



国プロジェクトと産学連携のご紹介

アドバンスソフト技術セミナー

産学共同シーズイノベーション化事業顕在化ステージ

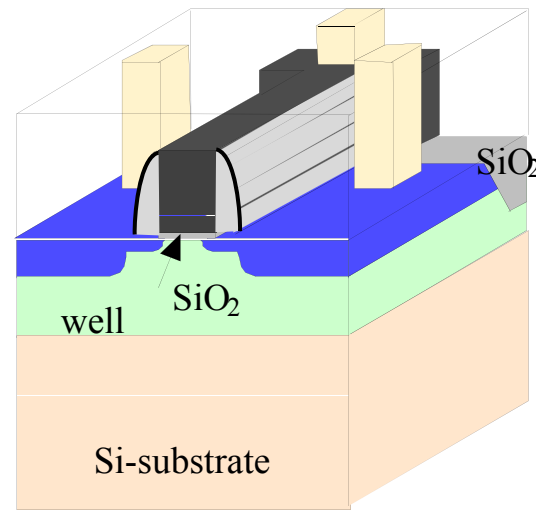
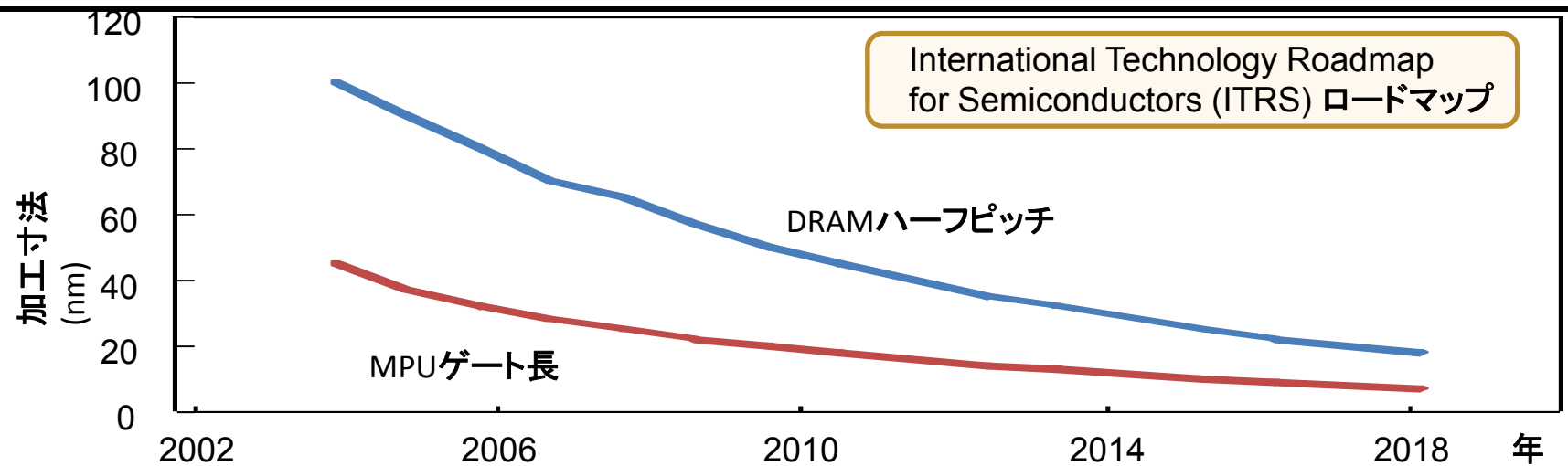
MOS反転層内量子化された電子の弾道(バリスティック)輸送の研究

アドバンスソフト株式会社

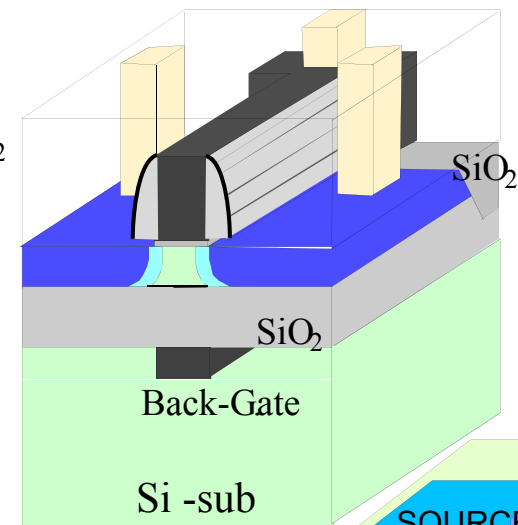
主管研究員

山口 憲 4.

