

samco NOW

I Information	2
● SEMICON Japan 2017 お知らせ	
● サムコ科学技術振興財団 平成29年度 第1回研究助成金贈呈式および記念講演 報告	
L ecture	3
記念講演「世界を照らすLED」 名古屋大学 未来材料・システム研究所 未来エレクトロニクス集積研究センター センター長 教授 天野 浩 先生	
A la carte 京の銘菓・老舗11 名物おはぎ『今西軒』	5
T echnical-Report	6
GaNエピタキシャル膜とALD薄膜の界面準位密度	



SEMICON Japan 2017

お知らせ

SEMICON® JAPAN

会 期 2017年12月13日(水)～15日(金)

会 場 東京ビッグサイト

ブースNo. 4631 (HALL 4)



SEMICON Japan 2016の様子

来る12月13日から15日までの3日間、世界を代表するマイクロエレクトロニクス国際展示会である『SEMICON Japan 2017』が東京ビッグサイトで開催されます。

当社は、『Beyond the Border.』をテーマに、生産用のプラズマCVD装置やICPエッチング装置を中心に難エッチング材料加工用や大面積基板処理用装置など独創的な製品群を紹介いたします。また、発売以来多くの反響を頂いております還元作用を用いた銀、銅電極の洗浄・表面改質用装置『AQ-2000』の実機を展示する予定です。

今年で41回目の開催となるSEMICON Japanは、前工程から後工程までのすべてを網羅する国内唯一の大規模国際展示会です。最新かつ豊富な技術・マーケティング情報が得られる本展示会にぜひお越しください。

サムコ科学技術振興財団

平成29年度 第1回研究助成金贈呈式および記念講演 報告

去る9月6日、京都市サーチパークにおいてサムコ科学技術振興財団の平成29年度 第1回研究助成金贈呈式が開催され、薄膜、表面および界面の分野の若手研究者5名※¹にそれぞれ200万円、総額1,000万円が贈呈されました。助成には、全国の大学等高等研究機関、公的研究機関に所属する161名の研究者から応募があり、各分野を代表する選考委員によって厳正な審査がなされました。

式典後には、青色LEDの開発でノーベル物理学賞を受賞された名古屋大学の天野浩教授の記念講演※²が行われました。



研究助成金贈呈式

※1 研究助成対象者5名とその研究課題につきましては当財団のホームページをご覧ください。

<https://www.samco.co.jp/foundation/prize/>

※2 名古屋大学 天野教授の記念講演につきましては、本samco NOWの3-4頁をご覧ください。

表紙写真 ● 嵐山で都から伊勢へ向かう旅を再現「斎宮行列」(野宮神社) 10月第3日曜日(2017年は10月15日)

天皇が即位するごとに、天照大神の御杖代として伊勢神宮に遣わされた斎王。野宮神社で潔斎を行った故事に因んで、平成11(1999)年から再現された斎宮行列も今では京都の秋の風物詩となっている。野宮神社からJR嵯峨嵐山駅を経由して北乗船場で御禊の儀を行い、斎王代が形代かたしろを使って穢れを祓い大堰川に流す。その後は雅楽も奉納。華やかな装束を身にまとった百人の人々が往時の夢を再現する。行列参加者も全国に募集。多くの観光客に愛される行事となっている。

サムコ科学技術振興財団 平成29年度 第1回 研究助成金贈呈式 記念講演「世界を照らすLED」

9月6日に京都リサーチパークにおいて開催されましたサムコ科学技術振興財団 研究助成金贈呈式での
名古屋大学 天野浩教授の記念講演の要旨をご紹介します。



名古屋大学 未来材料・システム研究所
未来エレクトロニクス集積研究センター センター長 教授

あまの ひろし
天野 浩 先生

プロフィール

学 歴 1983年 名古屋大学工学部電子工学科 卒業
1985年 名古屋大学大学院工学研究科 博士前期課程 修了
1988年 名古屋大学大学院工学研究科 博士後期課程 単位取得満期退学
1989年 工学博士(名古屋大学)

