

## 第 33 回(2017)京都賞先端技術部門受賞者 業績

授賞対象分野：エレクトロニクス

### 三村 高志 博士

#### 高電子移動度トランジスタの発明とその開発による情報通信技術の発展への貢献

三村高志博士は、1979–80 年、2 種の半導体を積層化した構造を持つ新型トランジスタ、高電子移動度トランジスタ (HEMT: High Electron Mobility Transistor) を発明した(1, 2)。三村博士は、2 層積層化構造において、より大きなバンドギャップを持つ半導体に正に荷電したドナー不純物を入れると、他の半導体内に電子が誘起され、両者の界面に沿って高い移動度を示すことに気付き、この電子の数の多少を制御することにより、トランジスタ動作の実証に世界で初めて成功した。三村博士は、HEMT が、高い電子移動度の故に、優れた高速応答を示す可能性を指摘し、高周波素子としての開発に先導的役割を果たした。これにより、電波望遠鏡用受信機や衛星放送用受信機などへの応用を促し、情報通信技術の発展に大きく貢献した(3)。また HEMT 構造では、その極薄伝導層内で電子は層に沿ってのみ動く 2 次元電子として振る舞うが、高い移動度を示す。このことから、その物性解明に極めて適しており、低次元の電子の物理学の進展の契機ともなった(4)。

HEMT 発明の 10 年前 (1970 年)、Esaki と Tsu は、厚さ 10nm 程の 2 種の半導体超薄膜を積層化させた「超格子」構造を提案したが(5)、これが契機となり、関連研究が進み、電子が GaAs 内に閉じこめられることが示された。AlGaAs と GaAs 超薄膜からなる超格子で、正に帯電した不純物を AlGaAs 層にのみ導入した場合、GaAs 層内に閉じこめられた電子は、不純物から隔てられるため、高移動度を示すことが 1978 年に発見された(6)。三村博士は、これに触発され、正の不純物を含んだ AlGaAs 膜を高純度 GaAs 結晶上に堆積すれば、接合部に高移動度の 2 次元電子が得られることに気付き、これを用いたトランジスタ (HEMT) を発明した。

HEMT は、高周波特性に優れるため、衛星放送用受信機、携帯電話とその基地局、GPS 用受信機、自動車の衝突防止用のミリ波レーダーなど、情報通信社会を支える超高速素子として広く使われてきた。また、HEMT を構成する 2 種の半導体は、当初 AlGaAs と GaAs であったが、InAlAs と InGaAs の組合せに広がった。さらに結晶格子定数が異なる極薄伝導層を埋め込んだ素子も開発され、高速性と低雑音性に優れたマイクロ波やミリ波素子として広く使われている(7)。他方、AlGaN と GaN を用いた HEMT の研究開発も進み(8)、現在では、高出力の高周波素子として携帯電話基地局で活用されるとともに、スイッチング電源回路用の電力制御素子としても使われ始めている。

また、HEMT 構造の半導体界面に形成される超薄伝導層の 2 次元電子は、不純物や界面凹凸の影響を受けにくく、優れた特性を示すため、2 次元や低次元の電子物性の研究に大きく貢献している。

このように、三村博士による HEMT の発明は、高周波領域での情報通信技術の進展に多大な貢献をなすとともに、低次元電子の物理学の発展にも寄与しており、誠に京都賞にふさわしい成果である。

## 参考文献

- (1) Mimura T, *et al.* (1980) A new field-effect transistor with selectively doped GaAs/n-Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As heterojunctions. *J. J. Appl. Phys.* **19**: L225–L227.
- (2) Mimura T (1987) Japan Patent 1409643.
- (3) Suzuki S, *et al.* (1986) Detection of the interstellar C<sub>6</sub>H radical. *Publ. Astron. Soc. Japan* **38**: 911–917.
- (4) Tsui DC, *et al.* (1982) Two-dimensional magnetotransport in the extreme quantum limit. *Phys. Rev. Lett.* **48**: 1559–1562.
- (5) Esaki L & Tsu R (1970) Superlattice and negative differential conductivity in semiconductors. *IBM J. Res. Dev.* **14**: 61–65.
- (6) Dingle R, *et al.* (1978) Electron mobilities in modulation-doped semiconductor heterojunction superlattices. *Appl. Phys. Lett.* **33**: 665–667.
- (7) Yamashita Y, *et al.* (2002) Pseudomorphic In<sub>0.52</sub>Al<sub>0.48</sub>As/In<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>As HEMTs with an ultrahigh *f<sub>T</sub>* of 562 GHz. *IEEE Electron Device Lett.* **23**: 573–575.
- (8) Khan A, *et al.* (1993) High electron mobility transistor based on a GaN-Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N heterojunction. *Appl. Phys. Lett.* **63**: 1214–1215.