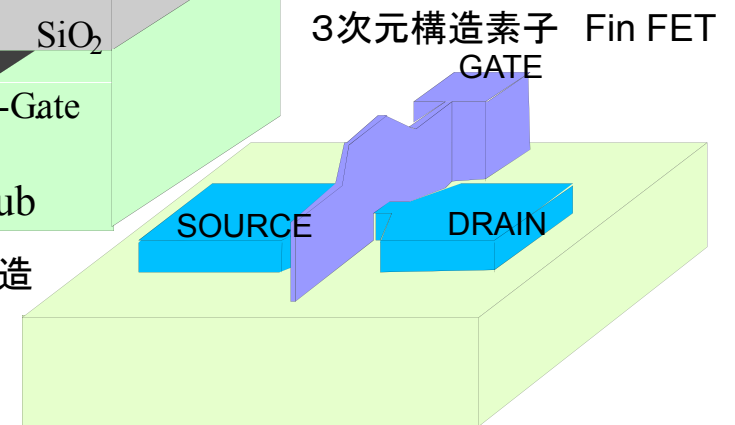
1. 背景



標準的MOSFET構造



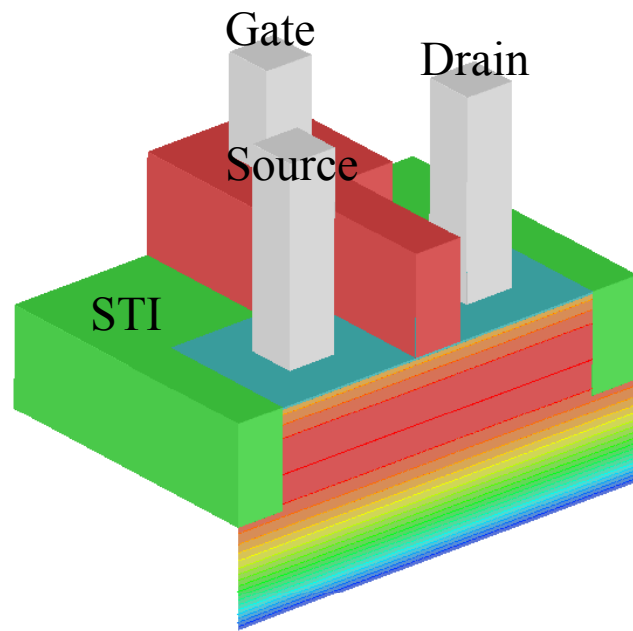
ダブルゲートSOI構造



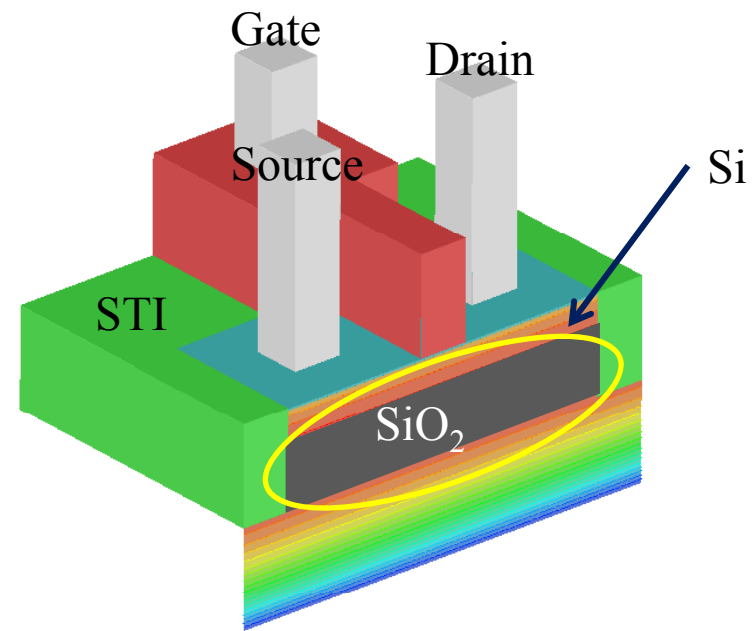
微細化の進展とデバイス構造の変化

2. 当社における半導体CADの開発

3次元デバイスシミュレータ: DESSERTの独自開発



標準構造MOSFET