受賞歴 1998年 ランク賞 2014年 文化勲章
2001年 丸文学術賞 2014年 ノーベル物理学賞
2002年 武田賞 他

職 歴 1988年 名古屋大学工学部 助手
1992年 名城大学理工学部 講師
1998年 名城大学理工学部 助教授
2002年 名城大学理工学部 教授
2010年 名古屋大学大学院工学研究科 教授
2015年 名古屋大学未来材料・システム研究所
未来エレクトロニクス集積研究センター
センター長

■ 研究の道へ

受賞された5名の皆様、本当におめでとうございます。皆様のご研究により世界中の人々がより幸せになることを祈念しております。選考委員長の村上先生から審査が非常に大変だったとご紹介がありましたが、審査員の先生方にはそのご尽力に敬意を表します。また、サムコ科学技術振興財団の皆様には、特に若手研究者をサポートしていただき、科学技術に携わる一人として大変嬉しく思っております。どうもありがとうございました。

今日は、自分のキャリアを振り返り、特に若手の皆様の参考になればと思い、お話をさせていただきます。また、現在取り組んでいる課題につきましても、紹介させていただきます。

私は最初から研究者を目指していたのでは全くありません。研究者となるきっかけとしては、大学一年で受けた工学序論の講義が非常に印象に残っております。年配の先生でしたが、「君たちは工の字の意味を知っていますか？人と人をつなぐ、これが工学です。」とおっしゃいました。私は高校まで勉強が大嫌いでしたが、この一言で勉強することの意義は人々の役に立つことであると初めて心底理解でき、勉強が大好きになりました。気持ち次第で人生は大きく変わるということを実感いたしました。

それでは青色LEDの研究を少し紹介させていただきます。LEDはアメリカとヨーロッパで主に開発されました。赤色LEDはガリウム(Ga)とヒ素(As)の化合物であり、1962年に初めて世に出たといわれています。その約10年後に、Gaとリン(P)の化合物で緑色LEDができました。この流れから、周期律表を見れば次に何ができるか大体予想がつきます。周期律表の下からGaとAsで赤、GaとPで緑ですから、次はGaと窒素(N)で青になります。1970年代には多くの一流研究者が挑戦しましたが、残念ながら商品化には至りませんでした。まず、きれいな結晶ができない、p型の結晶ができない、青色発光のために必要なインジウム(In)を入れたInGaNができないということで、この三つはできないと思い込まれるようになりました。しかし、私にとってはこの三つの先入観を突破するという明確な目標設定ができました。

もう一つ私にとって重要なことは、羅針盤となる

存在がおられたことです。私の恩師、赤崎勇先生です。赤崎先生は企業で青色LEDの研究を続けてこられました。研究をストップされたためやむなく1981年に名古屋大学に移られました。その翌年、私は卒業研究生として赤崎先生の研究室に入らせていただきました。私はコンピュータに強い関心を持っておりましたが、当時のブラウン管のディスプレイは非常に大きかったため青色LEDでディスプレイを一変させたいと思い、入らせていただきました。

■ 300万円での装置造り

当時の研究環境をぜひ若い方々にお伝えしたいのですが、赤崎先生が名古屋大学に移られた1981年の研究費は、運営費交付金プラス科研費で310万円、翌年は270万円でした。本当ならば新しい結晶成長法の装置購入には1億円くらい必要でした。しかし、研究費が少ないということは注目されていないということであり、逆にチャンスだといえます。

赤崎先生は研究に関して我々と同じ立場で議論してくださいました。新しい技術に関しては全員素人であり、学生が自由に研究や実験を進めることができました。赤崎先生が「一番よく知っているのは研究の最前線にいる君たちだ」とおっしゃってくださいったことは特に心に残っております。赤崎先生は私が最も尊敬する先生であります。

実験装置は、博士課程(博士後期)の学生として入られた小出康夫さん(現在 物質・材料研究機構)と一緒に全部手造りしました。高周波加熱のコイルはまっすぐな銅パイプを買い、バーナーで温めてビール瓶の周りをぐるぐる巻いて作りました。そのようにして300万円の研究費で装置を造りました。分光器はさすがに赤崎先生が会社から持ってこられたものを使いましたが、フォトルミネッセンス測定装置やホール効果測定装置は自分たちで組み立てました。すごく時間はかかりましたが一つ一つが勉強でした。評価とはどんなものか、結晶とはどんなものかということを経験する最高の機会でした。

