

コンパクトモデルによる ナノスケールMOSFETのキャリア輸送

東京工業大学 フロンティア研究センター
名取 研二

概要

- 背景
- 電流・電圧特性のコンパクト・モデル
- キャリヤ輸送特性の解析
- まとめ

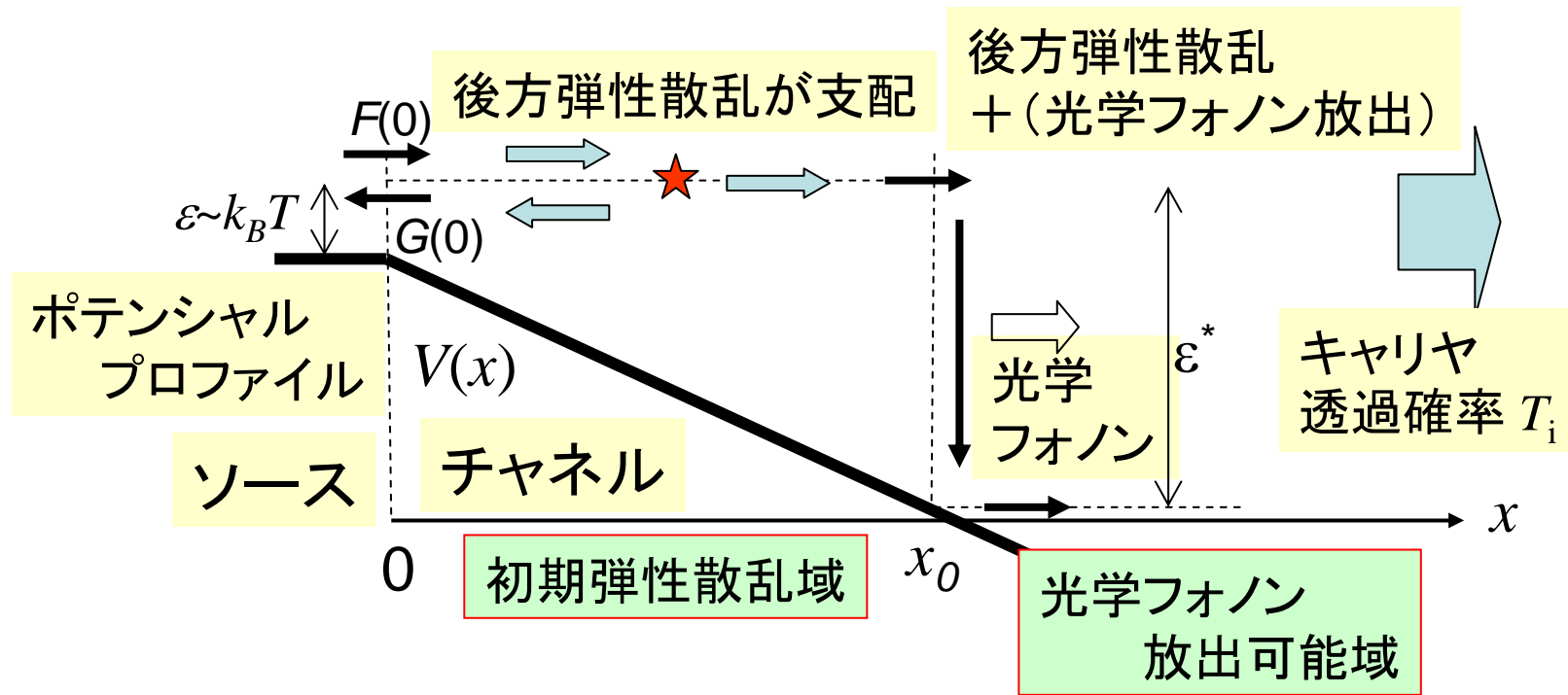
背景

- ナノスケールMOSの極限構造として **Nanowire MOSFET** が注目を集めている
- 簡易なコンパクト・モデルが求められている
昨年、準バリスティックなコンパクトモデルを提出
- 研究の目的
準バリスティックなコンパクト・モデルを用いて、**デバイスの輸送特性とそのメカニズム**を議論する