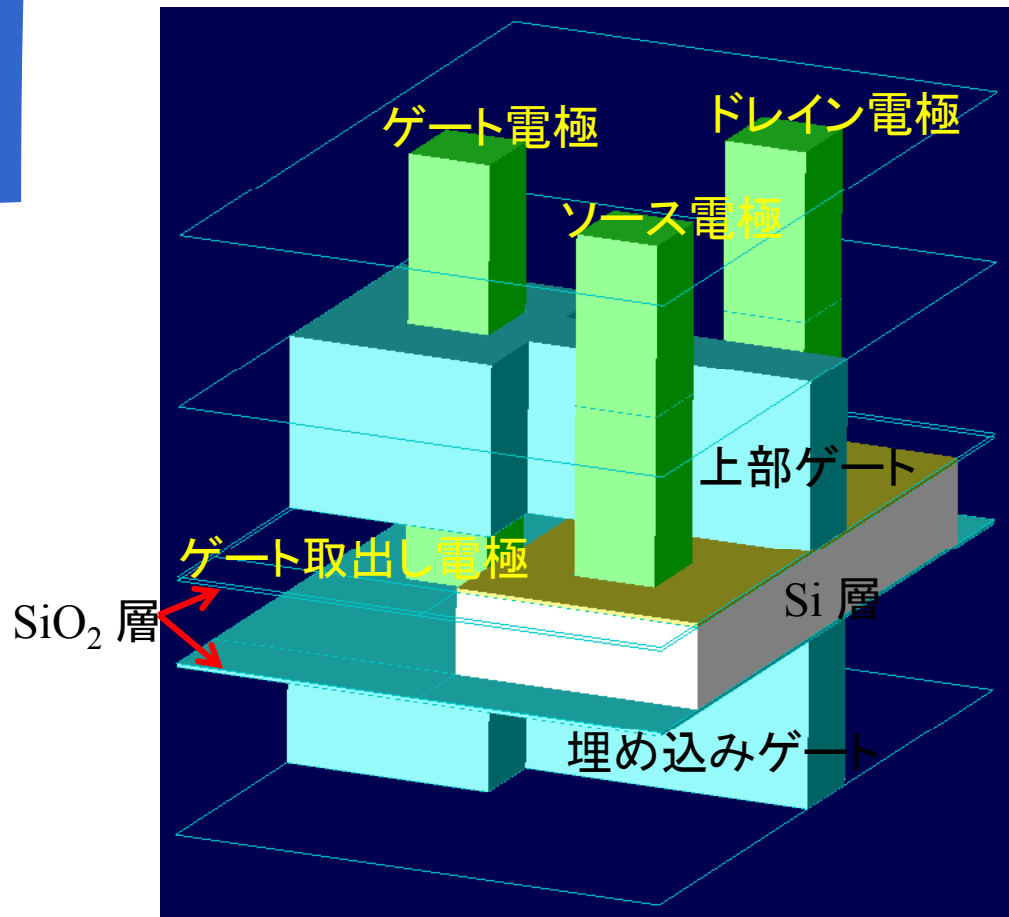


SOI-MOSFETの構造図

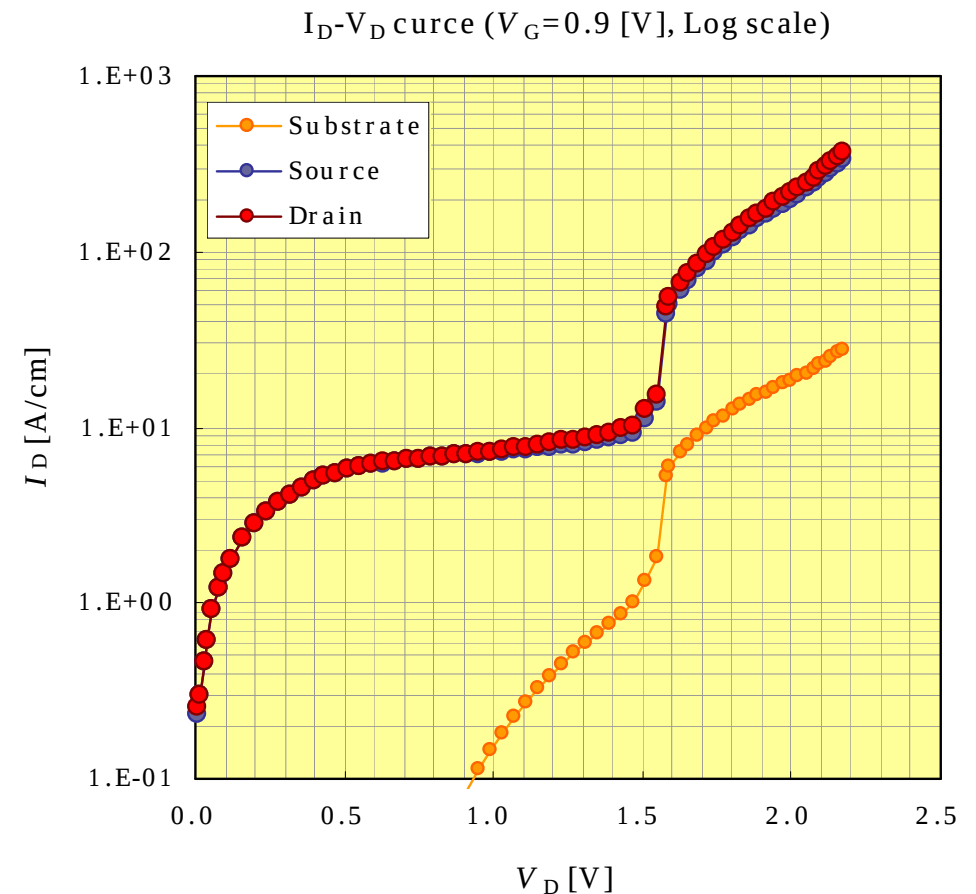


セールスポイント

使い易いGUIとタフなソルバー: 軽くて丈夫



Double Gate SOI の入力例
電極構造図



雪崩増倍現象の解析例
縦軸: 対数表示

基本式 << 電流連続の式 >>

Continuity equation

