

## TODAY

## 連携による研究・開発・実用化の加速



経済産業省 製造産業局  
 ファインセラミックス・ナノテクノロジー・材料戦略室  
 戦略調整官 倉敷 哲生  
 (元 大阪大学 大学院 准教授)

北岡康夫 前・産業戦略官(現・大阪大学 大学院教授)の後任として製造産業局に着任致しました。阪大から経産省にて3年半ご活躍されたパイオニアである北岡先生に深く敬意を表します。小職は着任してまだ3週間なのですが、異動前の大学での活動を自己紹介として寄稿させて頂くと共に、今後の抱負を述べさせて頂きたいと思っております。

技術と経営に長じた人材育成の必要性が問われる中、大阪大学では工学研究科と経済学研究科が「連携」し、工学研究科内にビジネスエンジニアリング専攻が平成16年4月に設置されました。工学・経済学両分野の教育プログラムを基に、次世代の産業を担える人材(研究開発リーダー、アントレプレナー、ファシリテーターなど)の育成を目指しています。工学の中でも自然科学系と社会科学系を専門とする教員が集い研究室を構成していることから、学生は専攻の共通の理念の下に、自然科学、社会科学の知識と技能を習得することができます。

修得した工学・経済学の知識を如何に知恵に変えられるかが重要であり、そのための教育システム(カリキュラム・手法・手順・教材)としてOJE(On the Job Education)法と称する専攻独自の実践型教育法を開発し実践しています。OJE法では、問題設定・解決力能力、リーダーシップを育成することを目的として、教員が設定した課題を4人程のグループで議論させ、問題点を認識、解決手法を提案、実行させる教育プログラムです。グループの構成は自然科学系の研究室の学生は社会科学系のテーマを選択することを基本とし、教員同士が「連携」し専攻全体として計画的に実行しています(日本工学会

育協会業績賞を2度受賞)。当専攻の志望理由としてOJE法による教育を受講したいという受験生の意見も多く、また、実際に受講した履修生の毎年のアンケート結果では、満足度等の評価点が非常に高く人気科目となっています。(詳細はHPをご覧ください<sup>1)</sup>。「ビジネスエンジニアリング専攻」で検索できます。)

当専攻は大きく2つの講座に分かれ、小職はテクノロジーデザイン講座に所属していました。「信頼性工学」、「複合材料工学」を軸に、これまでの研究に加えて、リスクベース工学、数値シミュレーション、マルチスケール解析技術、機能創成デザイン等の研究を進め、工学の発展に寄与すべく新たなテクノロジーの創成と評価手法の構築を心がけておりました。テキスタイル複合材料のマルチスケール解析技術や、複合材料製人工関節の設計・評価、繊維リサイクル技術による木質代替材料の開発や、電子デバイスの信頼性評価、災害シミュレーションの開発など、「産学連携」・「学学連携」・「異分野連携」をキーワードに研究を遂行しております。(詳細はHPをご覧ください<sup>2)</sup>。「倉敷研究室」で検索できます。)今後も実学の立場から複合領域での技術創成にお力添えをし、社会貢献を果たしたいと考えています。

環境・エネルギー問題、少子高齢化、グローバル化など我が国を取り巻く状況は厳しく、競争激化及びそれによるコスト・効率優先傾向、コンプライアンス軽視など製造業を取り巻く環境が変化しています。しかしながら、その中でも、やはり工学・ものづくりは我が国の産業競争力の源泉であり、その要の一つがJRCMを中心とした皆様方の知であると思っております。所属する室では府省横断型のプロジェクトなど多くの連携業務に関わることとなりました。是非、皆様方の知と、産業界での実用化・応用化への橋渡しができ、連携による研究・開発・実用化のさらなる加速が可能となるよう尽力したいと思っております。

(参考 URL)

1) <http://www.mit.eng.osaka-u.ac.jp/index.html>

2) [http://www.eng.osaka-u.ac.jp/ja/research/index\\_kurashiki.html](http://www.eng.osaka-u.ac.jp/ja/research/index_kurashiki.html)

「戦略的基盤技術高度化支援事業」成果報告  
 「MOCVD 装置における革新的ガス供給システムの実証研究」  
 産学官連携グループ 松沼 健二

1. 研究開発体制  
 株式会社フジキン  
 国立大学法人 大阪大学  
 JRCM

2. 研究開発の背景  
 化合物半導体は、薄膜材料を積層させることで、光デバイスから電子デバイスまで、さまざまな機能を有するデバイスをつくることのできるため、現在、情報家電において不可欠な材料である。特に薄膜結晶の形成プロセスは、デバイス性能を決める最も重要なプロセスであり、現在、量産においては、有機金属気相成長法（以下 MOCVD：Metal Organic Chemical Vapor Deposition）が用いられている。

