

フotpolymer懇話会 ニュースレター

No.76 October 2016



企業出身の大学人が教育について思う

大阪市立大学大学院工学研究科 教授、新産業創生研究センター 所長

堀邊 英夫

1. はじめに

大学教育について、企業出身の大学人が普段考えていることを自己紹介も兼ね、記してみたいと思う。現在、大学は少子化の影響で、進学希望者全員が大学に進学できる“大学全入時代”を迎えると言われて久しい。大学のマスプロダクション化である。実際には進学率の増加で全入には至っていないが時間の問題だと思われる。また、大学間格差も顕著になっている。このような厳しい状況下におかれている大学で日頃考えている教育について述べる。

2. 自ら学び行動する学生の育成

大学生の中には大学入試に合格したことで満足してしまい、大学で学ぶ意欲に欠ける学生も存在するのではないだろうか。もし大学教員としてできうならば、そういった学生の中に存在する可能性を見出し、それを伸ばさせることは重要ではないかと考える。学生自らが自分たちの置かれた厳しい社会環境を認識し、自らが学び行動する人間となるように導くことができれば素晴らしいことだと思う。自らが問題を発見し、解決するための方策を考え、自分の意図することや得られた結果をわかりやすく論理的に伝えることのできる人材に育てられれば幸いである。

3. 科学の精神と問題発見力の重要性

30年近くも前の話になるが、著名大学の理系出身者がサリンの製造に関与した「オウム真理教事件」が起こり、社会を震撼させた。彼らは、大学では、科学の知識を学んだのかもしれないが、科学の精神を学ばな

かったのではないだろうか。二度とこのような悲劇を起こさないためにも、大学教員としてなすべきことは、学生に知識を教えるだけでなく、人間としての生き方や倫理観を教えることだと思う。科学という知識だけではなく、科学の精神も兼ね備えた人間を育成することである。また、これまでの勉強は「正解は一つ」であったかもしれないが、人生には正解はいくつもあり、時と場合によりどれが正解とも言えない。あるいは、問題自体を見つけることが目的の場合もある。“科学の精神”、“問題発見力”を有する人材を育成することが重要であると思う。

4. 大学での私の講義について

教員になって13年になるが、一貫して担当した講義は「高分子科学」である。また、高分子科学は大学卒業以来30年間携わった私の専門でもある。これまで行ってきた具体的な講義は、高分子合成、高分子物性、レオロジー、成形、高分子設計を含めた高分子科学である。

以下のようなことを考え高分子科学を教えている。「高分子」という概念は確立されていまだ100年程度しかたっておらず、まだまだ新しい発見が期待できる“わくわくする学問”である。高分子化合物は、低分子化合物と異なり分子量分布があり、人間が一人一人身長や性格が異なることと類似しており、非常に興味深いと感じる。また、高分子は同じ化学構造でも分子量、結晶性、立体規則性の違いにより物性が異なる点も面白いと感じる。

ところで、人間の体を構成する生体高分子の分子量

は単一であるのに対し、その人間が合成した高分子の分子量は必ず多分散になる。それでは人間は誰が作ったのでしょうか？このようなことを講義中にトピックスとして話すと、いつも教室はしーんと静まりかえるとともに人間の神秘に魅せられる。

講義中は、できるだけ多くの学生をランダムに指名して質問し回答させることで、双方向の授業を行い、学生の緊張感を持続させている（いわゆるアクティブラーニング）。また、できるだけ身近な現象を引合いに出し、それを高分子の概念で説明させることが重要だと考えている。

例えば以下のような質問に対して、ガラス転移温度、ガラス状態、ゴム状態等を用いて説明させている。

1. 洋服（繊維）にアイロンをかける時、霧吹きする理由
2. チューイングガム（ポリ酢酸ビニル）を口に入れると軟らかくなる理由
3. ヨーロッパの古い教会の窓ガラスが流れているのはなぜか（時間因子を考慮した粘弾性の粘性の部分）

教科書を再読すると、そのたびに今まで気づかなかったことに出くわし、なるほどと思うことがある。また、大学院の学生には、機能性高分子の代表としてレジストを取上げ、学生がこれまでに学んだ有機化学、光化学、高分子科学の学問を融合、復習することを意識して講義している。

5. 企業から教育機関への転職

私が電機メーカーの研究所に勤務していた2002年に、韓国の某大手電機メーカーと液晶ディスプレイ（LCD）の共同開発を行った。この3ヶ月間の韓国滞在は、誇張した言い方が許されるなら、私が企業から教育機関へ転職する契機を与えることとなった。

電機メーカーやそれに関連したメーカーが、アジア諸国に進出し、その結果、我が国産業が空洞化、ひいては失業者が増加する現実を垣間見る機会となった。

5-1. 企業のグローバル化とアジア進出

ご承知のように、我が国の大手カメラメーカーは、精密レンズの製造に注力する中で光学部品に関する高度な技術を築き上げてきた。それらは、半導体、LCDの微細パターン作製に用いるレジストの露光装置（ステッパー、現在では一台数十億円以上といわれている）の開発につながり、今やこのステッパーがカメラメーカーの売り上げの半分程度を占めるようになっていると聞いている。このようなメーカーをここでは装置メーカーと総称する。