準バリスティック MOSFETへの考え方

散乱モデル

線形ポテンシャル近似 : 電界 E



Fluxを用いた
ソースからドレインへの透過確率

$$T(\varepsilon) = \frac{(F(0) - G(0))}{F(0)}$$

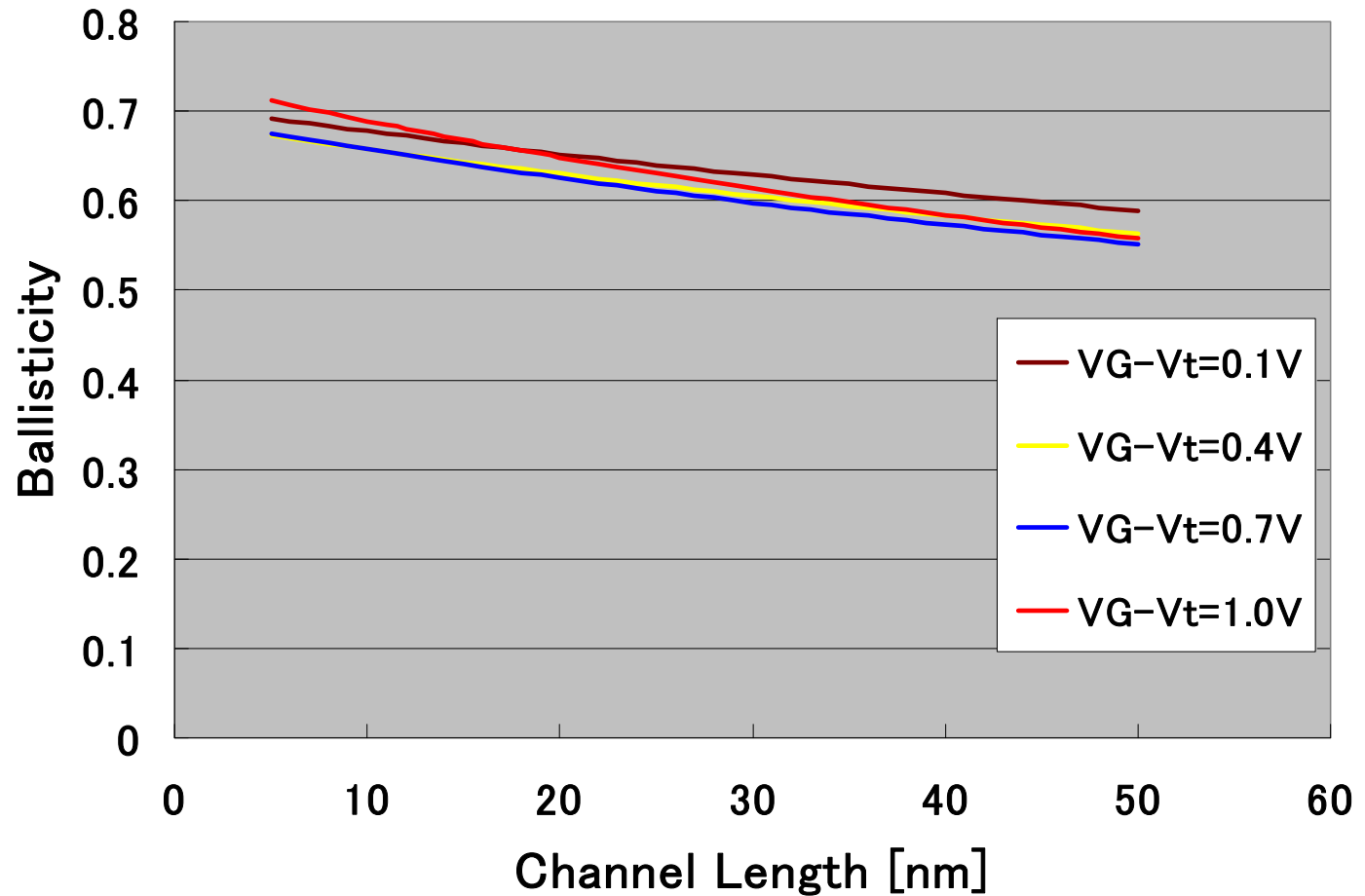
ドレインからの入射=0

Ballisticity と チャンネル長