■ 青色LEDの完成

学部4年生から修士(博士前期)1年、修士2年と3年間頑張りましたが、きれいな結晶は一向に

できませんでした。しかし、全部自分で考えて実験できたため本当に楽しい3年間でした。幸いにして修士課程が終わる頃、赤崎研究室の助教授だった澤木宣彦先生(現 愛知工業大学)のお話がヒントとなり、当時世界で最もきれいな結晶を作ることができました。世界の注目を集めるに違いないと思い、ものすごく感激しました。特許も書きました。論文はアブライドフィジックスレターにすぐに通りましたが、当時はGaNの研究者がほとんどいなかったため、残念ながらこの論文はほとんど注目されませんでした。

次に博士課程でp型の結晶にチャレンジしました。当時、ワイドギャップ半導体では、アクセプターという不純物を入れると欠陥ができ、p型ができないという自己補償効果がいわれていました。実際にこれは正しいのですが、当時の私はどうしても受け入れることができませんでした。使っていた不純物は亜鉛(Zn)です。Znは不活性ですが、電子線を当てると青色発光が強くなることを見出していましたが、博士課程の3年間ではp型はできませんでした。博士の学位は3年間で取るつもりでしたが、残念ながら当時の名古屋大学は論文を三つ書かないと博士論文を書かせてくれませんでした。二つは書けましたがあと一つがどうしても書けず、学位を取ることができませんでした。しかし、非常にありがたいことに赤崎先生は助手にしてくださり、研究を続けることができました。p型にチャレンジした4年目に、フィリップスの『半導体結合論』のZnよりもマグネシウム(Mg)の方が活性化しやすいという記述から自分の間違いに気づき、1989年に世界で初めてp型が完成しました。最初に作ったpn接合型LEDはほとんど紫外線の領域で光っていましたが、何とか条件を変えて可視でもはっきりと見ることができるようLEDができ、学位を取ることができました。

三つのターゲットのうち二つはクリアできましたが、最後のInGaNは大失敗の経験でした。早くから取り組み、2年間続けましたが、少ししかInが入らないため諦めていました。当時、InN結晶とGaN結晶は熱力学的に不安定なので混ざらない非混和性と考えられ、その話を受け入れていました。し

かし、2年後に当時NTTにいらっしゃった松岡隆志先生（現在 東北大学）が原料を運ぶガスに窒素を使って混ざることを見つめられました。

この三つが揃って青色LEDは商品化されました。私が当初考えていた用途はディスプレイだけでしたが、日亜化学の技術者が青色LEDに黄色の蛍光体を重ねるだけで白色LEDができることを見つけてくださり、一般照明でも使えるため一気に研究人口が増えました。白熱電球と比べて10倍以上、蛍光灯と比べても2倍以上の効率で省エネにつながります。2020年までにLED電球の普及率は70%を超え、節電率はトータルの発電量の7%になると考えられています。電力料金では年間1兆円の節電になると言われております。

■ 紫外線LEDで水を浄化

ノーベル財団が、「インフラを持たない世界15億人を照らす」とおっしゃってくださったことは本当に嬉しかったです。また、2015年2月にはモンゴルの教育・科学大臣が名古屋大学に来られて、「あなた方はモンゴルの伝統文化を守ってくれた」とおっしゃってくださいました。モンゴルではゲルと呼ばれるテントでの遊牧生活が伝統文化でした。夜は真っ暗になりますが発電機は2〜3時間しか持ちません。そのため遊牧生活を諦め、定住生活を希望する若い人がどんどん増えましたが、LED電球のおかげで遊牧生活に戻る人たちが増えつつあると喜んでくださいました。2016年3月、実際にモンゴルに行き、一家庭を訪問したら本当にLEDが使われていました。ものすごく感激いたしました。

特別な才能がなくても一心不乱に頑張れば人々のためになるということを実際に体験できました。熱中力、没頭力はすごく大切だと思いますが、自分が実験に打ち込めたのは30歳代前半まででした。皆様も今がもう最後のチャンスかもしれません。ぜひ、そのつもりで研究に没頭していただければと思います。

