ミリ波帯ダイヤモンドSAWフィルタの研究～沖縄シリコンパラダイスを目指して～「ドローンを用いたITS融合ネットワークの構築」

沖縄工業高等専門学校

情報通信システム工学科　本科５年前蔵（まえくら）　遼（りょう）、４年仲栄真（なかえま）　一成（いっせい）、仲松（なかまつ）　崇斗（たかと）、原田（はらだ）　繭（まゆ）
本科３年島袋（しまぶくろ）　隆也（たかや）、奥浜（おくはま）　舜（しゅん）　教授　藤井（ふじい）　知（さとし）

１．はじめに

沖縄県にはどのような印象をお持ちでしょうか？観光で訪れた方は美しいビーチや空など自然環境に囲まれた場所として思い出されるでしょうか？昨今のメディアに取り上げられている米軍基地問題でしょうか？

交通手段が限られることによる人や物の移動が制限されることや、東アジアの不安定要因から一方向にメディアが誘導するような報道から、あまり、正確に伝わっていないように感じます。しかし、沖縄県では社会や経済構造において様々な問題が内包しており、その状況には容易に想像がつくのではないでしょうか？沖縄県は、本土復帰から約30年も経過するもの、未だ、県民所得は全国最下位です。しかし、他のメディアの調査では幸福度は全国一とも言われております。製造業は雇用吸収力が高く、一人当たり県民所得と製造業比率には強い相関があることが知られております。しかし、現在、沖縄県における第2次産業の比率は約14%、全国平均より10%低く、さらに建設業を除いた製造業でみると比率が4.2%となり、全国平均18.4%の4分の1以下となっています。[1] 県民所得の向上は、沖縄県においても他産業への波及効果が大きい製造業の育成と誘致が、沖縄県の産業振興の重要な課題であると位置づけられております。一方、高専を含む高等教育機関への強い地域連携の方針のもと、沖縄県の問題について解決の一助と思い、日々、教育・研究に取り組んでおります。ドローンの研究については、昨年度、紹介させて頂いたので、今回、ダイヤモンドSAWについて紹介させて頂きたいと思います。

２．ミリ波帯ダイヤモンドSAWフィルタの研究～沖縄シリコンパラダイスを目指して～

２－１　はじめに

来るべくユビキタス社会、IoT(Internet of Things)では、いつでもどこでもあらゆる情報が集められる手法としてあらゆる産業分野にて適用され、それぞれの製造やサービス現場での高度化が図られることが期待されております。そこで、必要とされているのは、多様なセンサー、その場解析、データ送受を担う半導体素子であることは間違いありません。引き続き、シリコン半導体ICを中心に、IoT市場が爆発的に広がると期待されるものの、それぞれの市場にあった、半導体素子の研究・生産について、1000万個／年以上の生産能力があるメガファブファウンドリー（12インチウェーハライン）では要求に応えきれないことが判明しつつあります。また、国内では市場規模が大きいにも関わらず、生産性や規模の追求をのみをおこなっていたシリコン半導体事業会社そのものが無くなりつつあり、危機的な状況です。

現在、日本のGDPの約4割程度がエレクトロニクス関連の産業であり、このエレクトロニクス産業の最先端の技術である半導体製造技術が日本から失われてしまうと、もはや、世界をリードすることは不可能となり、激烈な競争に埋没してしまう危機があると言われております。そこで、国立特定研究所・産業技術総合研究所の原史朗ミニマルファブグループ長らのグループは、ウェーハサイズを小型化したミニマルファブを生み出し、付加価値の高い半導体素子の生産が可能となり、まさに、本技術の実用化・商業化に向け活動が行われております。加えて、半導体事業とは無縁であった沖縄県で、新しい形で産業創出に向けた動きが始まっております。また、半導体メーカの多い九州では、産総研九州にてミニマルファブに関わる半導体実装に関わる技術開発が進められています。まさに、九州・沖縄地区における新しい半導体事業の革新と創生のタイミングであります。沖縄県には、谷（バレー）はないものの、美しい自然（パラダイス）があり、シリコンパラダイスとなる可能性があります。ミニマルファブは、電子部品デバイスのプラットフォームであることから、多様な教育・研究としても期待されております。そこで、本研究目的は、産総研と全面的に協力し、ミニマルファブを用いた、素子や回路設計・プロセス開発・システム構築に渡る教育・研究システムを、沖縄県、出来れば、高専機構内に構築することを目的としております。

２－２　これまでの社会活動実績

私は（一社）ミニマルファブ推進機構の委員であり、内閣府沖縄総合事務局と協力し、2016年8月、法人30社が加盟する沖縄未来半導体研究会を立上げ、１回 /2か月にて沖縄県にて、本研究会を開催しております。この研究会では、産総研・琉球大学・豊橋技科大とともに、沖縄での半導体事業創出に向けた情報交換を中心とした活動を行っています。（**図１**参照）また、沖縄高専では、ミニマルファブを用いたファンドリー事業を沖縄にてはじめようとしている（株）ネイタスと共同研究契約を締結し、豊橋技科大も加えた農業用センサーについて総務省の IoT センサーに申請するなど、ミニマルファブを中心に、フィジビリティスタディや外部資金獲得等について活動を行っています。また、ミニマルファブシステムの保守・販売等を手掛ける横河ソリューションサービス・物質材料機構・産業技術総合研究所と連携し、代表者が進めてきたダイヤモンド SAW デバイスについて、ミリ波帯用 SAW デバイスの研究開発について進めています。