MOCVD 装置における代表的なガス供給方式は「ラン/ベント」である。図1に MOCVD 装置用のガス供給系を示す。本方式は、プロセス開始に合わせてベントラインからプロセスラインにバルブ開閉を切り替えることで、プロセスチャンバに目的の有機金属材料（以下 MO 材料）を供給するため、原子層レベルにて膜厚・膜質を正確にコントロールした薄膜を形成するには、バルブ開閉を高速応答化し、MO 材料の「急峻な」切り替えを行うことが求められる。現在、MO 材料ガスの切り替え用バルブには、主に圧縮空気を動力源として作動させるエアバルブ（以下 AOV：Air Operate Valve）が広く普及しているが、AOV はチューブ長さ、操作空気圧 及び 同時操作させるバルブ数に対して作動時間が変化するため、高速 且つ 正確なタイ

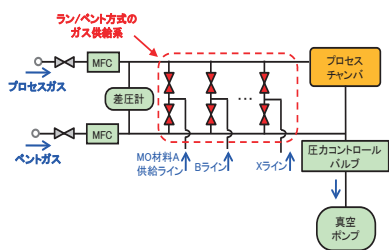


図1 MOCVD 装置用ガス供給系

ミングでバルブを開閉することはきわめて難しい。そのため、ガス切替時に配管内の圧力変動が少なからず発生し、プロセスチャンバ内へ供給する MO 材料の濃度が乱れ、膜厚・膜質のバラつきなど、製品「品質」に悪影響を及ぼしている。

株式会社フジキンでは、既に AOV の代替技術として電子式作動バルブ（以下 ECV：Electrically Controlled Valve）を考案・製品化している。現状の圧縮空気による開閉方式の AOV に比べ、ECV はバルブ開閉の応答時間が 5msec 以下と圧力的に速く、MO 材料ガスの切り替えには最適のバルブといえる。しかしながら、現行 ECV に搭載されるソレノイドコイ

ルは、バルブ閉→開の動作時に比較的大きな電流が必要となり、特殊且つ大型の専用電源が不可欠であることから、ECV を量産機として普及させる上での妨げとなっていた。

3 研究開発の目的  
 本研究開発では、前述の技術課題を解決し、MOCVD 装置において最適となる新型電子式作動バルブを開発するとともに、開発バルブの動作性能および開発バルブを用いて作成した多層膜の構造および特性評価を行い、開発バルブの優位性を実証すること目的とする。表1に従来技術と開発した新技術との比較を、表2に開発目標を示す。

表1 従来技術と新技術（新型 ECV）との比較

	AOV(現状技術①)	ECV(現状技術②)	新型ECV(新技術)
概念図			
特徴及び技術的課題	○安価。構造がシンプル ×圧縮空気による開閉動作のため、下記の課題が存在。 ①高速応答で開閉動作を行うことが極めて困難。 ②圧縮空気の供給系が別に必要であり、システム全体が大型化。	○高速応答で開閉動作が可能。 ×高速かつ大電流でソレノイドコイルを駆動させるため、大型の専用電源が必要であり、システム全体が大型化。	○「高速応答」で開閉動作が可能。 ○電気二重層キャパシタ使用により電源部を小型化し、バルブ本体に内蔵することにより、システム全体を小型・「最適化」。 ○省配線化、電源部内蔵による「コスト低減」。

表2 新型 ECV 研究開発の目標値

対象	検討項目	現状(AOV)	目標値	備考
バルブ本体	開閉応答時間	数10~300msec程度	①10msec以下	「急峻な」ガス切替を行うためには、バルブ開閉を高速応答させる必要あり。
	電磁適合性	(適用外)	基準値内	電子式を検討する場合、電磁適合性の考慮必要。
	デッドスペース	0.1cc程度	現状と同等以下	現状は、プロセスライン側とベントライン側のバルブをブロック上に一体化した「ブロック弁」を使用し、デッドスペースを最小限に抑えている。
	接ガス材質	優れた耐食性を有する材質		現状のAOVと同等の耐食性が必要。
	外部シール性能	$5 \times 10^{-14} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$ 以下		現状のAOVと同等の性能が必要。
	シート性能	$5 \times 10^{-14} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$ 以下		現状のAOVと同等の性能が必要。
	耐久性	開閉回数 400万回以上		現状のAOVと同等の性能が必要。
システム全体	Cv値(※2)	0.1(小型バルブ)、0.3(大型バルブ)		現状のAOVと同等の性能が必要。
	最適構成	バルブ本体、圧縮空気の供給系、電磁弁、の構成	②全電子化 ③コスト低減	現状はバルブ(AOV)本体、バルブの動力源となる圧縮空気の供給系、電磁弁及び電磁弁の制御系が必要。

