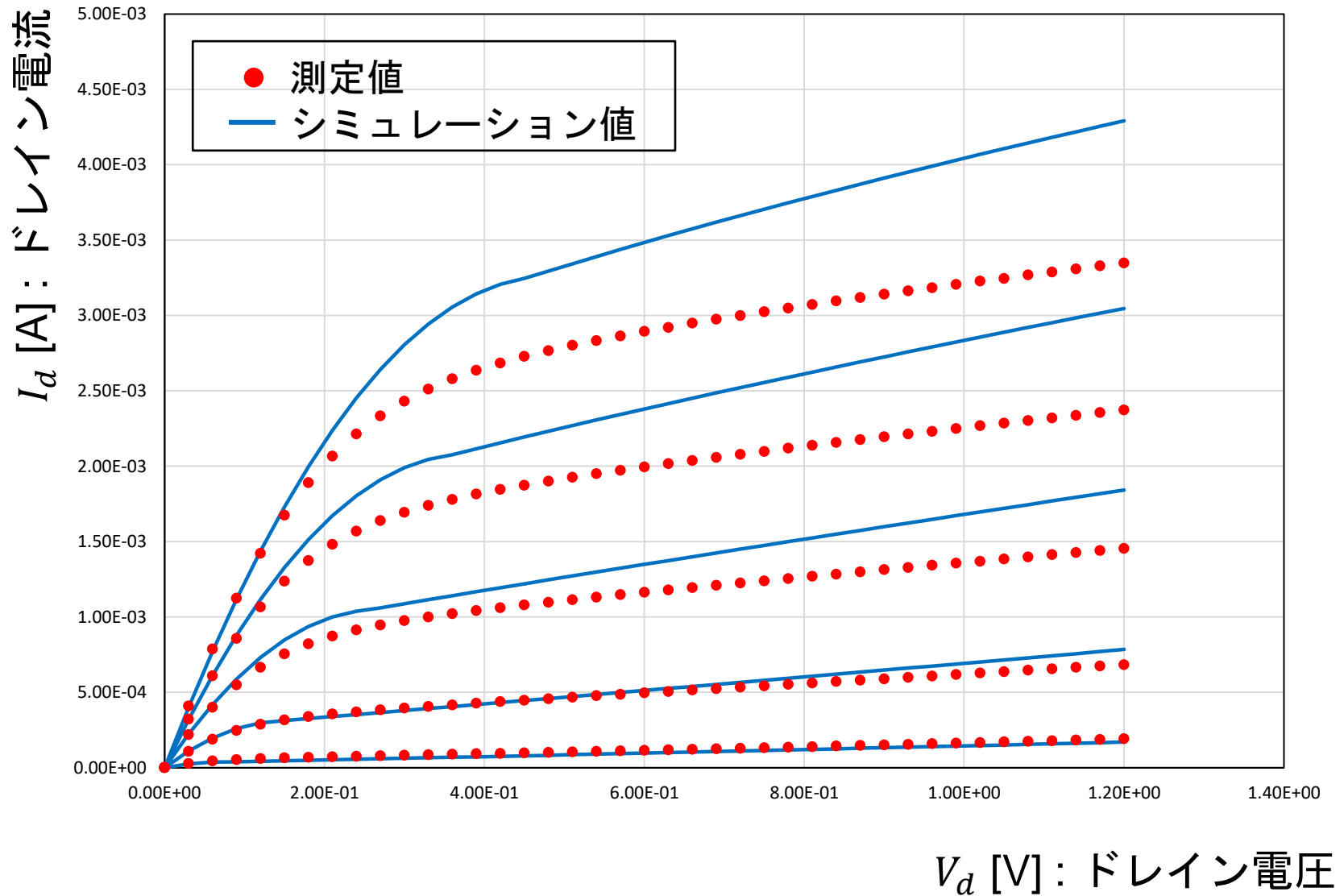
飽和速度 v_{sat} は ($L_{eff} < 90nm$ のとき)

