

○大村 昭, 渡辺千仞 (東工大社会理工学)

## 1. 序

機能材料としてのファインセラミックスの応用の発展に対し、構造材料としてのファインセラミックスの応用の進展は遅速である。それにも拘わらず、半導体製造装置用セラミック部品 (Ceramic parts for use in semiconductor production process、以下 **CPSPP** という) は、構造材料に分類されるものであるが、1995 年来、急速な成長を示した。これは機能材料としてのファインセラミックスを利用するために基本的な要因が CPSPP に伝搬し、本部品が機能材料と同様の発展軌道に乗ったことを示唆している。

CPSPP は構造材料に分類されるので、本示唆より自己増殖的性質を有するある材料が、ある機能材料からスピルオーバーし、CPSPP に同化するという仮説を得た。

一昨年の年次学術大会で、CPSPP の急成長は、機能材料としてのファインセラミックスに基本的な要因が CPSPP に取り入れられ、それら要因によって機能材料と同様の発展軌道をとったことを分析した。<sup>1</sup> 得られた知見は、次の通りであった。

- (1) ファインセラミックスの基本材料の中で、窒化アルミニウム (Aluminum nitride、以下 **AIN** という) は成長軌道を描く自己増殖性を有している。
- (2) AIN は、電気絶縁性及び熱伝導性機能だけでなく、耐食性及び耐熱衝撃性という潜在的な機能を有している。
- (3) AIN の電気絶縁性及び熱伝導性機能は、機能材料としてセラミックパッケージ及びセラミック基板 (Ceramic packages and ceramic substrates、以下 **CPACS** という) に利用されてきた。
- (4) AIN のクロスファンクショナルなスピルオーバー特性は、耐食性及び耐熱衝撃性という潜在的機能を刺激することにより、CPSPP への応用を導き出し、CPSPP は機能材料と同様の成長軌道をとった。

本研究の目的は、CPSPP について、

- 1) 機能材料としての CPACS からの技術のスピルオーバーのメカニズムを明らかにする

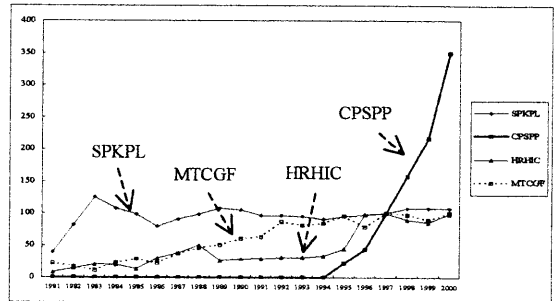
<sup>1</sup> 研究・技術計画学会第 17 回年次学術大会講演要旨 2B31 「ファインセラミックス構造材料における機能性開発についての実証分析」(大村、森崎、渡辺) (2003) P443-446

- 2) 本技術のスピルオーバーの要因を特許出願情報の解析により実証分析する

ことである。

## 2. 半導体製造装置用セラミック部品における機能性開発

構造材料に分類される CPSPP は、1995 年以降、急成長している。図 1 は代表的な構造材料の 1981~2000 年の生産額の推移を比較したものである。MTCGF 及び HRHIC は構造材料においては通常のことであるが、1990 年代初頭ないし中頃から沈滞しているのに対し、CPSPP は例外的に急成長している。



**SPKPL**: スパークプラグ (Sparking plugs)  
**MTCGF**: 切削工具、研削工具、成形工具等の機械工具 (Machine tools for cutting, grinding and forming)  
**HRHIC**: 耐熱・断熱部材 (Heat resisting and heat insulating components)

図 1 代表的な構造材料の生産額の比較 (1981-2000)  
- 1995 年価格基準 - Index: 1997=100

表 1 は、ファインセラミックスの機能、用途とファインセラミックス材料との関係を分析するためのマトリクスである。

表 1 は、優れた電気絶縁性、熱伝導性を有する CPACS 及び高耐食性、耐熱衝撃性を有する CPSPP の基本材料が AIN であることを示している。

表1 主なファインセラミックス材料の機能と用途

Function	Products	Key materials with indigenous functions			
		AlN	SiC	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Functional FC Electronic and optical	CPACS	●			○
Structural FC Chemical, biomedical and living	CEFIL				○
Thermal and nuclear	SPKL				○
	CPSP	●	○		○
	HRHC			○	○
Mechanical	MTCF		○	○	○