(※2)Cv値:バルブ等における流体の流れ易さを定量的に表した数値

#### 4. 開発成果

##### 4-1 バルブ特性評価結果

##### ① 新型 ECV の単体特性評価

試作した新型 ECV (図 2) の応答特性を図 3 に示す。立ち上がり及び立下り応答時間は、5msec であり、目標値を達成していることを確認した。また、耐久試験後 (開閉: 400 万 cyc) においてもバルブ動作に異常がないことを確認している。



図 2 新型 ECV

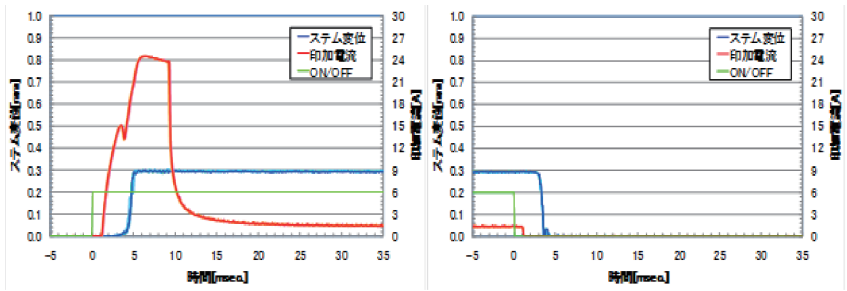


図 3 新型 ECV 応答特性 (左図: 立ち上り、右図: 立下り)

##### ② 模擬配管によるバルブ応答特性評価

ラン/ベント方式のガス切替を実施するための模擬配管系の概念図を図 4 に、ガス切替評価条件を図 5 に示す。模擬配管系に設置した原料供給ラインについて、ガス C ラインにアルゴンガス (Ar ガス) を、ガス B ラインに N<sub>2</sub> ガスを供給する。Ar ガスは MOCVD プロセスにおける有機金属材料を模擬し、N<sub>2</sub> ガスはダミーガスを模擬している。プロセスラインとベントラインには、キャリアガスとして N<sub>2</sub> ガスを供給した。

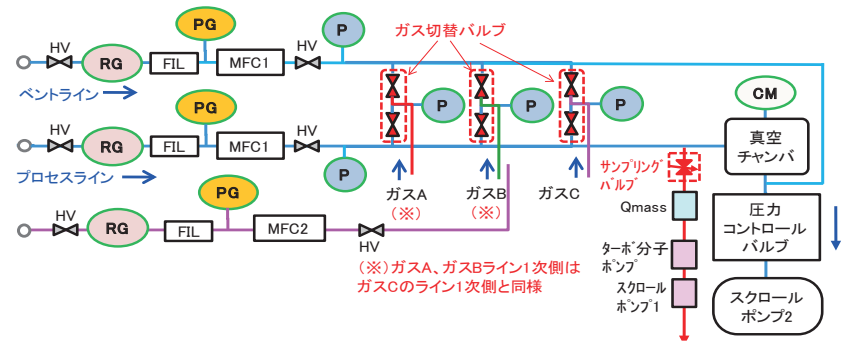


図 4 模擬配管系の概念図

ガス切替バルブに従来の AOV を用いた場合、開発した ECV を用いた場合、それぞれのガス切替時における Ar ガス濃度の測定結果を図 6、図 7 に示す。

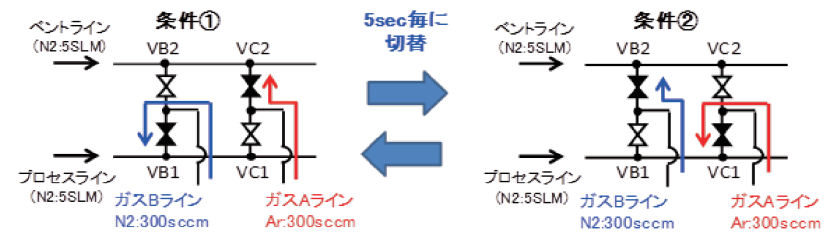


図 5 ガス切替評価条件

図 6、図 7 より、バルブ「閉から開」と「開から閉」ともに、Ar ガス濃度の立ち上がり及び立下りの応答特性は、いずれにおいても新型 ECV が優れており、その応答時間は、10msec 以下であることを確認した。