Ballisticity

$$\left(\frac{I_{Quasi-ballistic}}{I_{Ballistic}} \right)$$

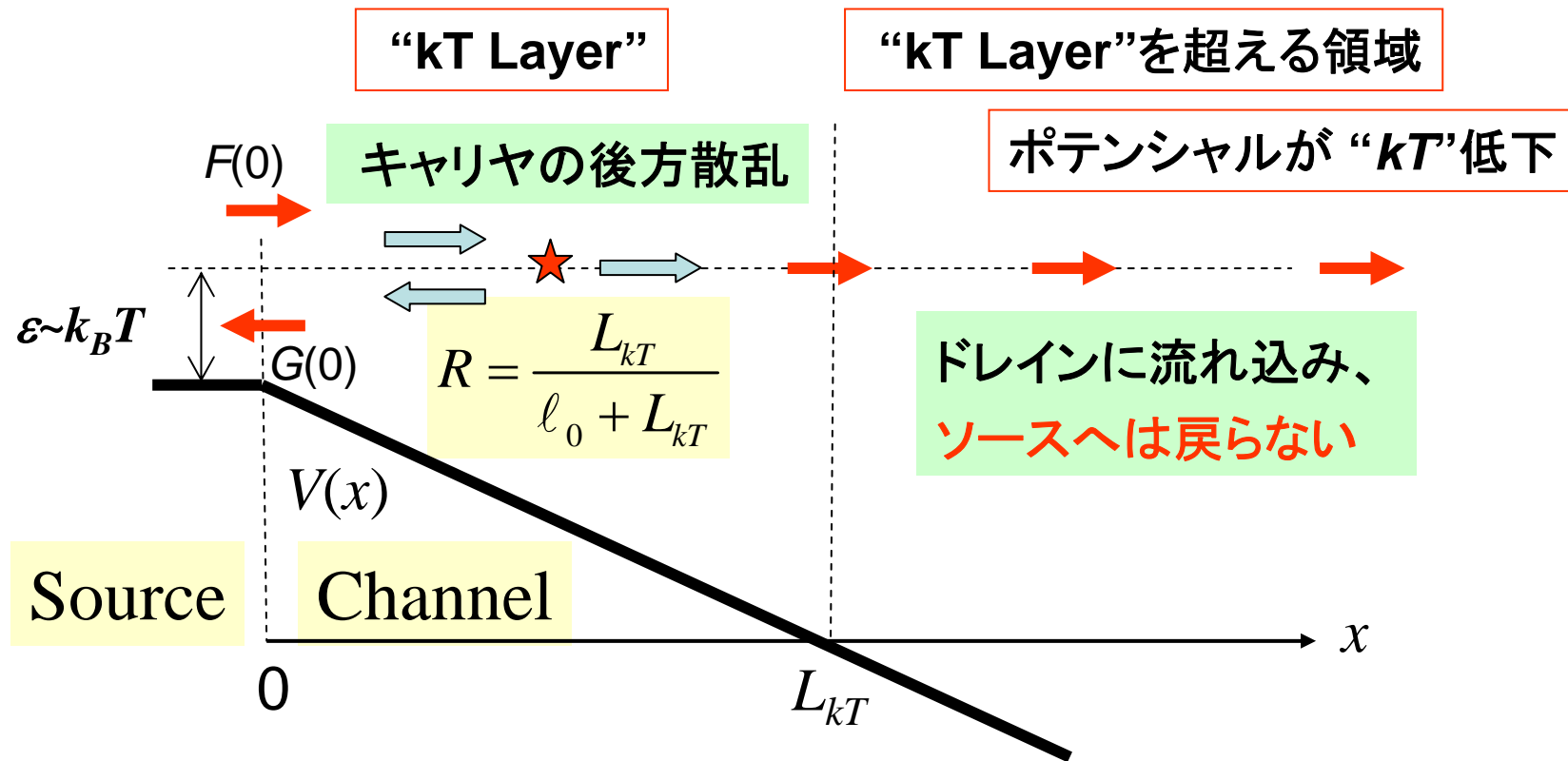
キャリア散乱の
効果を表す



- チャンネル長L を短くするとBallisticity がゆっくり改善
- L=5 nm にしても、まだ 70%

キャリア輸送の従来理論