<sup>a</sup> 特に電気絶縁性および熱伝導性を有す。  
<sup>b</sup> 特に耐食性および耐熱衝撃性を有す。

CEFIL: セラミックフィルタ (Ceramic filters)

AlN: 窒化アルミニウム (Aluminum nitride)  
 SiC: 炭化珪素 (Silicon carbide)  
 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>: 窒化珪素 (Silicon nitride)  
 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 酸化アルミニウム (Aluminum oxide)

図2は1981~2000年のAlN製品の生産額の推移を示す。図2からAlN製品が1995年から急激に増加していること、この急激な増加は、CPSPPの著しい増加に依るところ大であることが分かる。

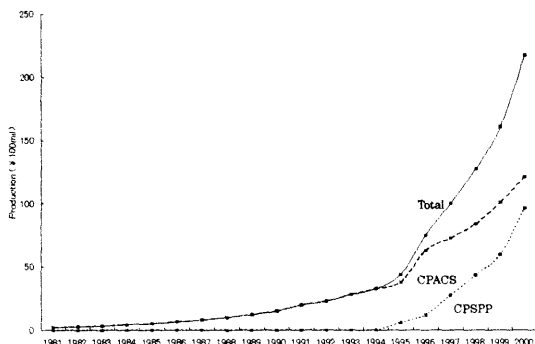


図2 AlN製品の生産額の推移 (1981-2000)  
 : 1995年価格基準

CPSPPは構造材料に分類されるが、機能材料としてのファインセラミックスの基本的な要因がCPSPPに同化するという仮説的見解は、自己増殖性を有する材料が、ある機能材料からスピルオーバーして、CPSPPに同化するという仮説を導出する。表1と図2の分析は、AlNが“ある材料”として期待される役割を果たしていることを示している。

表2はファインセラミックスの応用に供される主要材料のクロスファンクショナルなスピルオーバーの可能性を吟味するものである。

表1に示されているように、表2は機能材料における電氣的、光学的機能に電気絶縁性及び熱伝導性といった機能性が、又、構造材料における熱的、原子力関連機能に耐食性及び耐熱衝撃性といった機能性がそれぞれの固有の機能性としてあることを、さらにCPACSを含む機能材料として使われるAlNがスピルオーバーして、例えばCPSPPのような構造材料に同化する可能性を示している。

表2 主要材料のスピルオーバーの可能性

Function	Functionality	Key materials with indigenous function			
		AlN	SiC	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Functional FC Electronic and optical	Electrical insulating	○	×	×	○
	Thermal conductive	○	△	×	×
Structural FC Chemical, biomedical and living	Corrosion resistive	○	×	×	○
	Thermal and nuclear	Corrosion resistive	○	×	×
Thermal shock resistive		△	○	△	×
Heat resistive		×	○	○	×
Mechanical	Wear resistive	×	○	○	○

### 3. 窒化アルミニウム材料技術のスピルオーバー

表1の解析は、CPACSとCPSPPが、AlNに依っていることを示した。さらに、表2の解析はAlNがCPSPPにスピルオーバーし、同化した可能性を示している。スピルオーバーしたAlNの機能的な性質に起因し、この性質を同化することにより、CPSPPはその機能性を構造材料として認められている機能を保持する一方、機能材料として類似の機能を演ずる機能性を開発すると推定される。

企業の研究開発では、自らの直接的な研究開発投資と合せて次の二つの技術のスピルオーバーのルートを通じて、自企業の技術を向上させる。技術のスピルオーバーのルートは、

- 1) 技術を体化した要素の移転を通じたルート  
 研究者・技術者の移動・交流、生産要素の導入等
- 2) 公共財としての技術の移転を通じたルート  
 技術知識、特許、ライセンス等