一方、アジアにおける半導体、LCDのデバイスメーカーは、日本から露光装置を購入し隆盛を極めるまでに成長している。我が国の装置メーカーは、アジアのデバ

イスメーカーに向けて露光装置を大量に輸出し、装置立ち上げのため多くの技術者が派遣された。出張した技術者は生産開始まで半年近く現地に滞在、あるいはトラブルに備えて数年間も相手デバイスメーカーに常駐することになる。

アジアのデバイスメーカーは、導入した露光装置を用いてもノウハウ不足で必ずしも精度良い半導体、LCDが製造できない。満足できる製品ができないと何十億円もする高価な露光装置は返品のおそれがある。そのため装置メーカーの技術者は、日本の電機メーカー（デバイスメーカー）において装置立ち上げで積んだ経験、日本の電機メーカーが苦勞して築き上げてきた半導体、LCD製造技術のノウハウを不本意ながら相手先に提供せざるを得ないことになる。装置メーカーの技術者を通じて図らずも高度なプロセス技術やノウハウが相手メーカーに提供され、やがて日本とほぼ同等の性能の半導体、LCDがアジアの国々で製造されることとなった。事実、私の共同研究相手であった韓国の大手電機メーカーでも、日本とほぼ同じ構造のLCDが製造されていた。両者の大きな相違点は製品の歩留まり（製品合格率）であり、数%から10%程度韓国の電機メーカーのそれが低かったと記憶する。韓国の作業者のLCDパネルの取り扱いが乱雑なことに起因していたと思う。

そうしたアジア諸国では、人件費は日本と比較して格段に安く、中国は日本の1/20、韓国は1/2程度といわれている。韓国で1時間近く電車に乗っても日本円で200円程度あり、500円出せばかなり上等な定食が食べられた。安い生活費、したがって安い人件費の下で生産された製品の価格は当然低く設定される。やがてこれらの製品が日本に流入してくると、相対的に高価な日本の製品はアジア製品に主役の座を奪われてしまう。事実その現象はいろいろな製品について見聞される。私もユーザーの立場では、性能が同じなら安いアジアの製品を買うだろう。日本の装置メーカーは韓国、台湾、中国に装置を輸出して企業利益を上げることはできたが、半導体、LCDを製造する日本の電機メーカーでは製品が売れず大きな赤字（何千億円/年）を抱えてしまうことになった。

5-2. 産業空洞化現象への対応

上述のようなアジアの低価格製品の攻勢に対処するには価格downを図る必要がある。そのため日本の電機メーカーあるいは関連する企業までがアジアへの進出を余儀なくされることとなる。その結果、国内産業は空洞化する。もちろん人口の多い中国には製品のマーケットとしての魅力も有するが。

日本にとって心配なことは、国内産業の空洞化によって失業者が増加することである。日本メーカーのアジア進出で国内の工場が閉鎖され、そこで働く多くの人々が失業するという現実近年マスコミによって喧

伝えられてきたことでもある。ここでは電機メーカを例に挙げたが、製造装置をアジアに輸出することで日本の技術やノウハウも一緒に流出し、同程度の性能を持つ類似の製品をアジア勢が安価に製造する例は電機メーカに限らない。人件費の安いアジアの製品に国内メーカは太刀打ちできないのではないだろうか!? 当然ながら、こうした状況を克服するには先進的で新たな研究開発の推進が求められる。しかし私の企業経験から見ても、100件の新しい研究開発の中から1件事業化できる製品が生み出されるかどうかである。だからこそなお、日本が生き残るためには新規の研究開発を積極的に推進することが必要とも言える。付加価値の高い製品の開発が必須と思われる。

5-3. 製品の価値とは

ところで、製品の価値（バリュー）とは何だろうか。通常、性能／価格で表される。したがって、製品の価値の向上には性能 up が価格 down のどちらかを狙うことになる。現状では我が国の選択は前者しかないだろう。価格をさらにdownすることには限界がある。もちろん価格downのための技術開発は残されているが、アジアの低賃金・低価格にはとても対抗できそうにない。アジア諸国の容易に真似できない、新しい製品を創り出していくしかないのではないかと思う。

もちろん、韓国、台湾、中国にも優秀な人間は多い。現地の仕事を通じて彼らの優秀さを目の当たりにしてきた。新しいものを開発しても彼らは必ず追いついてくる。さらに新しいものを開発し、また追いつかれる。追い駆けっこのような生産活動、「自転車操業的な生き方」となってしまうことになる。後発国の追い上げを特許のみで守ることは難しいと思う。ペダルを踏むこと（製品開発する）をやめれば自転車は倒れてしまう（日本の産業は廃れる）。開発競争に勝ち続けるためには次の点が重要と思う。

- ①製品開発において、容易に真似できない新規アイデアの創出
- ②入念なマーケット調査に基づく企画の立案
- ③ブランドの確立（一朝一夕にはできないが、崩れる

時は一夜にして崩壊する非常にあやういもの）。

もとより、工業以外の道で生き残る選択もありうるだろう。過去に日本の産業構成が農林水産業から工業に置き換わったように、今後は工業からサービス業（情報、福祉、健康、環境等）に転換していく時代なのかも知れない。

5-4. 転職理由

アジア勢が台頭する中、今後の日本の研究開発のあり方や工学教育の方向性など、柔軟な発想を有する若い学生といっしょに考えていけたらとの思いが転職の動機の一つである。上述したような経験を、伝道師よろしく多くの学生に伝えることも必要と思った。日本は世界の国々に比べ土地や資源が乏しい。これまで原材料を外国から輸入し、付加価値を高めた製品を輸出することで利益を確保してきた。状況は徐々に変わっていくかも知れないが、この仕組みは残っていくと思う。工業は日本の根幹産業であり、これから工学を学んで社会に出て行く若い学生達に、乏しい私の経験も含め、工業の重要性を伝えたいと思った。