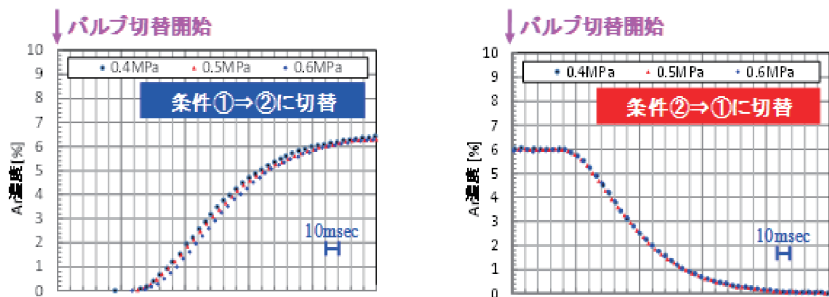


図 6 AOV 使用時におけるガス切替評価結果 (AOV チューブ長さ: 1m)

##### 4-2 プロセス試験結果

LED 等の研究開発に用いられる MOCVD 装置 (量産規模の実機、2 インチウエハ使用) にて、従来技術 (ガス切替バルブに AOV を使用した従来のガス供給系) および開発技術 (ガス切替バルブに新型 ECV を使用した新しいガス供給系) を用いて、図 8 に示す評価用の InGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> 多層構造をそれぞれ作製し、多層膜構造および実デバイスに近い構造での評価を実施した。

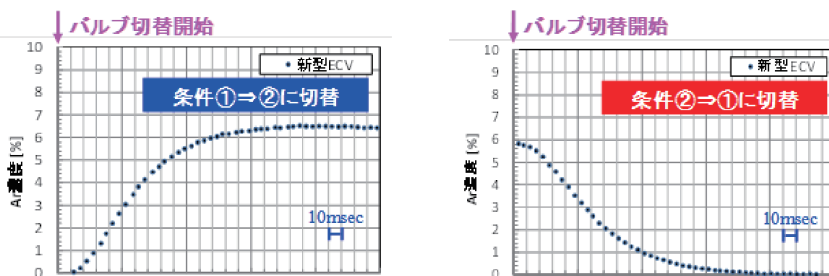


図 7 新型 ECV 使用時におけるガス切替評価結果

##### ① 断面 TEM 観察による評価

従来技術の AOV と新型 ECV を用いて作製した構造評価用 InGa<sub>N</sub>/

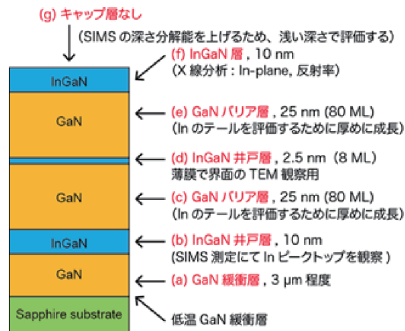
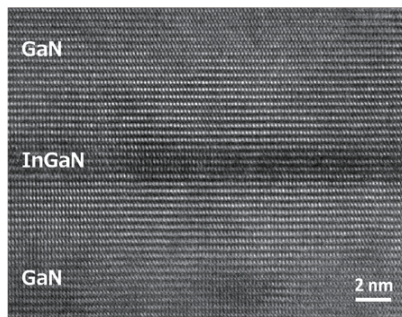
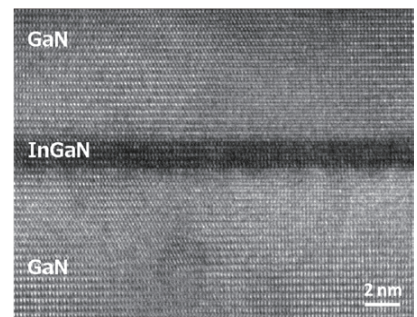