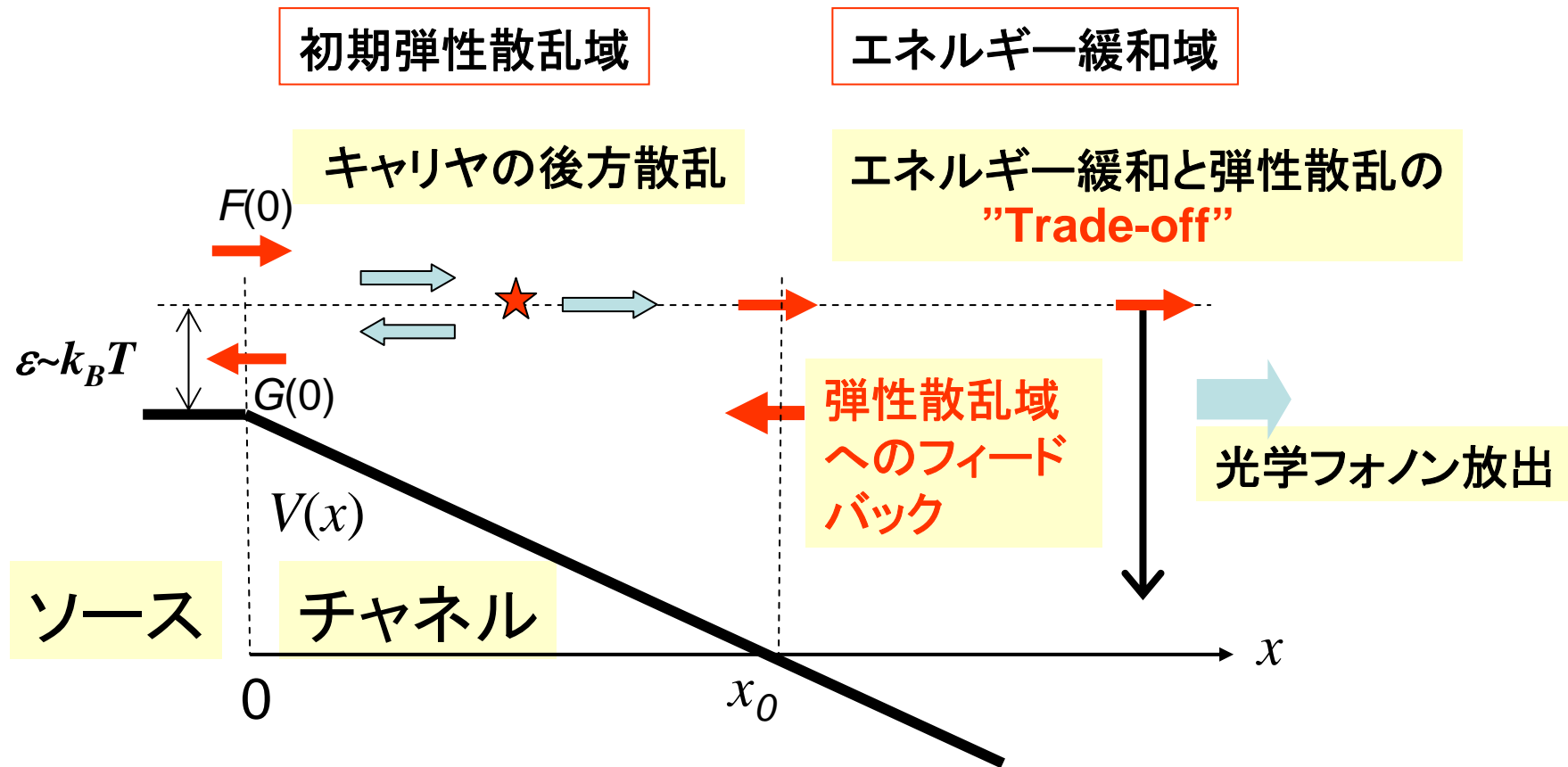
いわゆる(“kT-Layer” Theory)



$$L \rightarrow 0 \quad L_{kT} \rightarrow 0 \quad R \rightarrow 0 \quad T \rightarrow 1 \quad \text{Ballisticity} \rightarrow 1$$