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \nabla J = R$$

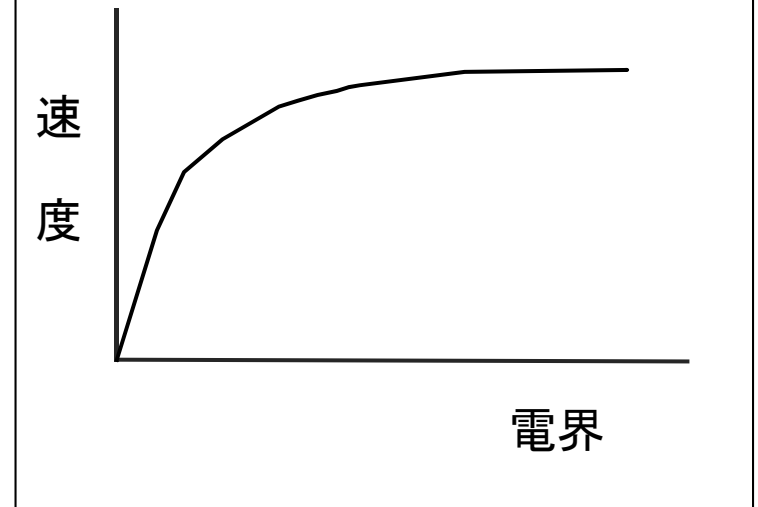
where $J = q(n\mathbf{v} + D \nabla n)$

Drift-Diffusion (DD) model

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \mathbf{v} \nabla n + D \nabla^2 n = R$$