図8 構造評価用 InGaN/GaN 多層構造



従来型 AOV により作製



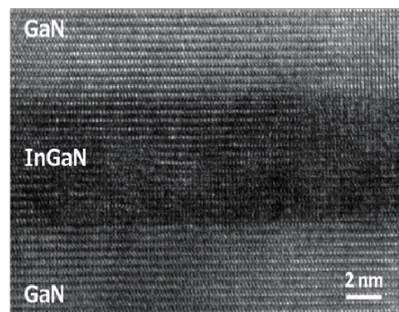
新型 ECV により作製

図9 構造評価用 InGaN/GaN 多層構造 (中央の InGaN) の高倍率断面 TEM 観察

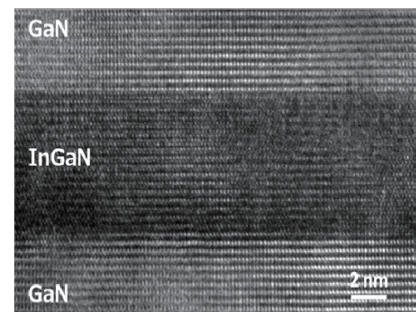
GaN 多層構造を断面 TEM 観察により評価した。どちらの試料も厚い InGaN 層と GaN との界面が急峻であることがわかった。中央の InGaN 層付近の高倍率で観察した断面 TEM 像を図9に比較して示す。従来技術の AOV にて作製した試料では、図9でも示したように比較的急峻でない界面となっていることがわかる。一方、新型 ECV を使用した場合には、InGaN 層上下の界面が明瞭に観察されている。また、図10に示すように、下側の厚い InGaN も同様に新型 ECV にて急峻な界面が形成されている。このことから、新型 ECV を使用することにより、従来技術の AOV を使用した場合よりも、急峻性の優れた InGaN/GaN 界面構造が作製できることが分かった。

## ②発光特性評価

実デバイスに近い LED 構造を従来技術の AOV と新型 ECV を用いて作製し、発光特性評価を行った。図11に示した発光スペクトルから明らかのように、新型 ECV により作製した試料では、最大強度付近でシャープなスペクトルを示しているのに対し、従来型 AOV により作製した試料では、同じ発光波長に加えて、長波長側にもブロードに広がったスペクトルを示している。このことは、インジウム拡散などによる InGaN 量子井戸層の膜厚揺らぎにより、発光スペクトルが広がったためと考えられる。このことから、新型 ECV を用いて青色 LED を作製することによって、より均一な量子井戸が作製可能であることを示している。



従来型 AOV により作製



新型 ECV により作製

図10 構造評価用 InGaN/GaN 多層構造 (下側の InGaN) の高倍率断面 TEM 観察

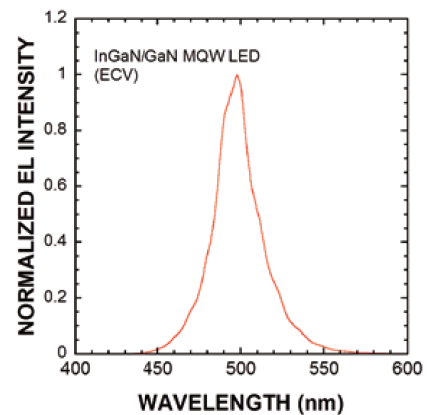
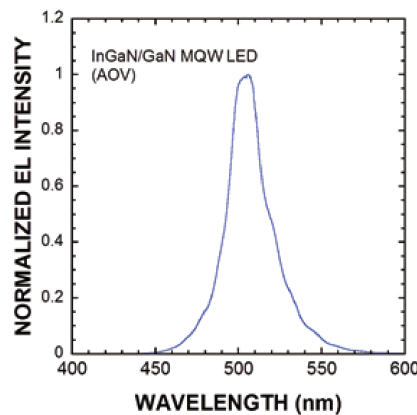


図11 青色 LED の試料構造発光スペクトル

## 5. 今後の展開

本開発品は、既存のラン/ベント方式のユーザである MOCVD 装置メーカーへ単体出荷を行うとともに、装置のエンドユーザー向けとして、従来方式からの置き換え需要を

狙っていく。また、大阪大学で実施する各種の実証試験から得られる知見により、「新型 ECV」の効果をアピールすることが可能であり、サンプル出荷を促進するものとする。

The Japan Research and Development Center for Metals

JRCM NEWS / 第 332 号

内容に関するご意見、ご質問は JRCM 総務企画部までお寄せください。  
本書の内容を無断で複製・複製・転載することを禁じます。

発行 2014年6月1日

発行人 小紫正樹

発行所 一般財団法人 金属系材料研究開発センター

〒105-0003 東京都港区西新橋一丁目5番11号 第11 東洋海事ビル6階

TEL (03)3592-1282 (代) / FAX (03)3592-1285

ホームページ URL <http://www.jrcm.or.jp/>

E-mail [jrcm@oak.ocn.ne.jp](mailto:jrcm@oak.ocn.ne.jp)