$$v_{sat} = \frac{I_{ds,sat}}{W_{eff} C_{ox} (V_{gst} - V_{ds,sat})}$$

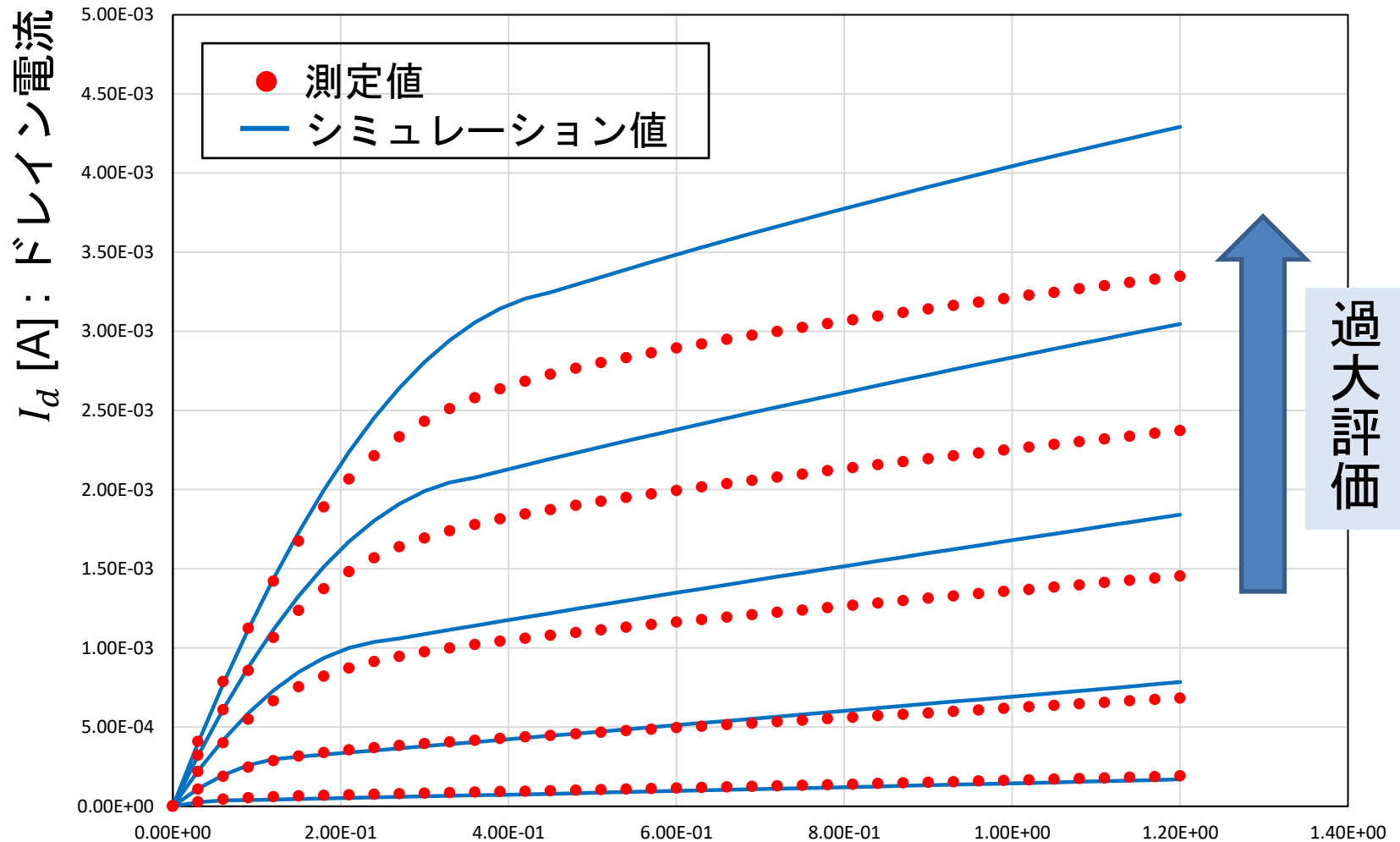
v_{sat} 抽出結果との比較



v_{sat} 抽出結果との比較



v_{sat} 抽出結果との比較



測定時の接触抵抗とLDD拡散層のバイアス依存抵抗の影響

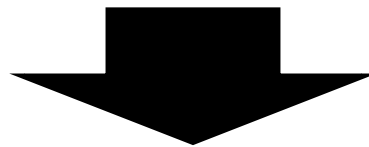
直列抵抗による補正

BSIM4モデルより

$$V_{ds,sat,new} = V_{ds,sat} - (\underbrace{RDSW \cdot W_{eff} \cdot 100}_{\text{LDDの拡散抵抗成分}} + \underbrace{R_X}_{\text{ソース・ドレインの合計接触抵抗}}) \cdot I_{ds,sat}$$