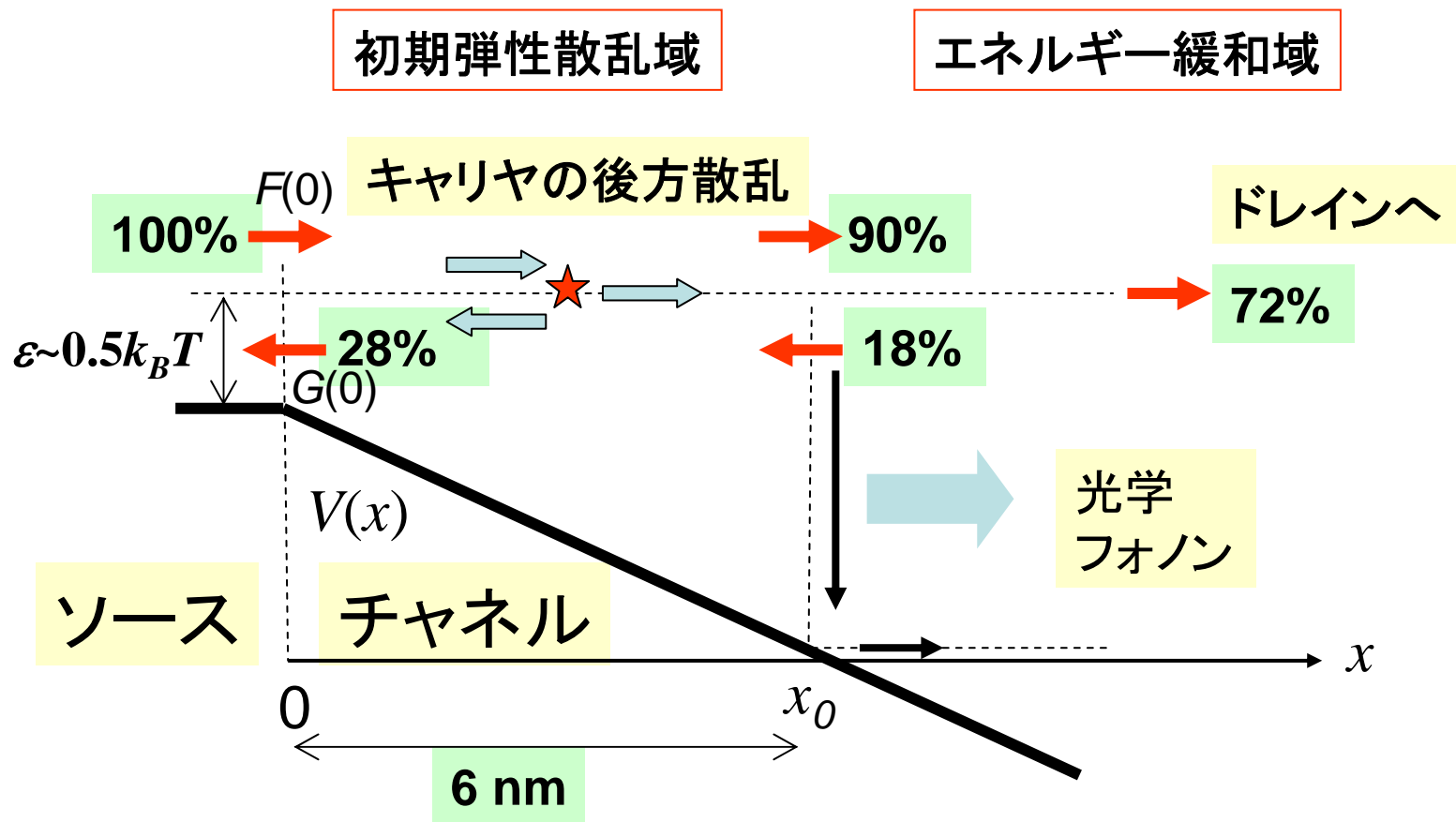
今回のモデルの“Backscattering”機構

(光学フォノン放出によるエネルギー緩和を取込む)