6. おわりに

以上をまとめると、自ら学び行動する学生の育成、科学の精神や問題発見力を有する人材を育成することが重要であると考え。世界（特にアジア）の中の日本人として、我々科学技術に携わる者が何をすべきかについて学生とともに考え、教育することが私の使命だと思っている。これまで、研究室の学生と過ごした中で、研究の苦勞、学問の面白さ、成就した時の喜びを分かち合えた瞬間が最高に嬉しかった。今後も学生を研究を通して鍛え、有為な人材として社会に送り出すとともに、自分自身もともに成長できれば望外の幸せである。以下は研究室の若い先生の言葉だが、私自身も気に入っている。小中高、大学3回生までは、努力した結果はテストの点数として返ってきたが、これからの研究室での努力は社会に出たときの自分の力に還元される。それを実感してもらえるような専門教育を今後も行いたいと考えている。



高分子科学研究室の俊英たち（2016年4月 工学部中庭にて）

【研究室紹介】

横浜国立大学理工学部機械工学・材料系学科 丸尾研究室

教授 丸尾 昭二

研究室の立ち上げ

横浜国立大学は、横浜市の風致地区の1つである常盤台にあり、緑豊かな高台のキャンパスである。高台からは富士山や横浜みなとみらいの夜景も眺めることができる。現在は、理工学部・教育人間科学部・経済学部・経営学部の4学部で構成されており、2017年4月からは、都市科学部が新設される予定である。

私は、2003年4月に理工学部の前身である工学部に助教授として赴任し、研究室を立ち上げた。当時は、大学院生1名、学部4年生3名の計4名の学生とのスタートだった。まずは、学生室や実験室の大掃除から始まり、粗大ゴミ置き場から古いパソコンやディスプレイ、机、掃除機などを回収してきて、何とか研究活動を開始した。初めての卒業研究では、実験装置などもメーカーからデモ機を借りて何とかデータを収集した。幸い、これまで丸尾研究室を選んでくれた学生達は、非常に優秀で努力家ばかりであり、マイクロ・ナノ工学という新分野に挑戦したいという好奇心旺盛なメンバーであった。そのおかげもあり、科学研究費補助金やJSTさきがけを始めとする多くの研究助成金の支援を得て、フェムト秒パルスレーザーや顕微鏡、電気炉、蒸着装置などの設備も整えることができた。そして、世界のトップレベルの研究者達と切磋琢磨しながら、マイクロ・ナノ光造形やマイクロマシン、ラボオンチップなどの独自の研究開発を実施できるようになった。以下では、丸尾研究室の研究室運営と研究内容について紹介する。



研究室メンバー写真

研究室での学生指導

学部4年生が研究室に配属されると、学生生活は一変する。全員が同じ内容を学習する座学中心の学部教

育から、まだ答えのわからない研究課題に対して、自ら考えて行動することが求められるからだ。未知の課題に対して挑戦し続けるには、知的好奇心と継続的な努力が欠かせない。そこで、丸尾研究室では、学部4年生が研究課題を選ぶときに、複数の選択肢を提案し、自ら好きな研究課題を選んでもらう。すると、研究課題への責任感ややる気生まれ、自ら積極的に研究を継続する原動力となる。また、研究室では、将来、研究者や技術者として独り立ちするために必要な素養として、研究遂行能力だけでなく、レポートを書く能力、プレゼンテーションをする能力など基礎的なスキルも鍛える必要がある。そこで、学生達は週間レポートを作成し、毎週月曜日にメンバー全員に報告するゼミを数時間かけて開催している。月曜日に行うには理由がある。それは、先週までの活動内容をまとめ、今週の計画を整理するには最適かつ重要な日だからである。学生達にとって、毎週何枚ものレポートを1年間書き続けるのはとても大変なことだと思うが、修士課程を卒業するころには、見違えるように成長し、わかりやすい文章を書き、論理的で明快なプレゼンができるようになっていく。また、各自の努力はもちろん、お互いに助け合う協調性も重視している。これまで研究室で培ってきたノウハウや技術を先輩から後輩へ伝承し、さらに高度化することが重要だからである。このため、研究室では何名もの伝説のような先輩がおり、現役生は日々、がんばっている先輩の姿を見てお互いに切磋琢磨している。このような学生主体の研究活動が、次の世代へと受け継がれ、伝統ができていくことを大変うれしく感じている。

研究内容

フェムト秒レーザーを用いた2光子マイクロ造形法の研究

私は、大阪大学大学院工学研究科応用物理学専攻・河田研究室に在籍時に、光硬化性樹脂を用いて任意の3次元微小構造体を造形できる「2光子マイクロ光造形法(図1(a))^[1]」に関する研究で学位を取得した。当時、河田研究室では、レーザー光を集光させて、フォトポリマーの内部にピンポイントに屈折率変化を誘起することで、3次元光メモリを実現する研究が盛んに行われていた。その時、当時名古屋大学に所属されていた生田幸士教授(現在、東京大学教授)が研究されていた「マイクロ光造形法」と呼ばれる3次元造形