キャリアは電子(-)と正孔(+)の2種類

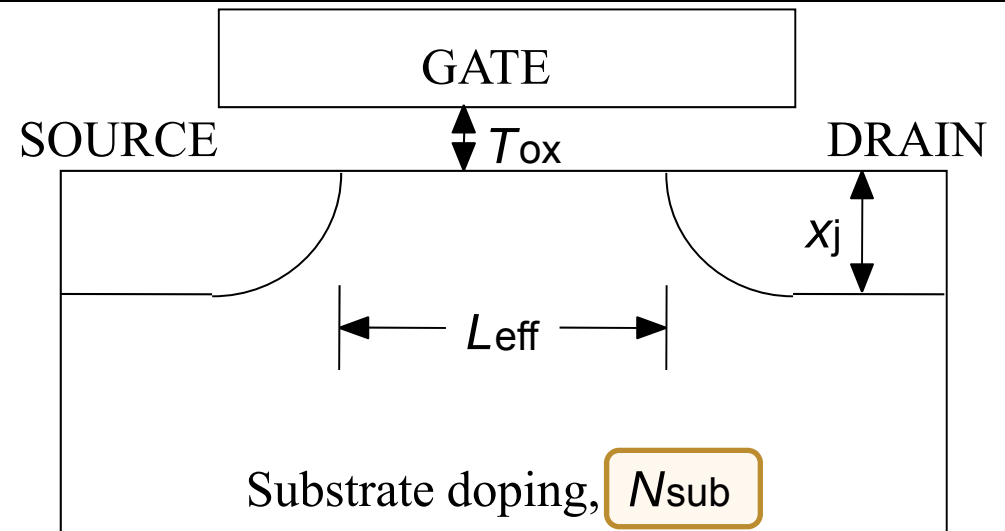
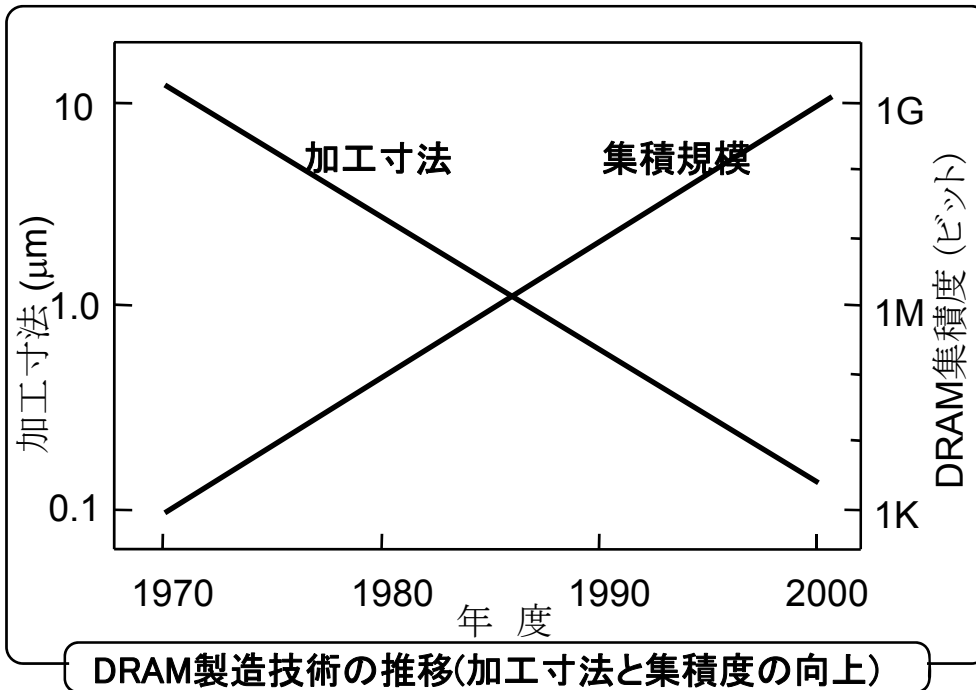
速度-電界特性



局所性モデル
電界強度を与えると
速度が一意に決定される



MOSFETのスケーリング則

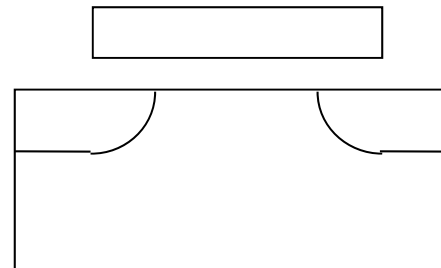


スケーリング則 *)