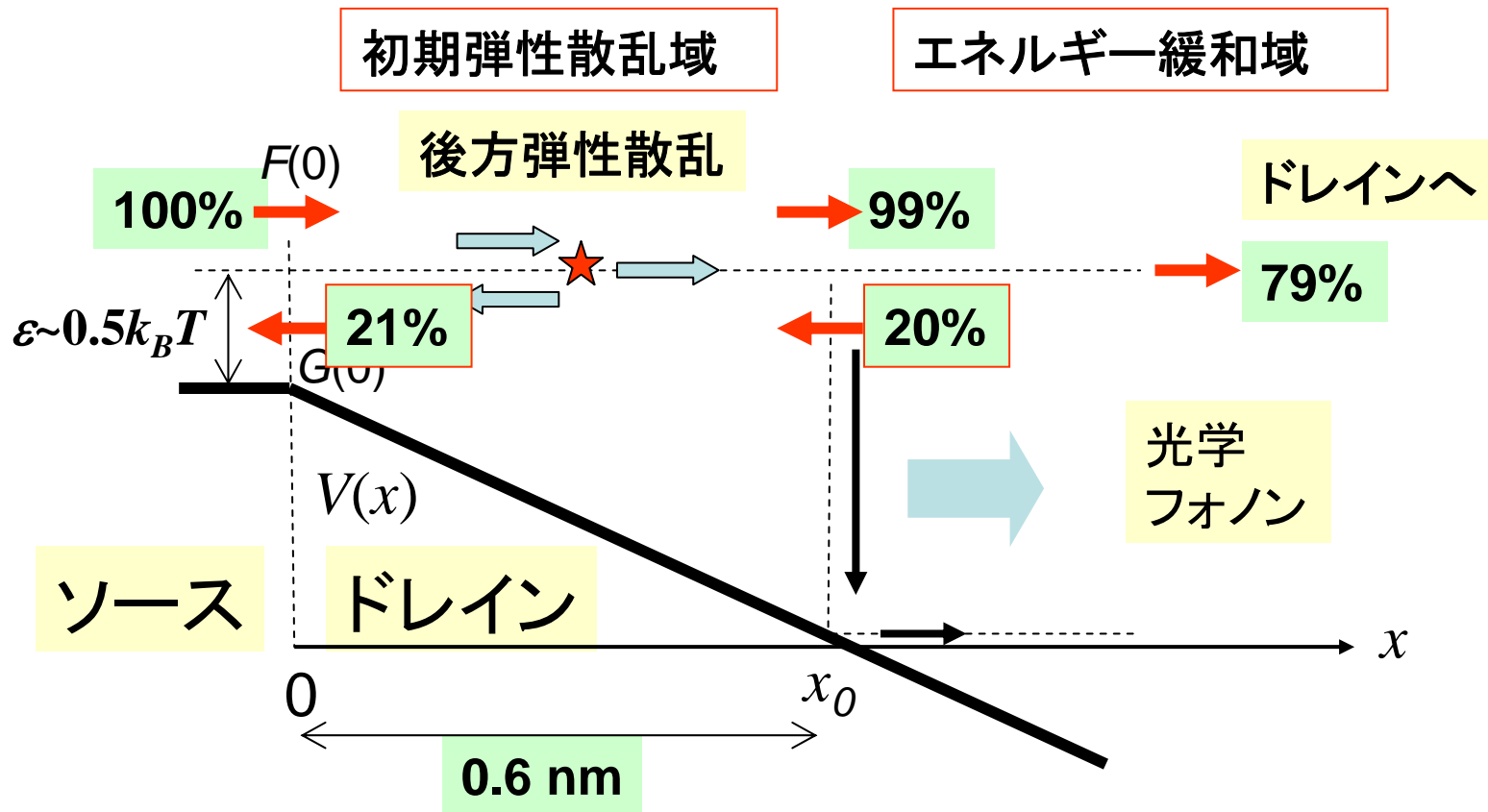
デバイス内の“キャリアの流れ” ($L=50\text{nm}$)

$$V_D=0.5V, \quad \varepsilon=0.5k_B T$$



デバイス内の“キャリアの流れ” ($L=5\text{nm}$)