青色LEDとその次の半導体レーザーの研究も一段落した30歳代後半に、社会の課題を解決する研究をしたいと考えました。3ヵ月間のサバティカルをもらい、アメリカのサンディア国立研究所に留学させていただきました。ここでは、アメリカの研究所がいかに創造性豊かで、面白い実験、研究をしているかということに初めて肌で感じ、彼ら以上に社会に貢献するにはどうしたらいいだろうかと真剣に考えました。そこでヒントになったのが、彼らと一緒に取り組んだ紫外線の発光素子の仕事です。地球は水の惑星といわれますが、実際に我々が使うことができる淡水湖の水は全体の100万分の70、川の水は100万分の2しかありません。ユニセフの報告によれば、いまだに6億6,000万人が安全な飲み水にアクセスできず、24億人が衛生的なトイレを使えておりません。殺菌・浄化用の紫外線LEDに必要な結晶は先ほどのGaNの仲間で、アルミ（Al）を混ぜた結晶です。ここでも研究費では苦労しました。科研費を申請して基盤Aを取ることができましたが、新しい結晶装置の購入には不足でした。しかし、装置メーカーにご協力いただき、何とか購入することができました。また、高温で結晶成長するための特殊な部品も、部品メーカーに協力いただきました。この基盤研究は順調に進み、きれいな結晶を作ることができました。次にNEDOに応用研究の資金を出してもらい紫

外線LEDの基礎技術を開発し、その成果をもとに日本政策投資銀行に出資してもらいベンチャー企業の創光科学を作り、製品化を日機装が行い紫外線LEDの生産が始まっております。浄水場のない東南アジアやアフリカでは、紫外線LEDは家庭ごとの浄水システムやトイレの殺菌に使われます。また、樹脂の硬化や大型プリンター、貨幣の判別、乾癬や白斑などの治療に使われるようになっております。

■ GaNでエネルギー問題と環境問題の解決を目指す

さて、ここまでがこれまでの仕事で、これから現在取り組んでいる課題を少し紹介させていただきます。先ほどLEDの省エネ効果を紹介させていただきましたが、照明に使われる電力の割合は14%程度であり、動力や空調、冷蔵庫などのモーターにはさらに多く使われております。このモーターの運転に関して、日本はインバータが普及しているため世界で最も優れています。ただ、このインバータに関しても交流から直流、直流から交流への変換で損失が平均5%くらいあり、さらに省エネが必要です。例えばソーラーパネルで82W発電してパソコンを動かす場合、まずパワーコンディショナーで5.5%、スイッチング電源で7%、パソコン内の二つのDCコンバータで5%と12%の損失があり、実際に使えるのは60Wで1/4が電力損失となっています。この損失を0にしようとして取り組んでおります。

材料はやはりGaNに注目しております。現在使われているSiに比べて10倍性能が高いためサイズを1/10にしても同じ性能で損失も1/10になります。SiのトランジスタをGaNに変えると日本全体で10%近い省電力化が可能になるため、名古屋大学を起点に研究者の力を結集するトランスフォーマティブエレクトロニクスの研究施設を来年3月に立ち上げ、エネルギー問題と環境問題をオールジャパンで解決しようとしております。太陽電池は光エネルギーを電気エネルギーや運動エネルギーへ、パワーコンディショナーは直流から交流、交流から直流へ、LEDは電気エネルギーから光エネルギーへの変換であり、エレクトロニクスの本質はさまざまなエネルギーの変換にあると思います。また、この技術をベースにワイヤレスの電力伝送ができないかと考えております。特に注目しておりますのがドローンです。ドローンの飛行時間は20〜40分くらいであり、24時間飛ばすためには充電基地が必要です。その基礎となる技術をオールジャパンで何とか実現させようと考えております。

最後に若手の先生方にぜひお伝えしたい言葉が三つあります。「挑戦」、「自立」、「貢献」です。自分の人生を振り返ると、わからないことへの挑戦や、学会の偉い先生への挑戦などさまざまな挑戦がありました。ある程度歳を重ねるとそればかりではなく、自分の研究分野での自立を考えるようになりました。さらに、歳を重ねて人々に貢献してこそその研究者だということを実感しております。この三つの言葉を覚えておいていただければと思います。