の二つに分類できるが、後者においてはスピルオーバーの受け手側の同化能力、吸収能力が技術向上の鍵となり、このためには、研究者が高い研究能力を有していることが必須要件である。

渡辺等は、技術のスピルオーバーのメカニズムを解析した[16]。例証された技術のスピルオーバーのダイナミズムの枠組みを基に、機能材料はドナーに、構造材料はホストに当てはめることができる。

図3はCPACSに使われている機能材料としてのAlN

図3はCPACSに使われている機能材料としてのAINが、CPSPPにスピルオーバーし、同化したダイナミズムの枠組みを示す。

CPACS及びCPSPPに関する日本特許出願を調査し、CPACSに使われるAINが、CPSPPにスピルオーバーし、同化した経緯を明らかにした。図4はAINの研究者が研究テーマをCPACSからCPSPPに移行したことを示している。これら研究テーマの変化は、特定の研究者によって、AINがCPACSからCPSPPにスピルオーバーしたことを明瞭に示している。

スピルオーバーと同化の解析の結果、CPACSに使われているAINは、CPSPPにスピルオーバー、同化したこと、これら技術のスピルオーバーのルートは、特定研究者の研究テーマの移行であったことが分かった。

技術のスピルオーバーの成功要因は、ホスト側が十分な同化能力を有していたからであると推定される。AINがCPSPPにスピルオーバーできた同化能力の重要な要因は、研究者がファインセラミックス技術についての基盤的な研究能力を有し、彼等が構造用ファインセラミックスについてそれぞれに能力を発揮したことによるものと考えられる。

#### 4. 結論

本発表は、一昨年の発表に続き、1) 機能材料としてのCPACSからの技術のスピルオーバーのメカニズムを明らかにし、2) 本技術のスピルオーバーの要因を特許出願情報の解析により実証分析することを目的に研究した。

その結果、得られた知見は次の如くである。

- (1) CPACSに使われているAINは、CPSPPにスピルオーバーし、同化した。
- (2) 技術のスピルオーバーのルートは、特定研究者の研究テーマの移行である。

今後、さらに技術のスピルオーバーの要因を吟味し、構造材料としてのファインセラミックスの生残戦略の考察と確立に向けての研究に資したい。

#### 参考文献

- [1] Ohmura, A., Ouchi, N., Morisaki, S., Watanabe, C., 2003. Functionality Development as a Survival Strategy for Fine Ceramics, *Technovation*, 23 (10), 833-842.
- [2] Watanabe, C., Kondo, R., Ouchi, N., Wei, H., 2002. Formation of IT Features through Interaction with Institutional Systems - Empirical Evidence of Unique Epidemic Behavior, *Technovation*, 23 (3), 205-219.
- [3] Mizutani, T., Mizuno, T., Ushikoshi, R., Kobayashi, H., Watanabe, K., 2000. Development and Commercialization of Ceramic Parts for Use in Semiconductor Production Processes, *Fine Ceramics Annual Report*, 9-13.
- [4] Watanabe, C., Nagamatsu, A., Griffy-Brown, C., 2002. Behavior of Technology in Reducing Prices of Innovative Goods: An Analysis of the Governing Factors of Variance of PV Module Prices, *Technovation*, 23 (5), 423-436.
- [5] Wada, S., 2001. Guidebook of Structural Ceramics. TIC, Ltd., Kyoto.
- [6] Watanabe, C., 2001. Numerical Analysis of Technological Innovation. JUSE Press, Tokyo.
- [7] Horiguchi, A., Ueno, F., Tsuge, A., 1989. Development of High-thermal Conductivity Aluminum Nitride Ceramics, *Toshiba Review* 44 (8), 616-618.
- [8] Komeya, K., 2000. Non-Oxide Ceramics, *Bulletin of the Ceramic Society of Japan* 35 (1), 30-31.
- [9] New Industrial Research Institute Co., Ltd., 1997. Report on Market Survey of AIN Ceramics, New Industry Research Institute Co., Ltd., Tokyo.
- [10] Yano Research, Ltd., 1992. Fine Ceramics Industry Year-Book, Yano Research, Ltd., Tokyo.
- [11] Bernstein, J. I. and Nadiri, M. I., 1988. Interindustry R&D Spillovers, Rates of Return, and Production in High-Tech Industries, *The American Economic Review* 78 (2), 429-434.
- [12] Bernstein, J. I. and Nadiri, M. I., 1989. Research and Development and Intra-industry Spillovers: An Empirical Application of Dynamic Duality, *Review of Economic Studies* 56 (2), 249-269.
- [13] Bernstein, J. I., 1998. The Structure of Canadian Inter-industry R&D Spillovers, and the Rates of Return to R&D, *The Journal of Industrial Economics* 37 (3), 315-328.
- [14] Griliches, Z., 1979. Issues in Assessing the Contribution of R&D to Productivity Growth, *Bell Journal of Economics* 10, 92-116.
- [15] Jaffe, A. B., 1986. Technological Opportunity and Spillovers of R&D: Evidence from Firm's Patents, Profits, and Market Value, *The American Economic Review* 76 (5), 984-1001.
- [16] Watanabe, C., Zhu, B., Griffy-Brown, C. and Asgari, B., 2001. Global Technology Spillover and Its Impact on Industry's R&D Strategies, *Technovation* 21 (5), 281-291.