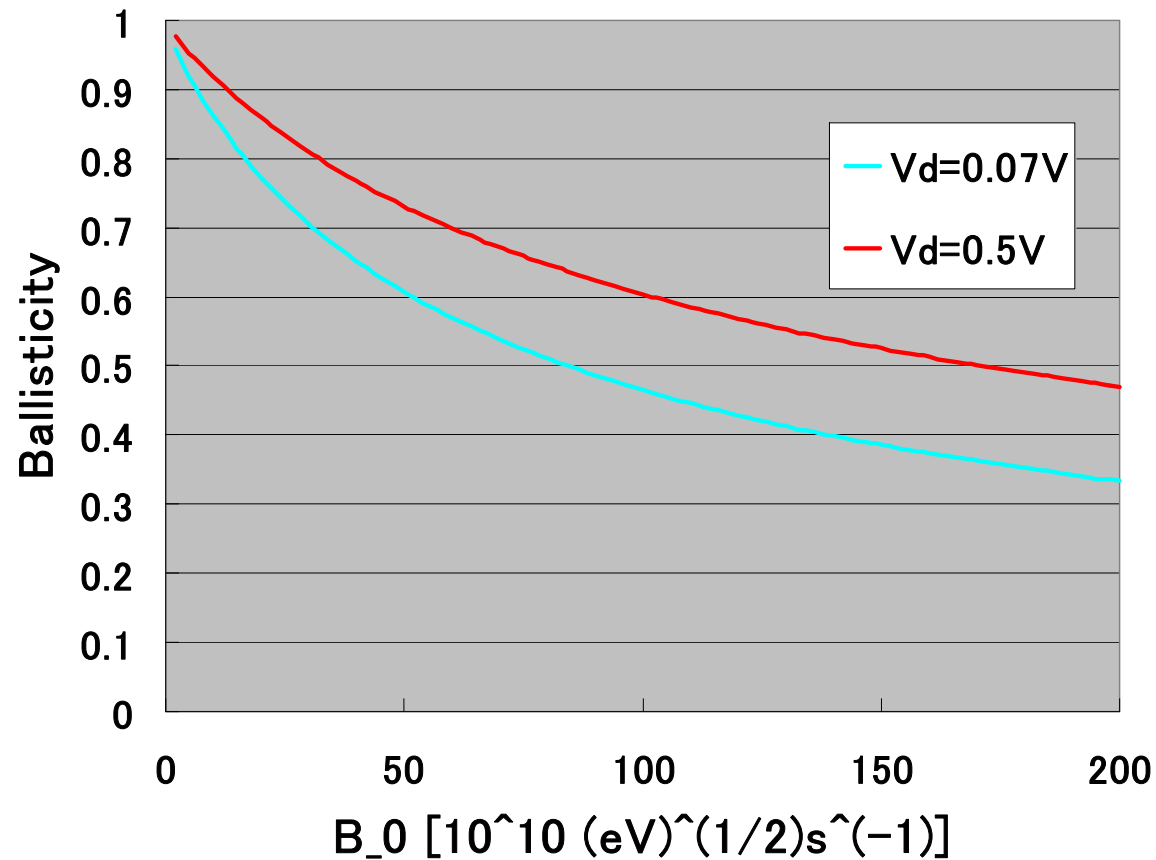
$$V_D=0.5V, \quad \varepsilon=0.5k_B T$$