幾何学的寸法: $1/k$ 倍

基板不純物濃度: k 倍

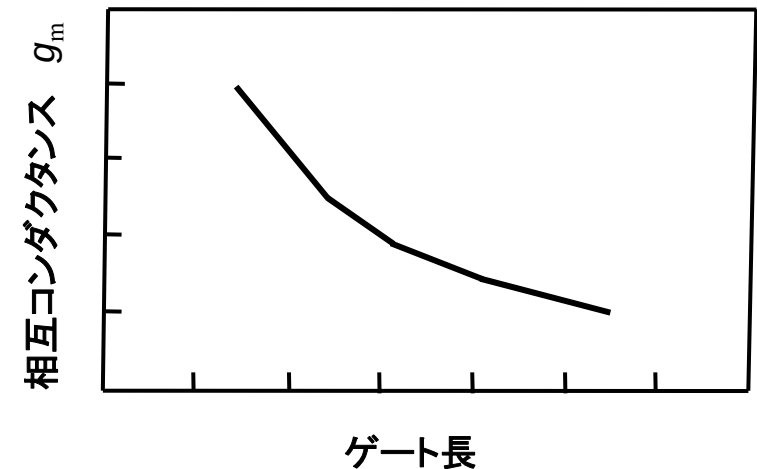
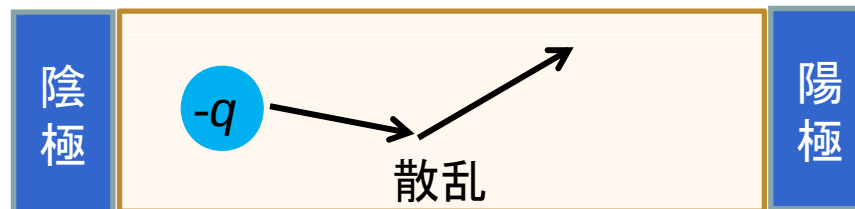
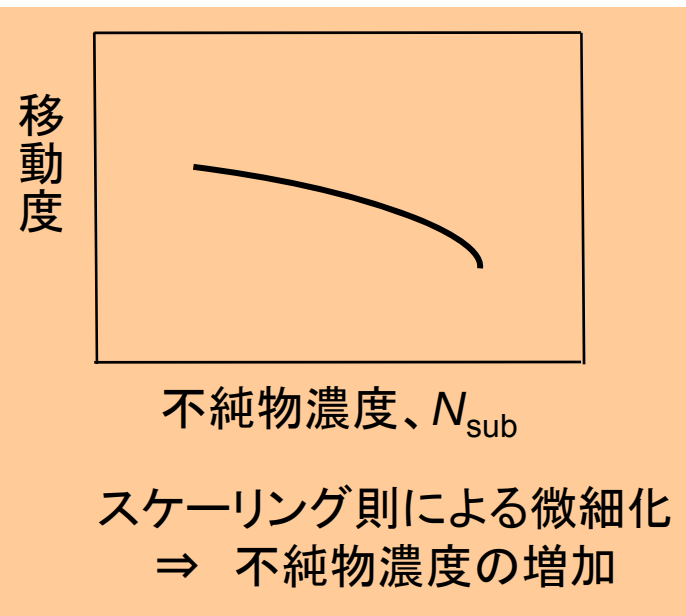
動作電圧: $1/k$ 倍



*) R. H. Dennard *et. al.*,
IEEE J. Solid-State Circuit,
SC-9, 256(1974)



バリスティック輸送への期待



相互コンダクタンスはゲート長に反比例して増大する。

例えば、G. A. Sai-Halasz, Ext. Abs. 20th Conf. Solid-State Devices and Materials, Tokyo, 1988, pp. 5 - 8