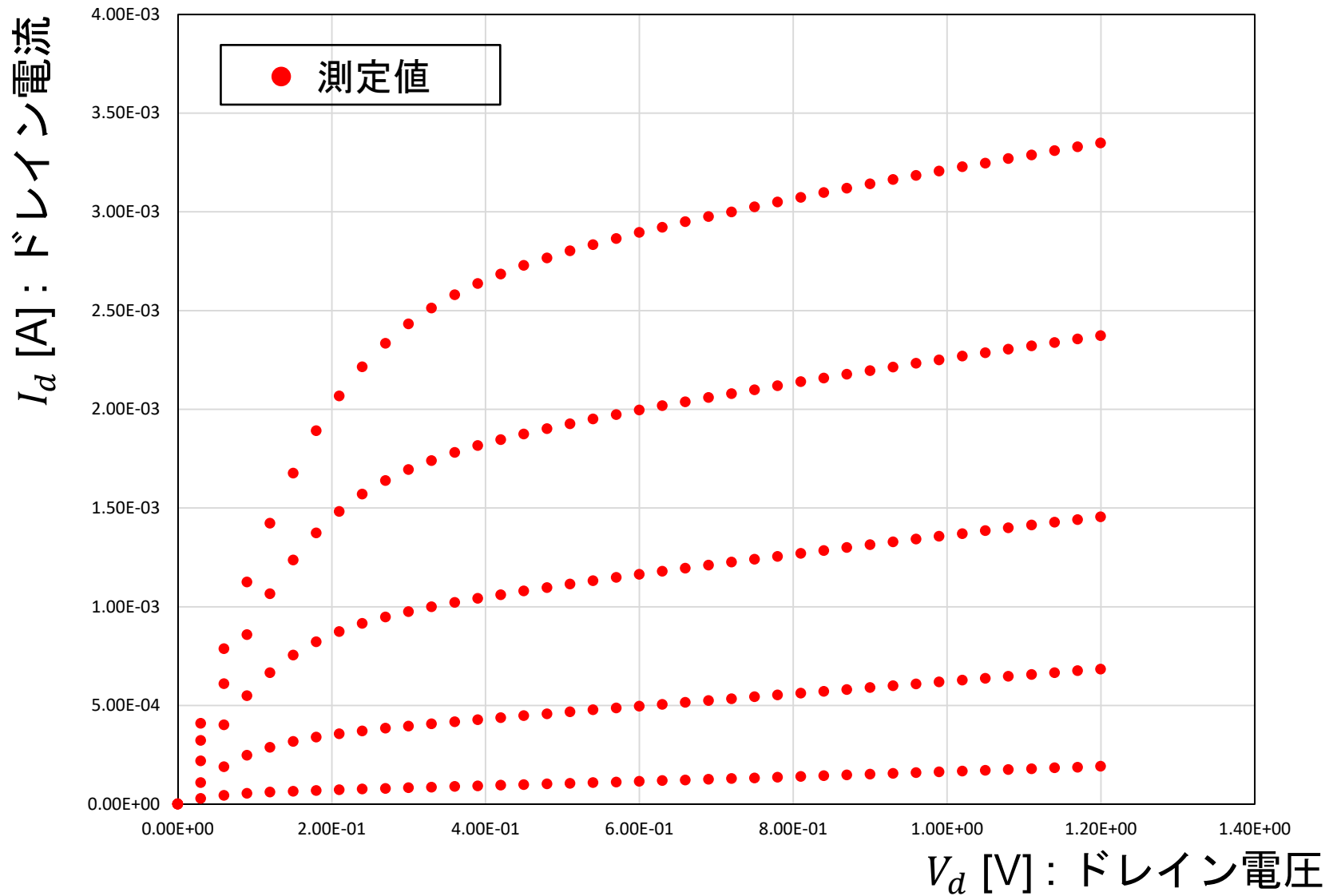
LDDの拡散抵抗成分

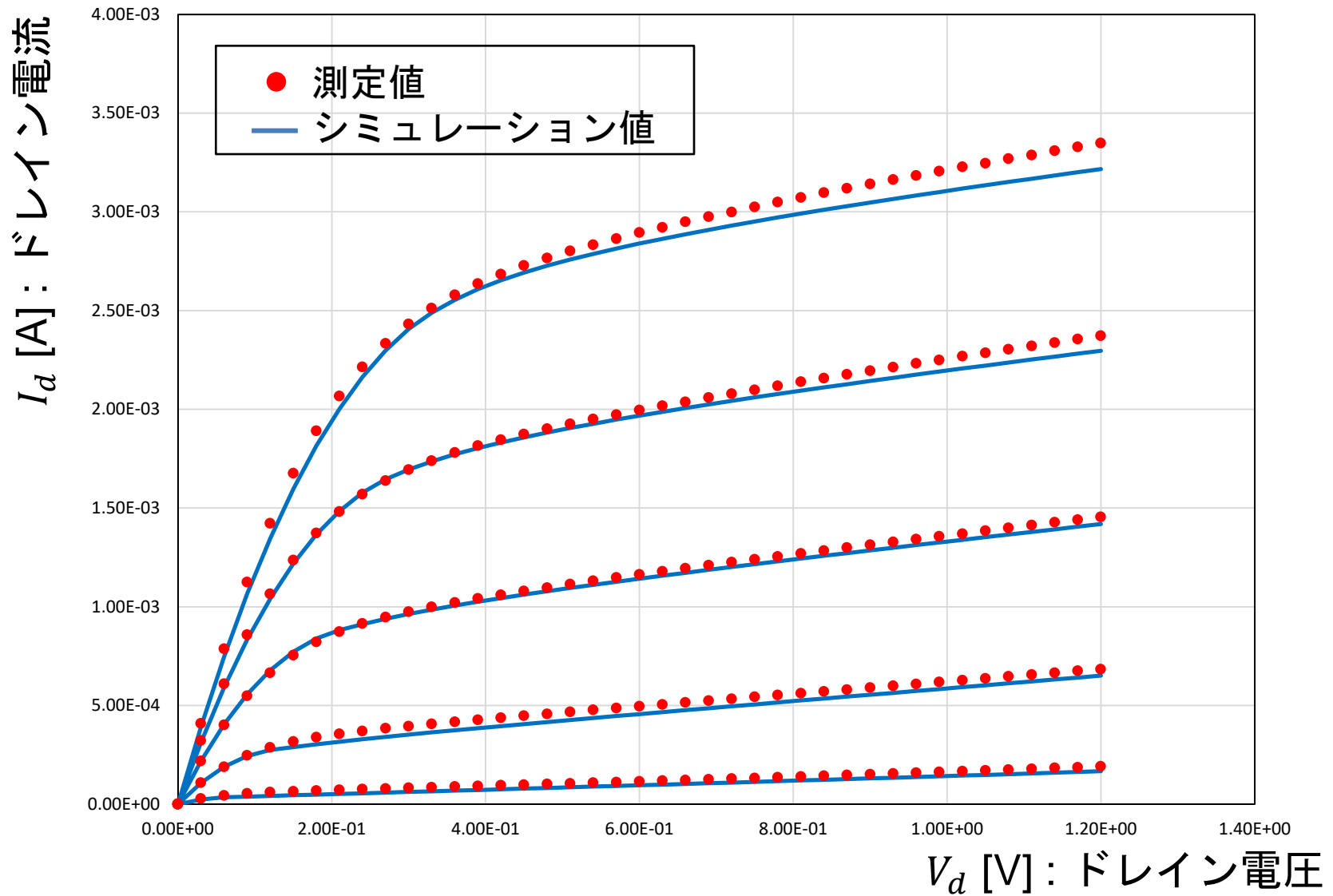
ソース・ドレインの
合計接触抵抗



v_{sat} を再計算

$$v_{sat} = \frac{I_{ds,sat}}{W_{eff} C_{ox} (V_{gst} - V_{ds,sat,new})}$$

v_{sat} 抽出結果との比較2

v_{sat} 抽出結果との比較2

成果

フィッティングモデル的に求めていた

$$v_{sat} = \frac{I_{ds,sat}}{W_{eff} C_{ox} (V_{gst} - V_{ds,sat})}$$

$V_{gs}, V_{ds,sat}, I_{ds,sat}, RDSW, R_X$

物理モデル的な方法で v_{sat} を抽出

Outline

- はじめに
- 速度飽和パラメータ v_{sat} の抽出
 - 速度飽和パラメータ抽出の流れ
 - v_{sat} 式の導出
 - 抽出結果
- まとめ

まとめ

- 速度飽和のパラメータ v_{sat} に着目。
- BSIM4のモデル式から v_{sat} の式を導出。
- $V_{ds,sat}$ のピークから v_{sat} を抽出。
- 直列抵抗による影響を考慮。
- 近似のパラメータを用いて v_{sat} を抽出。

