

日立中研

村山 良昌, 片山 良史, 小寺 信夫  
神垣 良昭, 吉田 功, 小松原 毅一緒 言

GaAsバルクで知られるGunn効果の現象が解明されて以来、二つ以上の電子帯にまたがるホットな電子の示す負性抵抗効果が興味をもたれている。結晶自体がもつ特定の電子帯構造によるもののほか、外部より加えた外力による電子帯構造の変化を用いても同様の効果の現われることがあり、外力の例として、電場、磁場、圧力などが知られている。本報告では、p型Siの表面に形成したMOSFETを流れる伝導電子の電子帯構造の特異性に基づくホットな電子の示す負性抵抗効果の理論的予測と、主として(100)Si面上のMOSFETを用いて実験された結果のいくつかを述べる。この機能素子はゲート電圧を用いて負性抵抗特性を任意に制御し得る点にメリットを持ち、応用上の興味は大きい。

モデルと計算

(100)Si面上のnチャネル内電子は、バルクの伝導帯に分裂を生じ、図1に示すような複雑な構造をとることはよく知られている。この分裂の大きさはゲート電圧 $V_G$ に従って定まり、その値が周囲温度の熱エネルギーに較べて大きいときに興味がある。弱いドレイン電圧 $V_D$ のもとでは、図の最も低い電子帯 $\varepsilon_0^{(e)}$ を主として占める電子は、大きな $V_D$ により加速を受け、高い電子帯へと励起される。高い電子帯を特徴づけるのは、GaAsの場合と異って、有効質量と散乱の緩和時間の両者である。

MOSの電子の散乱をオー原理から解くのではなしに、ここでは、半経験論的な取り扱いを試みる。緩和時間 $\tau$ のエネルギー依存性 $\tau(E)$ は移動度 $\mu$ が

$$\mu \propto \int d\varepsilon \rho(\varepsilon) \tau(\varepsilon) (-df/d\varepsilon) \cdot \varepsilon$$

で与えられ( $f$ :フェルミ分布関数、 $\rho(\varepsilon)$ :状態密度、 $\varepsilon_f$ :フェルミエネルギー)ることから、0°Kでは、 $\tau(\varepsilon_f) \rho(\varepsilon_f)$ となり、 $\varepsilon_f \propto (V_G - V_T)(V_T$ :閾値電圧)の関係より移動度 $\mu$ がゲート電圧 $V_G$ の関数として与えられる。これは、 $\mu(V_G)$ の低温の測定値から $\tau(\varepsilon)$ が求まることを意味し、この結果を用いて高い温度の移動度を計算することは容易にできる。このとき、高い電子帯の $\tau(E)$ については、次の仮定を置いて計算した:

(i) エネルギー分裂は線型ポテンシャル近似によった。

(ii) 散乱は(準)弾性的な共鳴散乱とした。

(iii) ホットな電子の挙動は電子温度近似( $T_e = T_0 + \tau_T P/k_B$ ,  $\tau_T$ :熱緩和時

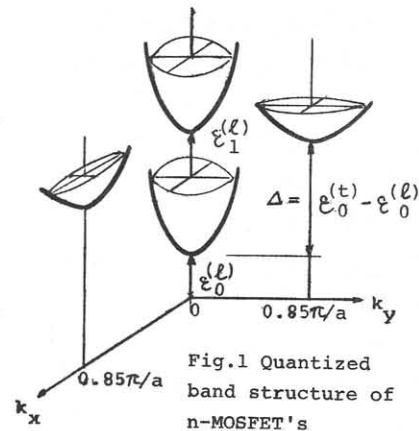


Fig.1 Quantized band structure of n-MOSFET's

間,  $P$ : 電気入力,  $k_B$ : ボルツマン常数) によった。

そのほか重要な仮定として、チャネルの均一性を前提として  $4.2^\circ\text{K}$  と  $300^\circ\text{K}$  での計算結果の一例を図2に示す。熱緩和時間  $\tau = 10^{-13}\text{s}$  を仮定し、もっとも寄与の大きい三つの電子帯のみを考慮している。

### 実験結果

図3は  $1\mu\text{s}$  のパルス電圧を加えてドレイン電流を観測したものである。FETの形状は  $L = 100\mu\text{m}$ ,  $W = 1.5\text{mm}$ ,  $\text{SiO}_2$  の厚さは  $\sim 5,000\text{\AA}$  であり、 $V-I$  曲線に付けられた数字は  $V_G$  である。測定は  $4.2^\circ\text{K}$  で行なわれた。

### 議論

図2の理論曲線と図3の実験曲線との比較上問題とすべき点を次に挙げる。

- (1) 実験曲線の高  $V_D$  側の電流急増は punch-through である。したがって、
- (2) この負性抵抗は三極管から五極管領域にかけて起っており、チャネルの不均一性を無視することは妥当でない。

ほかに  $V-I$  曲線のパルス幅依存性、 $\text{Si}$  面指数依存性、磁場依存性などを調べた結果をも総合して次の結論を得た。この負性抵抗現象を上記した単純な理論と直ちに比較することには困難があるが、この現象はチャネル内の電子に特有な散乱過程と複雑な電子帯構造にかかわる一種のホットエレクトロン効果である。

### 概 括

$\text{Si}$  のチャネル内電子に量子化効果と妥当な仮定を以て非線型伝導の理論から負性抵抗効果を予測した。実験においても負性抵抗特性を得ることができた。理論と実験とを相互に比較し、検討を加えた。

最後に、当研究所の山田栄三郎氏に有益な討論と示唆を頂いたことを深く感謝する。

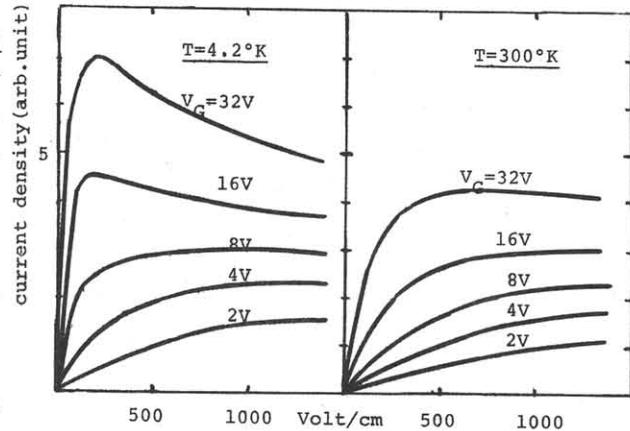


Fig.2 Calculated V-I characteristics

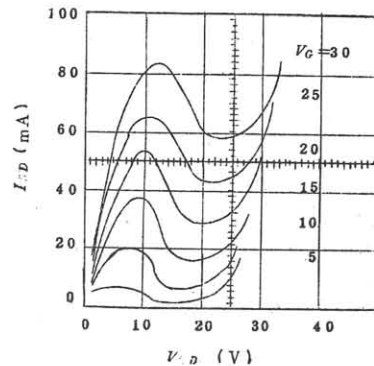


Fig.3 Observed V-I characteristics