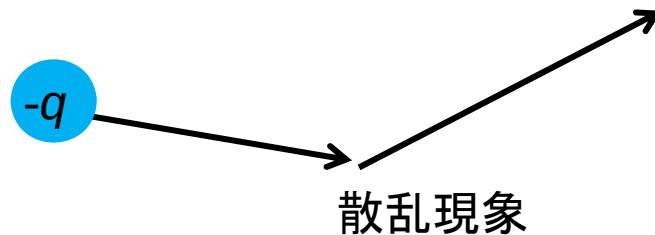
陰極から陽極までの移動における
散乱回数の激減

Ballistic transport の期待増

理論的取扱法：モンテカルロ法

電子1個1個を荷電粒子と見做し、ニュートン方程式を解く

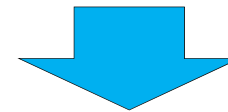
$$\frac{dp}{dt} = F \quad \text{外力} F \text{は電場}$$



散乱を乱数で表現

利点
輸送機構を高精度に追尾

欠点
粒子数の増大と共に計算時間増



電子の流れを流体モデルで表現



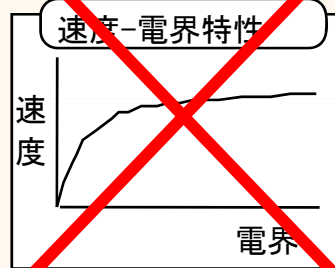
流体モデルによる実用的アプローチ

Boltzmann equation

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial \mathbf{r}} \frac{d\mathbf{r}}{dt} + \frac{\partial f}{\partial \mathbf{v}} \frac{d\mathbf{v}}{dt} = 0$$
$$\frac{\partial f}{\partial t} + \mathbf{v} \nabla_{\mathbf{r}} f + \frac{\mathbf{F}}{m} \nabla_{\mathbf{v}} f = \left. \frac{\partial f}{\partial t} \right|_{\text{coll}}$$

Continuity equation

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \nabla(n\mathbf{v}) = R$$



Poisson equation

$$-\nabla(\epsilon \nabla \Psi) = \rho$$

電位・電界を決定する式

Momentum conservation

$$m \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + m \mathbf{v} \nabla \mathbf{v} + \frac{m\mathbf{v}}{\tau_m} = -q\mathbf{E} + \frac{1}{n} \nabla(nk_B T)$$

Energy conservation

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \mathbf{v} \nabla E + \frac{E - E_0}{\tau_E} = -q\mathbf{v} \cdot \mathbf{E} + \frac{1}{n} \nabla(nvk_B T)$$