最後になりますが、5名の先生方には本当に期待しております。ぜひこれからますます研究を発展させていただければと思います。

ご清聴どうもありがとうございました。

京の銘菓・老舗 11

極上の素材の風味を手間暇かけて際立たせる頑固職人の妥協のないこだわり。代々手づくりの昔懐かしい風味で、毎日数時間で売り切れる「今西軒」の名物おはぎ。4代目店主・今西正蔵氏にお話をお聞きしました。



烏丸五条の交差点の西一筋目を少し下があると、歴史を刻んだ風情ある「名物おはぎ」の看板が見えてきます。京町家の店先にあるショーケースに並ぶのは「きなこ」、「つぶあん」、「こしあん」の3種類のみ。連日、開店から数時間後には売り切れ御免の状態です。手づくりのおはぎ一筋の名店「今西軒」が創業したのは、明治30（1897）年。2代目が全国各地の評判のあんこを徹底的に探究し、今日に続く極上の美味を創り出しました。3代目が創業100年を目前にした平成7（1995）年に店を閉めたのですが、呉服店に務めていた当代・今西正蔵氏が平成14（2002）年に復活させ、美味を魅せました。「祖父に教えを乞うたのですが、『背中を見て学べ』と突き放され、試行錯誤を繰り返しました。ふり返れば、その必死さが今に役立っているように思います」。

人気の秘密は代々受け継いできたおはぎへの妥協のないこだわり。あんこは北海道十勝産の小豆、もち米は近江産羽二重。これらを当代の目利きで厳選しています。じつ

くりと半日かけて炊き上げた小豆を何度も手作業で濾し、寝かせます。「つぶあん」は2日、「こしあん」は3日を要して仕上げます。毎日、手づくりできる分しか売らない。賞味期限は当日限り。このような頑ななまでの職人気質が再開店の初日から約600個のおはぎを1時間半で完売したという伝説を生み出し、ほんものを求める人々の心を魅了し続けているのです。

「きなこ」には黒ゴマが混じり、香ばしさが絶妙。その後、甘み控えめのこしあんが舌の上で溶けていきます。半つきのもち米もつきたてのような柔らかさです。「つぶあん」は力強く深みのある味わい。しっかりとした皮の食感も小豆本来の素朴な



風味を際立たせます。「こしあん」はあっさりとした上品な甘みが特徴です。すべてに感じるのは昔懐かしい風味。誰の心にも郷愁を呼び起こす京都の名物おはぎです。

名物おはぎ『今西軒』

京都市下京区五条通烏丸西入一筋目下ル
横諏訪町312

TEL 075-351-5825

営業時間 9:30～ 売り切れ迄

定休日 毎週火曜日／第1・第3・第5月曜日
(6～8月は毎週月火休)



昭和初期の今西軒



GaNエピタキシャル膜とALD薄膜の界面準位密度

【サムコ(株) 基盤技術研究所】

■はじめに

一般的にゲート絶縁膜に求められる特性としては、①極薄膜の膜厚制御が可能であること、②ピンホールフリーの膜でリーク電流が小さいこと、③高誘電率、高耐圧の絶縁膜であること、④界面準位・膜中電荷が少ないことの4つが挙げられる。ALD (Atomic layer deposition)は低温にて表面反応のみを利用するレイヤーバイレイヤーの成膜手法であり、上記の①～④の特性を満たす手法の一つである。ALDは原子層レベルの膜厚制御が可能で、ピンホールフリー成膜も実現できる^[1]。また、AlO_xやSiO₂、HfO₂等の高誘電率、高耐圧の絶縁膜を成膜することもできる。界面準位はキャリアをトラップすることでMOSFETの高周波特性に影響を及ぼすため、その低減が望まれる。界面準位密度には成膜前の表面状態が影響するが、熱アシストによる表面反応のみで成膜するALD法はプラズマダメージ等の影響は無く、他の成膜手法よりも界面準位密度を低くしやすいと言える。上述のように、ALD法はゲート絶縁膜の成膜に適した手法である。ここでは弊社のALD装置AL-1によりGaN上にAlO_x、SiO₂を成膜し、界面準位密度に関する評価結果を示す。