技術と、3次元光メモリーの技術を融合するアイデアが生まれた。初期の実験では、まず光硬化性樹脂にフェムト秒レーザーを集光し、2光子重合反応によって樹脂を硬化できることを実証し、立体造形の例として螺旋構造（直径：7μm）を造形した。その後、光硬化性樹脂や造形方法の改良により、今では3D-CADデータから自在にミクロな3Dモデルを作製することができるようになっており、光ファイバー先端や毛髪の上に複雑な3次元構造を付加加工することも可能となっている（図1(b)）。そして今や、この技術は、世界中で活用される3次元微細加工技術となっており、ナノフォトニクス、メタマテリアル、ラボオンチップなど幅広い分野で応用研究が進められている^[2]。

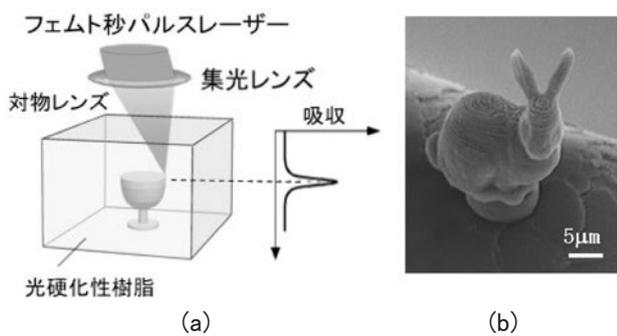


図1. 2光子マイクロ光造形
(a) 造形原理 (b) 毛髪の上に造形したウサギモデル

光駆動ラボオンチップへの応用

我々は、2光子マイクロ光造形の応用研究の1つとして、光トラッピング技術によって遠隔駆動する光駆動マイクロマシンを開発してきた。例えば、これまでに光駆動マイクロポンプや光制御ピンセットなどを実証している（図2(a), (b)）。このマイクロポンプでは、毎分1pL以下の超微量液体輸送を実現できる。また、このピンセットは、光トラッピングによる力がpNオーダーであるため、細胞などをソフトに把持する微小な力制御も可能となる。

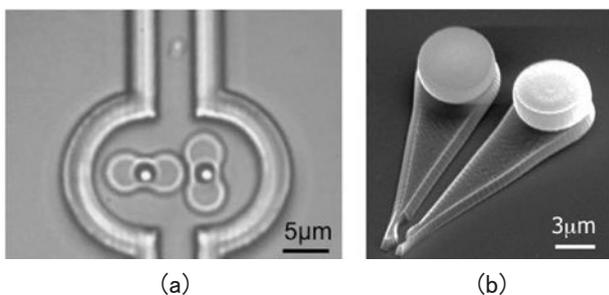


図2. 光駆動マイクロマシンの開発例
(a) マイクロポンプ (b) ピンセット

セラミックス鑄型技術との融合

光造形によって実用デバイスを作製するには、適用

材料の拡張が不可欠である。なぜなら、光硬化性樹脂は、透明で高精度な3次元モデルを提供できるが、機械的強度や耐熱性、耐薬品性などが不十分だからである。このため、製品の試作や検証実験に使われる用途がほとんどであり、最終製品の製造技術として活用されることが少なかった。この課題を解決するために、我々は、光造形で作製した樹脂モデルを母型に用いるセラミックス鑄型技術の開発に取り組んでいる^[3]。本手法では、セラミックス微粒子を用いて高濃度スラリーを調整し、それを樹脂鑄型に注入して乾燥した後に、樹脂鑄型のみを熱分解してセラミックス成形体を得る。その後焼結し、複雑な3次元セラミックス構造体を得る。実際に、透明なシリカ製マイクロ流体回路や、バイオセラミックスを用いた医療用足場、圧電セラミックスを用いた振動発電素子などを開発している。図3は、バイオセラミックスの一種であるβ-リン酸三カルシウム（β-TCP）を用いた足場の作製例である。このように、さまざまなセラミックス材料を用いてニアネットシェイプで複雑形状の3次元構造体を作製できる。

また、この鑄型技術は、光造形で作製した鑄型を毎回焼失させるため単品生産であり、生産性が低いという課題があった。そこで、シリコン樹脂型を用いて3次元微小構造体を複製する鑄型技術を開発した。この複製法では、スラリーをシリコン樹脂型に注入・乾燥させた後に、離型して焼結することで、セラミックス部品を量産できる（図4）。このような3次元セラミックス微小部品は、医療や電気電子分野などへ広く応用が期待されている。