非局所性モデル
電子エネルギー(E)の変化
電子速度は電界だけでなく
エネルギー状態に依存



3. 産学共同事業への応募

産学共同シーズイノベーション化事業 顕在化ステージ Potentiality verification stage

明治大学
富沢 一隆 教授
テストシミュレータ

MOS反転層疑2次元電子ガスの
輸送モデル

量子効果、高ゲート電界、不純物散乱



アドバンスソフト(株)
実用的アルゴリズム
フィージビリティテスト

民間企業の役割

- ・大規模化対応・実用版
アルゴリズム研究
- ・フィージビリティ総合テスト



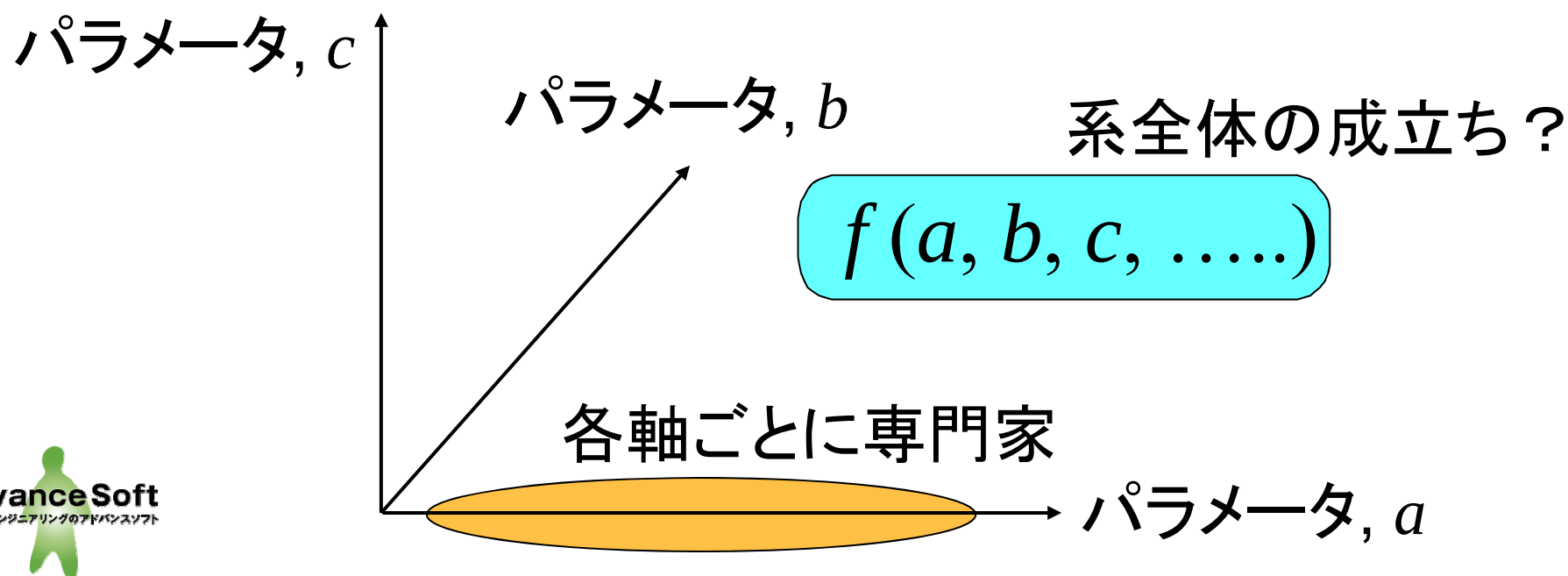
基礎研究と応用研究

基礎研究

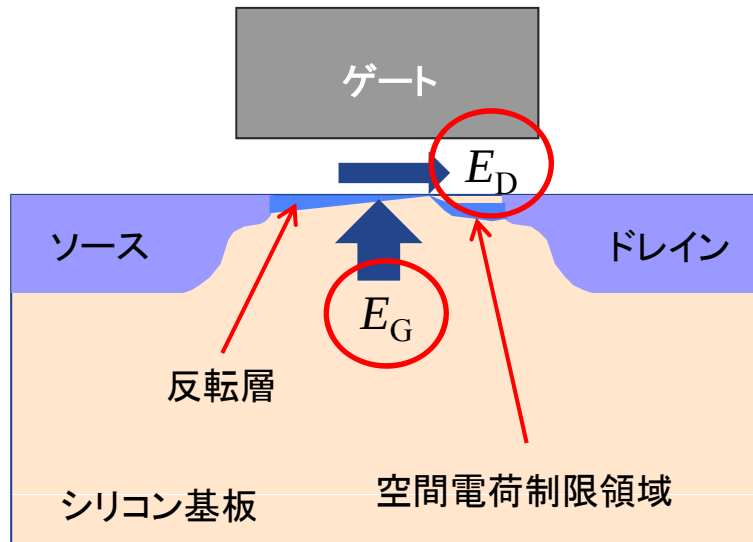
先行的理論、実験
新しい現象、理論の構築
知見のモデル化と検証

応用研究

現場で必要な知見、道具
既知でも良いが実用的
使用範囲(Max)でのデータ



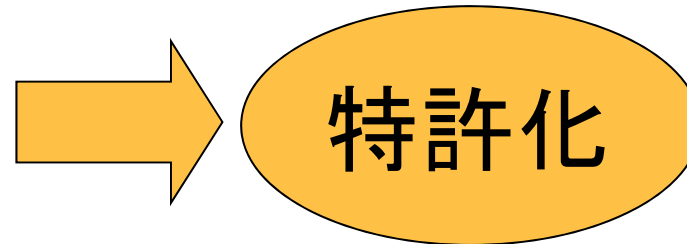
MOSFETにおける電子輸送問題



緩和レート
 $f(a, b, c)$

基板不純物からの散乱

3次元データ構造の
高精度・簡易モデル



謝辞

- 本研究は(独)科学技術振興機構の支援の元、実行されたものです。厚く謝意を表します。
- 技術的ご指導を頂いた明治大学 冨澤先生、特許関連でご厚情を頂いた明治大学 知財グループの方々に厚く謝意を表します。