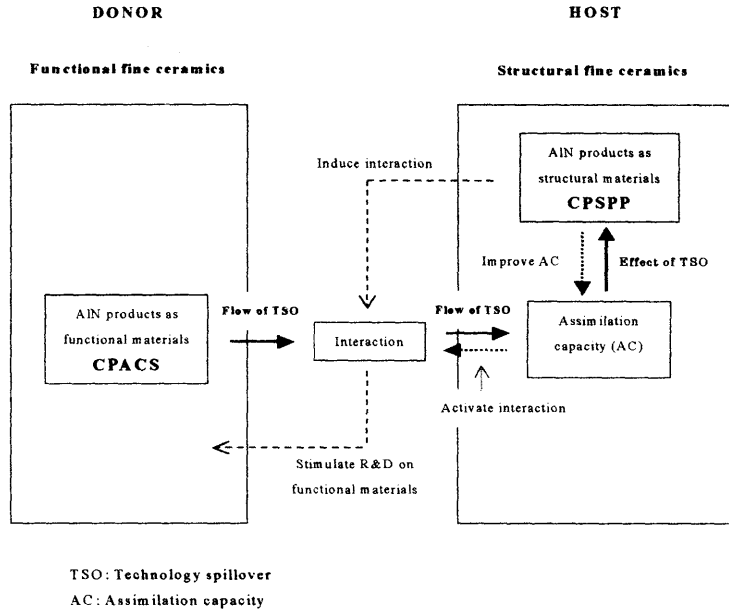


図3 AIN製品の技術スピルオーバーのダイナミズム

	CPACS Stimulated research on functional fine ceramics		CPSPP Research on structural fine ceramics
A	Year 1990 Title Ceramic package  Year 1990 Title Ceramic package	⇒	Year 1990 Title Temperature measuring instrument for inorganic base material and heater utilizing  Year 1990 Title Semiconductor wafer heating device and its manufacture
B	Year 1995 Title Aluminum nitride sintered compact and its production	⇒	Year 1998 Title Member for semiconductor element manufacturing device  Year 1998 Title Corrosion resisting member
C	Year 1998 Title Substrate for heat radiation  Year 1998 Title Aluminum nitride-based sintered compact, its production and heat radiating circuit substrate using the same	⇒	Year 2000 Title Wafer support member  Year 2002 Title Sintered compact of aluminum nitride and electrostatic chuck using the same
D	Year 1999 Title Joint structure of ceramic board and metallic heat sink	⇒	Year 1999 Title Wafer heating apparatus  Year 2000 Title Wafer heating device

a 研究者A~Dは、研究テーマをCPACSからCPSPPに移行した研究者を示す。

b 年及びタイトルは、それぞれ、特許の出願年、発明の名称を示す。

図4 CPACS研究からCPSPP研究への特定研究者の移行