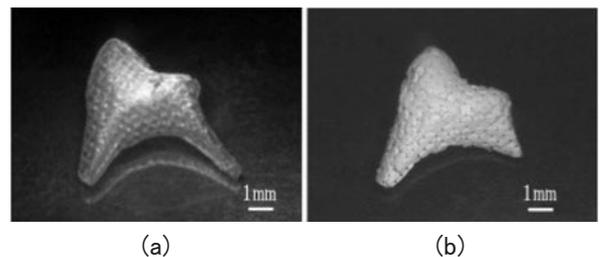


図3. バイオセラミックス足場の作製
(a) 樹脂鑄型 (b) β-TCP足場

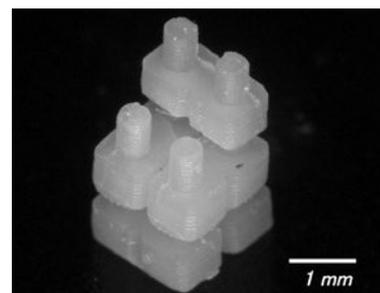


図4. シリコン樹脂型によって複製したセラミックス製ブロック部品の組立例

戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) による 実用化研究

我々は、2014年10月から内閣府が主導する戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 「革新的設計生産技術」に採択され、これまでの研究を発展させて、産学連携による高付加価値製品を創製するための研究開発プロジェクトを開始した。具体的には、100nm以下の加工線幅を安定に実現できる拡張ナノ造形装置の開発や、0.5~1 μm程度の加工線幅を有する普及型装置の開発、さらにはセラミックス鑄型技術による実用デバイスの創製や生体適合性ゲルを用いた人工肝臓の開発など、さまざまな基礎・応用研究に取り組んでいる。今では、我々が開発した普及型装置を神奈川県産業技術センターに設置し、メンバー企業の方に活用してもらおうオープン・イノベーションを実践中である。3次元マイクロ光造形に感心のある方は、ぜひ我々が立ち上げている産学官連携組織「超3D造形ものづくりネットワーク^[4]」に加入していただき、3次元造形技術を活用して高付加価値製品を創出していただきたいと考えている。

おわりに

横浜国立大学において研究室を立ち上げてから13年目を迎えている^[5]。これまで、人と人、技術と技術が融合することで「1+1=3」になるというポリシーのもとで、多くの優秀な学生達が先輩達の英知と技を受け継ぎながら、研究室の伝統を築いてくれた。改めて彼らの弛まぬ努力に感謝したい。そして、これからも社会に貢献できる基礎研究や実用技術開発、さらには実用デバイスの創製に向けて、学生達とともに研究活動に専心努力してゆきたい。

参考文献

- [1] S. Maruo, O. Nakamura and S. Kawata, *Optics Letters* **22**, 132-134 (1997).
- [2] S. Maruo, J.T. Fourkas, *Lasers&Photonics Reviews* **2**, 100-111 (2008).
- [3] 丸尾昭二, 粉体技術, **5**, 638-645 (2013).
- [4] 超3D造形ものづくりネットワーク
「<http://super-3dfab.ynu.ac.jp>」
- [5] 丸尾昭二, 光アライアンス, **26**, 58-60 (2015).

第33回国際フォトポリマーコンファレンスの報告

フォトポリマーコンファレンス組織委員 遠藤 政孝

第33回国際フォトポリマーコンファレンス（マイクロリソグラフィ、ナノテクノロジーとフォトテクノロジー -材料とプロセスの最前線-）は、幕張メッセ国際会議場にて6月22日（水）～24日（金）に開催された。今年度は例年より海外からの参加者も多く、300名以上の参加者があり盛況であった。

コンファレンスの講演は以下の英語シンポジウム、日本語シンポジウムにより行われた。

A. 英語シンポジウム

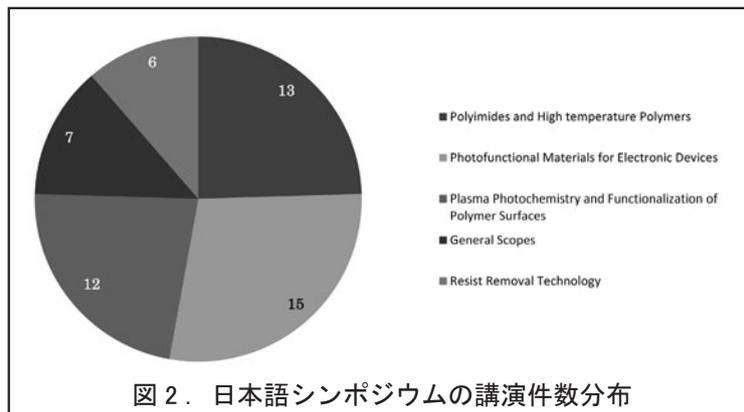
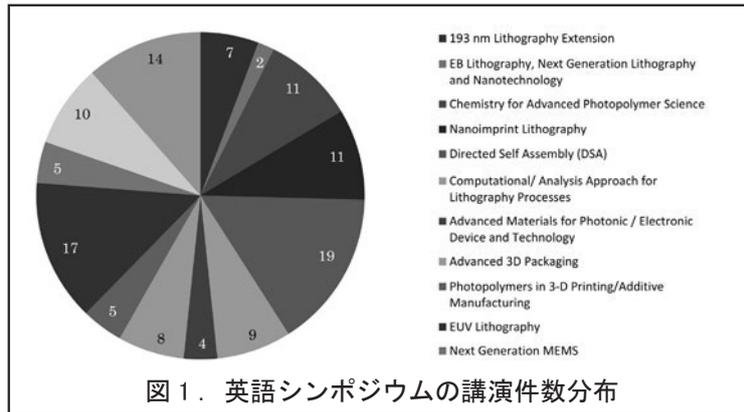
- A1. Next Generation Lithography, EB Lithography and Nanotechnology
- A2. Nanobiotechnology
- A3. Directed Self Assembly (DSA)
- A4. Computational/ Analytical Approach for Lithography Processes
- A5. EUV Lithography
- A6. Nanoimprint Lithography
- A7. 193nm Lithography Extension
- A8. Photopolymers in 3-D Printing/ Additive Manufacturing
- A9. Advanced Materials for Photonic/ Electronic Device and Technology
- A10. Advanced 3D Packaging, Next Generation MEMS