近年のプロセスデバイスで応用可能
他の多くの電界効果トランジスタで利用可能

群析学会 Q&A

Q. 直列抵抗の補正のパラメータはどのように合わせこんだのか。

A. ここで多少経験的なあたりをとっている。

Q. 直列抵抗補正後のグラフの高電圧部分がズれているが、原因は何であると考えられるか。

A. フィッティングを簡易的に行っているため、完全一致は難しかった。しかし、測定するデバイスにもばらつきがあるため1つのデバイスに固執する必要はないと考えている。

Q. 導出の結果 v_{sat} は具体的にどれくらいになったのか。実際に近い値になったのか。

A. 最終的な値は115K[m/s]。大体実際と近い値になった。

appendix

卒業研究発表 Q&A

Q. 本表題の90nmは実測が90nmであるため使用したのか。(もっと小さいMOSFETではなく)

A. 測定データが90nmであったため。

Q. ACや他の周波数特性や過度応答解析に関しても適応できるか。

A. おそらく可能、今後の検討課題へ。

Q. 90nm以上では出来ないのか。

A. $A_{bulk} = 1$ と近似できないので今のやり方では困難。

Q. V_{gs} 特性も v_{sat} 依存があるが、実験は行っていないのか。

A. 現時点では行っていない。今後検討。

Q. この手法はフィッティングと物理現象の折衷案なのか。

A. $V_{ds,sat}$ の抽出はフィッティングに近いが結果的に物理的意味に合う式を導出している。

これまでの研究

直列抵抗を考慮しない方法

- 近年のプロセスデバイスでは使用困難
- チャンネル長を短くすると誤差大

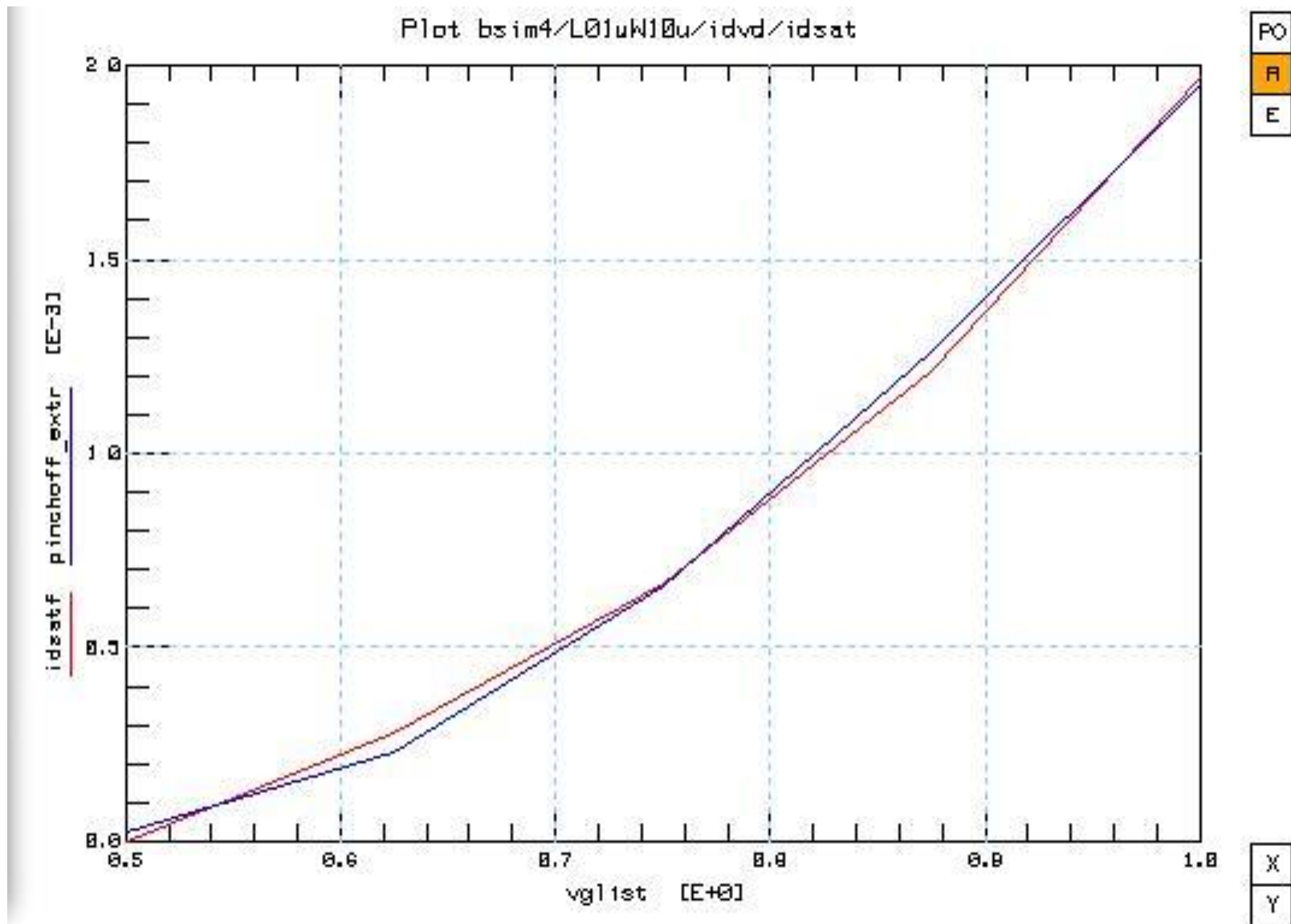
オーバードライブ電圧を変えた方法

- 飽和速度を過大評価

新アプローチ(本研究)

- BSIM4モデルのモデル式を使用
- 直列抵抗を考慮

$I_{ds,sat}$ の抽出



今後の課題

直列抵抗の影響に関して近似的なパラメータを用いた



同プロセス内のゲート・チャンネル長を変えた
デバイス測定



チャンネル内部の抵抗を高精度に抽出する手法を検討



ゲートバイアスの電圧依存の直列抵抗による
高精度な補正が可能になる