■GaNとAlO_x、SiO₂の界面準位の測定

今回実施したGaNエピタキシャル層とAL-1で成膜したAlO_x膜、SiO₂膜との界面準位密度に関する実験の詳細を示す。

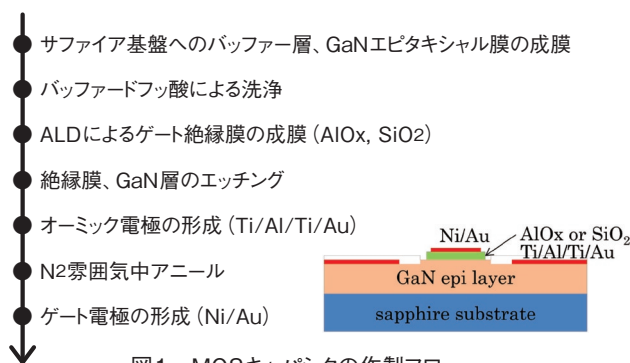


図1 MOSキャパシタの作製フロー

今回の実験ではMOSキャパシタを作製し、そのC-V測定の結果から界面準位密度を求めた。図1にMOSキャパシタの作製フローを示す。GaNエピタキシャル層はサファイア基板上にバッファ層を挟んでMOCVD法で成膜した。バッファードフッ酸で洗浄を行った後、AL-1にてAlO_x膜またはSiO₂膜を20 nm成膜した。成膜した絶縁膜とGaN層をドライエッチングした後、Ti/Al/Ti/Auを蒸着してオーミック電極を形成した。その後、N₂雰囲気中で850℃、30 secのRTA(Rapid Thermal Annealing)を2回行った。最後に、ゲート電極としてNi/Auを蒸着してMOSキャパシタを完成させた。

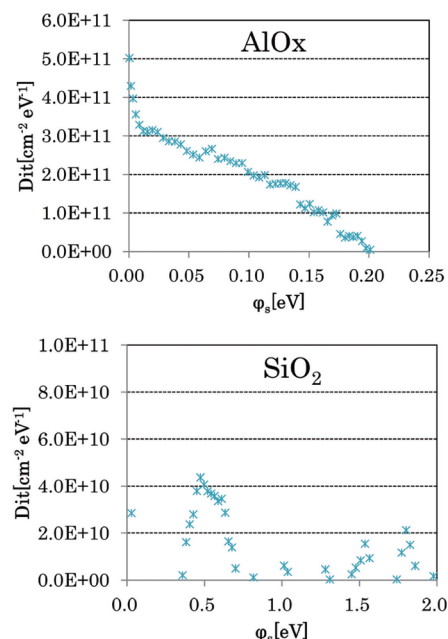


図2 Terman法で評価した界面準位密度

図2にMOSキャパシタのC-V測定データから求めた界面準位密度を示す。界面準位密度の評価にはTerman法を用いた。横軸が界面準位のエネルギーを縦軸が各エネルギーにおける界面準位密度を示している。AlO_x膜をゲート絶縁膜とした場合の界面準位密度が $6 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{eV}^{-1}$ 以下、SiO₂膜をゲート絶縁膜とした場合は $5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{eV}^{-1}$ 以下となった。一般的なSiデバイスのゲート絶縁膜の界面準位密度が $10^9 \sim 10^{10} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{eV}^{-1}$ であるため、今回得られた界面準位密度の値はデバイスに十分使用できるレベルであると言える。AlO_x膜を用いた場合の界面準位密度はSiO₂膜を用いた場合やSiデバイスよりも1桁程度悪い結果となっているが、これはAlO_x膜がSiO₂膜よりも低温で成膜されていることやバッファードフッ酸洗浄によるダメージ等が影響していると考えられる。洗浄条件やアニール条件を変えることで更に界面準位密度を低くすることが可能であると考えられる。

■謝辞

今回の実験にご協力いただいた山口大学教授只友氏と井本研究員、幸研究員に感謝の意を表します。

■参考文献

- [1] Johnson, R. W., Hultqvist, A. & Bent, S. F. A brief review of atomic layer deposition: From fundamentals to applications. Mater. Today 17, 236–246 (2014).