- A11. Chemistry for Advanced Photopolymer Science
- A12. Organic Solar Cells - Materials, Device Physics, and Processes
- A13. General Scopes of Photopolymer Science and Technology
- P. Panel Symposium “Nanoimprint Lithography and the Related Chemistry”

B. 日本語シンポジウム

- B1. ポリイミド及び高温耐熱樹脂-機能化と応用
- B2. プラズマ光化学と高分子表面機能化
- B3. 光機能性デバイス材料
- B4. 一般講演、レジスト除去技術

講演件数は英語シンポジウム122件、日本語シンポジウム53件の計175件となった。英語シンポジウムは、上記A7、A8、A12という新しいシンポジウムの創設もあり、講演件数は初めて100件を大きく上回った。図1に英語シンポジウム、図2に日本語シンポジウムのそれぞれの講演件数の分布を示す。



コンファレンス前日の21日にはGet Togetherが開催された。海外からの参加者の出席が多く、和やかな雰囲気での交流ができた。

23日にはThe Photopolymer Science and Technology Awardの授賞式が行われた。今年度の受賞は3件で、以下の通りであった。

- ・ The Outstanding Achievement Award : Prof. Ueno (Shinshu Univ.)
- ・ The Best Paper Award : Yajima et al. (Saitama Institute of Technology)
- ・ The Best Paper Award : Takano et al. (Tokyo Institute of Technology, EUVL Infrastructure Development Center, Cornell Univ.)

また同日開催されたBanquetはコンファレンス参加

者間の交流を広げ、情報交換の場として非常に有意義であった。

コンファレンス期間中、Technical Exhibitionが行われた。本年は3ブースの展示があった。コンファレンスに関係する技術であり、いずれも興味深かった。

コンファレンスのジャーナルのインパクトファクターも高い値を得ており、コンファレンスの意義は益々重要になってきている。来年度以降も一層充実した学会となるように組織委員の一員として努力していく所存である。

第34回国際フォトポリマーコンファレンスは、2017年6月27日(火)～29日(木)に幕張メッセ国際会議場にて開催される。パネルシンポジウムは、EUVL insertion to HVM, and its extendabilityの主題にて行われる。

【新製品・新技術紹介】

ドライ現像リンスプロセス (DDRP) と材料 (DDRM)

日産化学工業(株)材料科学研究所 半導体材料研究部 坂本 力丸

1. はじめに

次世代の露光技術として、EUV露光による微細化に関する研究開発が盛んに行われている。通常、リソグ

ラフィー工程では露光、PEB後にアルカリ水溶液や有機溶剤による現像を行うが、その後のリンス液のスピンドライの過程でラプラス力が働き、パターン倒れが

問題となる。パターンが微細になるほど、この問題は顕著に現れレジストの解像性を悪化させる問題となっている。

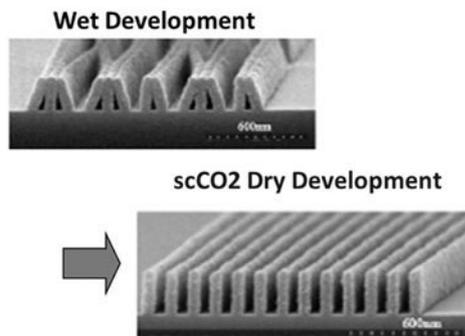
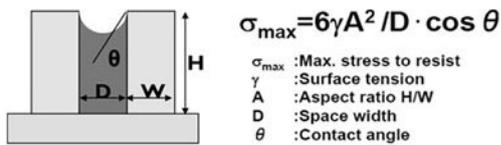


図1. リンス液スピンドライ時に発生するラプラスカとドライ現像によるパターン倒れ抑制

一方、以前検討されていた超臨界CO₂現像やドライエッチングを用いるDSAパターン形成などはアスペクト比の高いパターンをパターン倒れなく作成可能である。これは、薬液を用いないドライ現像ではパターン間にラプラス力が働かないためにパターン倒れが発生しないことを示している（図1）。

弊社では、この原理を用いて微細パターン形成におけるパターン倒れを防ぐプロセス、材料を考案し、EUVLの解像度向上、ArF液浸技術の延命技術としての提案を行っている。

2. ドライ現像リンスプロセス (DDRP) と材料 (DDRM)

ドライ現像リンスプロセス (Dry Development Rinse Process: DDRP) は露光、現像、リンスのプロセスに於いて、リンス液をスピンドライすることなく、塗布材料で置換するプロセスである。つまり、レジストパターンがリンス液で満たされている状態を保ち、そこへ塗布材料 (Dry Development Rinse Material: DDRM) を塗布することでパターン間をDDRMで埋め込むことができる。

DDRMはSi含有の材料で構成され、有機レジストと高いドライエッチング選択性を持ち、ドライエッチングによるレジスト除去を行うことで最終的に元のレジストパターンが反転したパターンを得ることができる。パターンニング工程はドライエッチングを用いるため、ラプラス力は発生せず高いアスペクト比のパターンをパターン倒れなく形成することが可能である（図2）。

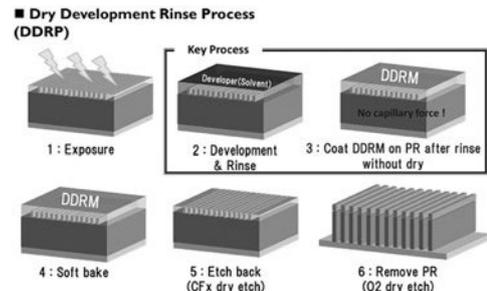


図2. ドライ現像リンスプロセス(DDRP)と材料 (DDRM)