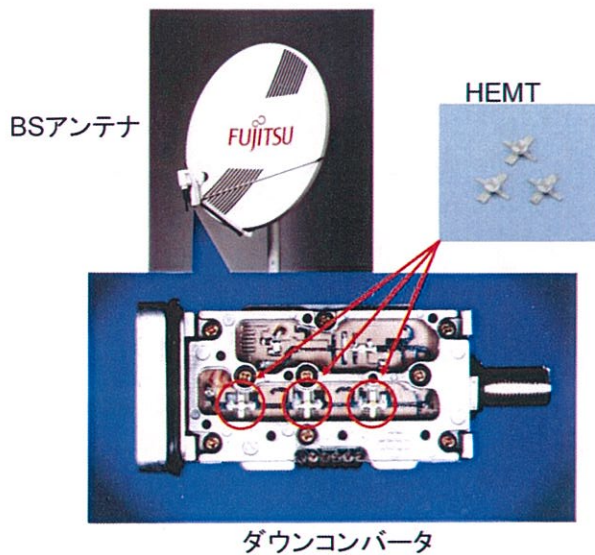
## 先端技術部門

授賞対象分野：エレクトロニクス

## 三村 高志 博士

## 情報通信社会を支えるデバイス

私たちの生活は、携帯電話やカーナビなど、さまざまな電子機器によって支えられている。こうした機器では高速で安定した通信を行う必要があるが、表には見えない所で無数のデバイスがこれを可能にしている。三村博士は、そうしたデバイスの中で、HEMT(高電子移動度トランジスタ)と呼ばれるデバイスを発明し、現代社会の根幹に影響を与える大きな貢献をした。



衛星放送受信機に使用された HEMT (株式会社富士通研究所提供)

## HEMT の影響

HEMT は 1985 年の野辺山電波望遠鏡で初めて製品として世に出た。その結果、暗黒星雲にある未知の星間物質の発見に繋がり、見事にその期待に応えたのである。その後、ボイジャー2号の電波受信機をはじめ、多くの観測系で使われるに至り、天文学を基礎から支える貢献をしている。

固体物理学においても、低次元電子の物性研究に大きな貢献を果たしている。分数量子ホール効果でノーベル賞を受賞した研究者の1人、Störmer 博士の Nobel Lecture 原稿に HEMT の名前が見られるのはその証左と言っても差し支えないだろう。

一方で産業界への影響も大きい。衛星放送用受信機に使われることでパラボラアンテナのサイズが半分以下になり、衛星放送の爆発的普及に貢献したことは特筆に値するだろう。さらには、携帯電話基地局にも使われるなど、現代の情報化社会への影響力は計り知れない。

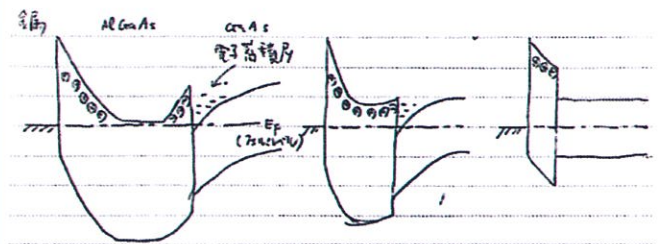


HEMT の活用例

- (a) 携帯電話基地局
- (b) 自動車の衝突防止用ミリ波レーダー
- (c) ボイジャー2号からの電波受信機で使用  
(Credit: NASA/JPL-Caltech)
- (d) HEMT が初めて商用利用された野辺山天文台の増幅器  
(株式会社富士通研究所提供画像を一部加工)

## HEMT とは

HEMT は複数の元素を材料に用いる化合物半導体である。では、HEMT の特徴は何かと言えば、低雑音性、高電子移動度、高周波特性が挙げられよう。電子が移動する層では動きを妨げる不純物が少なく、電子は高速で移動できるのである。このように電子を供給する層と電子が移動する走行層に分けるとともに、電界効果で電子の動きをコントロールすることができる素子を開発したのである。



三村博士が特許出願原稿に描いた HEMT のエネルギーバンド図 (株式会社富士通研究所提供)

## 今後の発展

こうした成功と HEMT のデバイス特性が持つ魅力によって、世界中の研究者・開発者がこの分野に参入している。自動車の衝突防止用のミリ波レーダーのように、その高周波特性を利用したアプリケーションが次々と登場する一方、現在はパワーデバイスとしての利用にまで期待がなされている。HEMT は、情報通信社会の多様なニーズに応じて今後も発展を遂げるだろう。