$L=0$ の極限では、弾性散乱域へのフィードバックが支配的

弾性散乱確率 vs Ballisticity

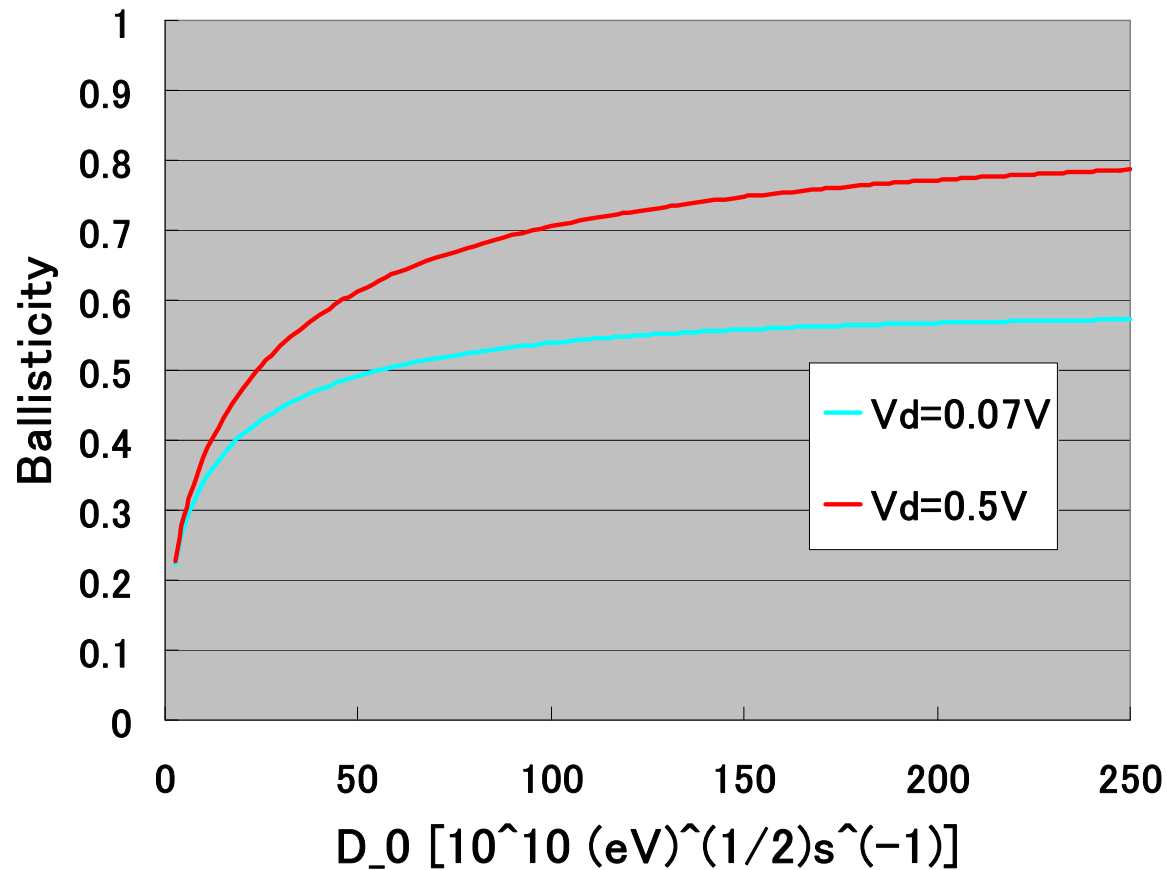
$L=20$ nm、 $V_G - V_t = 0.15$ V



弾性散乱確率 B_0 の増加と共に、Ballisticityが低下

エネルギー緩和確率 vs Ballisticity

$L=20$ nm、 $V_G-V_t= 0.15$ V



エネルギー緩和確率 D_0 の増加と共に、Ballisticityが増大

まとめ

- 準バルステイックなNanowire MOSコンパクト理論を用いて解析。
- 従来の「 kT -layer」理論では、「 kT -layerを超える領域」からのキャリアのフィードバックはゼロとされていた。
- しかし、「 kT -layerを超える領域」と言える「エネルギー緩和域」からのフィードバックが存在し、極微細極限で主要な役割を果たす。このため、 $L \sim 0$ に微細化してもバルステイックにならない。
- 散乱の効果を表すBallisticityは、「弾性散乱確率」と「エネルギー緩和確率」とのトレードオフで決まる。「(後方)弾性散乱」が強ければBallisticityが低下し、逆に「エネルギー緩和」が強くなるとBallisticityが増大する。