3. DDRPを用いたArF液浸リソグラフィーの特性向上

ArF液浸を用いた露光技術が先端の半導体製造プロセスの量産に使用されており、EUVLの立ち上がりの遅れからこの技術の延命が重要となっている。

DDRプロセスは微細パターンの倒れを防ぐと同時にパターン反転を行うことから、微細なコンタクトホールやトレンチパターンの形成に有用なプロセスとなる。この利点を生かしてArF液浸露光とDDRPの組み合わせによるプロセスマージンの向上、ラフネス低減、解像性の向上に関する検討を行った。

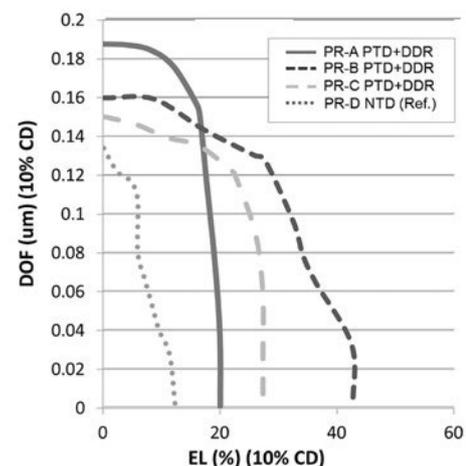
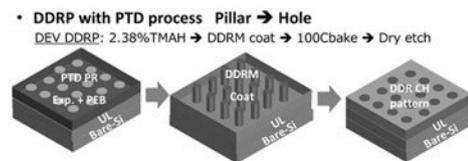


図3. DDRPによるCH形成プロセスと50nm CH形成におけるNTDプロセスとDDRPのプロセスマージン比較

有機溶剤によるネガティブトーン現像 (NTD) をリファレンスとしてDDRPとプロセスマージンの比較を行った（図3）。ポジレジスト3種とDDRPの組み合わせでは、どのレジストでもNTDと比較してEL、DOFにおいて大幅にマージンが向上した。また、LCDUを比較した場合、NTDと比較していずれのポジレジストとの組み合わせでも低い値を示した（図4）。

Resist	PR-A	PR-B	PR-C	PR-D
DEV	PTD+DDRP (Hole)			NTD
Top image				
Eop(μm)	25	19	42	41
LCDU(nm)	3.3	3.5	2.8	3.7
X-SEM				

図4. 50nm CH形成におけるNTDプロセスとのLCDUとパターン形状比較

DDRPにおけるCH形成のプレパターンとなるピラーパターン形成は光学的に高いコントラストを得ることができるため、LCDU、円形状の真円性において優位に働く一方、下層膜との接触面積が狭いため倒れやすいという特徴を有する。DDRPはパターン倒れを防ぎ、かつ最終的にパターンを反転することができるため、ピラーパターンの反転であるCH形成には広いマージンと良好なラフネス特性を得ることができることを今回の結果は示している。

4. DDRPを用いたEUVLの解像性向上

DDRPを用いてフルフィールドスキャナ (NXE3300B) を用いたパターンニングを検討した。レジストは化学増幅レジストを用い、膜厚を50nmに固定した条件で通常のリソプロセスとDDRプロセスの比較を行った。その結果、通常のリソプロセスではHp19nmが解像限界であったのに対し、DDRプロセスではHp13nmの反転パターンが得られた (図5)。

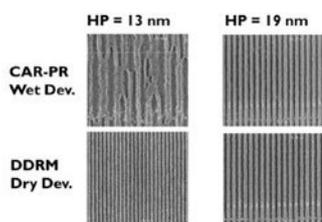


図5. DDRPを用いたEUVLでのパターン倒れ抑制結果

また、3層プロセス上でDDRMのパターン形成後、下層膜、下地基板へのエッチングによる転写検討を行った。Hp22nm L/Sパターンをモデルに用いた検討では、問題なくパターン転写が行え、最終的に下地基板までエッチングによるパターン形成が可能であった (図6)。

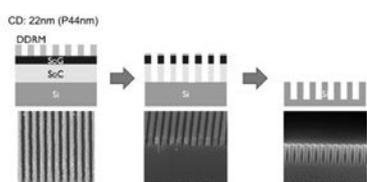


図6. DDRMパターンを用いたパターンのエッチング転写

DDRMはSi系の材料であることから、下層のSOGとの選択比をうまく取れるかが心配な点であるが、ドライ現像によりパターン倒れがないため、高いアスペクトのDDRMパターンを形成可能である。したがって、SOGとのエッチ選択性があまりなくとも、膜厚差 (DDRM : 30nm, SOG 10nm) を利用してSOGへのパターン転写が可能となる。すなわち、DDRPは先端リソグラフィーで一般的に用いられる3層プロセスとの適合性が高いため、さまざまなパターンニングへの応用が期待できる。

5. DDRPの欠陥特性

DDRPは通常の現像プロセスへの付加プロセスとなるため、最終的にパターンニングした時の欠陥の増加が懸念される。DDRPによるパターン欠陥の増加を調査するためにArF液浸プロセスを用いた検討を行った (図7)。

Resist	Pattern	Defect count for each class					Total (Dol)
		Top	Bottom	Bridge	Gap	Block	
ArF-PR	Resist	21	7	3	0	0	31
	DDRM	13	15	2	6	2	38

The image shows five categories of defect samples: Top, Bottom, Bridge, Gap, and Block. Each category has a corresponding micrograph showing the defect morphology.

図7. DDRPとPTDのL/Sパターン欠陥の比較

DDRPにより、通常のPTDプロセスと比較して、レジストパターン上へ欠陥が乗るTopタイプの欠陥の低減が見られた。一方、その他の欠陥モードは同等か若干高めにあるものの、特徴的に欠陥が多くなる傾向は見られず、トータルとしては欠陥数に差は見られなかった。

6. まとめ

今回、技術紹介の機会をいただき弊社で開発したドライ現像 (ドライエッチング) を用いたパターンニング技術と材料に関して紹介させていただいた。現像技術はクラシックなTMAHaqを用いたアルカリ現像 (PTD) の次に有機溶剤現像 (NTD) が量産現場でも使われるようになったが、さらに次の技術としてドライ現像が大きな可能性を持つことを示した。DDRPはパターン倒れを抑制するだけでなく、パターン反転、エッチング時のハードマスクとしての機能を有するとともに、単層プロセス、3層プロセスへの適用性も高くプロセスの汎用性も確認された。また、既存のコータートラックを用いて適用可能であり、特別な設備投資が不要であることも特徴と言える。今回、紙面の都合上割愛したが、NTDプロセスやDSAプロセスとDDRPの組み合わせでもメリットが見られており、DDRPがさまざまな場面で活躍できると考えている。今後も微力ながら微細化技術の一助となれるようプロセス、材料の開発を進めていきたい。

【会告】

【第217回講演会】

日時：平成28年10月12日(水) 12時30分～16時30分
会場：森戸記念館（東京理科大学）第1フォーラム
新宿区神楽坂4-2-2

テーマ：『EUVリソグラフィ』

プログラム：

- 1) EUV Lithography Industrialization Progress
エーエスエムエル・ジャパン(株) 宮崎順二氏
- 2) 半導体量産用EUV光源開発の最新状況と今後の展開
ギガフォトン(株) 山崎 卓氏
- 3) EUVL用ドライ現像リソプロセス(DDRP)と材料(DDRM) 日産化学工業(株) 坂本力丸氏
- 4) 富士フイルムに於けるEUVレジスト開発の現状と今後の展開
富士フイルム(株) 古谷 創氏

参加費：会員：1社2名まで無料(要、会員証呈示)
非会員：3,000円、学生：2,000円
(いずれも予稿集代を含む)

申込方法：

ホームページ (<http://www.tapj.jp>) のメールフォームにて送信、又は氏名・所属・連絡先を明記の上 FAXにて事務局(043-290-3460)まで。

定員：95名(定員になり次第締め切ります)

【第218回講演会(有機エレ材研合同講演会)】

日時：平成28年12月14日(水) 13時～17時
会場：森戸記念館（東京理科大学）第1フォーラム
新宿区神楽坂4-2-2

テーマ：『光を利用するユニークな接着剤』

参加費：会員：1社2名まで無料(要、会員証呈示)
非会員：3,000円、学生：2,000円
(いずれも予稿集代を含む)

申込方法：

ホームページ (<http://www.tapj.jp>) のメールフォームにて送信、又は氏名・所属・連絡先を明記の上 FAXにて事務局(043-290-3460)まで。

定員：95名(定員になり次第締め切ります)

【第219回講演会】

日時：平成29年1月27日(金) 13時～17時
会場：大阪府立大学 I-site なんば
大阪市浪速区敷津東2-1-41

テーマ：『有機薄膜太陽電池の新展開』

参加費：会員：1社2名まで無料(要、会員証呈示)
非会員：3,000円、学生：2,000円
(いずれも予稿集代を含む)

申込方法：

ホームページ (<http://www.tapj.jp>) のメールフォームにて送信、又は氏名・所属・連絡先を明記の上 FAXにて事務局(043-290-3460)まで。

定員：95名(定員になり次第締め切ります)

【協賛シンポジウムのお知らせ】

2016年度第2回P&I研究会シンポジウム

『ナノインプリントの現状と将来展望』

主催：日本印刷学会 技術委員会P&I研究会

日時：2016年11月30日(水) 13時～18時

会場：DIC株式会社 ディーアイシービル会議室
(東京都中央区日本橋3-7-20)

* 詳細は日本印刷学会まで

TEL：03-3551-1808 FAX：03-3552-7206

E-mail：nijspst-h@jspst.org

【協賛会議のお知らせ】

第23回ディスプレイ国際ワークショップIDW'16

主催：映像情報メディア学会(ITE)、

The Society for Information Display(SID)

会期：2016年12月7日(水)～9日(金)

会場：福岡国際会議場(福岡市博多区)

* 詳細はIDW'16事務局まで

TEL：03-3263-1345 FAX：03-3263-1264

E-mail：idw@idw.or.jp

編集者 小関健一

発行人 鴨志田洋一

発行所 フォトポリマー懇話会事務局

〒263 8522 千葉市稲毛区弥生町1 33

千葉大学大学院融合科学研究科 情報科学専攻 画像マテリアルコース内

電話/FAX 043-290-3460

URL：<http://www.tapj.jp/>

2016年10月1日発行