図１　沖縄県における産学官連携体制

２－３　これまでの研究活動概要

これまでの先行研究では、単結晶ダイヤモンドと AlN 圧電体薄膜の組合せにより、5 GHz 帯（音速11000m/ s、波長2μm）で8,346と驚異的な Q を持つ超高性能 SAW 素子を実現した。[2]　この研究をさらに発展させ、ミリ波帯用 SAW デバイスを実現することが目標である。しかし、実用化向けた課題は次の２つである。①ミリ波帯実現に向けた SAW の高周波化、②実用化のためのプロセス技術の開発、①は、ダイヤモンド基板上に、^{12}C のみ100% 構成されたダイヤモンド薄膜により高音速化、②は、産総研原らが提案するミニマルファブプロセス [3] によるダイヤモンド SAW デバイスの試作　を課題解決の手段として、研究に取り組んでおり、これまでの途中経過について報告します。

２－４　ダイヤモンド SAW フィルタの高音速化

ダイヤモンド SAW フィルタは、$LiNbO_3$や $LiTaO_3$を用いた SAW フィルタと異なり、ダイヤモンド自体は圧電性を持たないため、**図２**に示す通り、圧電性薄膜を積層した構造となっています。ここで、さらに、高周波化には、①波長を小さくする（電極線幅を小さくする）、②基板の音速を大きくします。音速は（ヤング率 / 密度）$^{1/2}$に比例することから同位体の^{13}C を取り除き、密度を小さくすることで音速を大きく出来ると考えています。

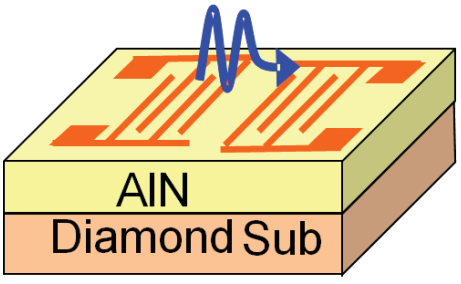
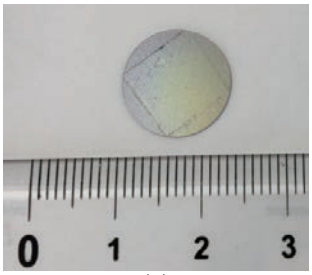


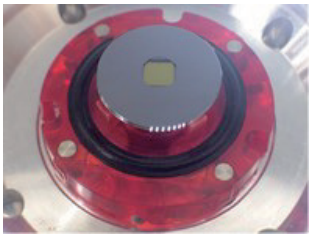
図２　ダイヤモンド SAW デバイスの構造図

２－５　ミニマルファブを使った SAW デバイスの試作

先行研究と同様、単結晶ダイヤモンドとして、高圧合成法で作製した Ib ダイヤモンドの大きさ3×3mm^2×0.3m m 厚みの小型基板と、プラズマ CVD により作製したハーフインチサイズのダイヤモンド基板（EDP 社製）を用いて実験を行いました（**図３(a)**）。小型基板の場合、**図３(b)** に示すシリコン基板を用いたミニマル用治具を作製しました。現在、ミニマルファブプロセスとして開発されたレジストコータ、露光機、現像装置を用いてプロセスを進めており、各プロセス条件の確認を行っているところであり、素子性能の確認を現在行っています。



(a)



(b)

図３　(a) ハーフインチサイズの単結晶ダイヤモンド基板、(b) ミニマルシャトルにおけるシリコン治具と Ib ダイヤモンド基板

２－６　これからの活動内容

産総研・横河ソリューションサービス・PMT などでミニマルファブのファンドリーが受けられることもあり、ミニマルファブをプラットフォームとし、それぞれの教員にて各分野の教育研究を進め、成果を生み出すことを考えております。

① IC 設計

アカデミック版無償の IC 設計ツールを整備・活用し、学生もしくは教員にて、1万以下のゲート数の小規模にて、設計を行い、1素子単位で、産総研・豊橋技科大・ネイタス等のファンドリーが出来る機関に試作を行い、その評価を実施します。

② MEMS デバイス設計・試作

シリコンディープエッチングが可能であることから、学生もしくは教員にて、RF － MEMS デバイス、例えば、ミリ波帯のアンテナ設計や光通信用光スイッチ設計を行い、産総研・豊橋技科大・ネイタス等のファンドリーが出来る機関にて試作を行い、その評価を実施します。

③ 新素材の SAW フィルタの設計・試作

物質材料機構と連携し、学生もしくは教員にて、同位体を制御したダイヤモンド薄膜を形成し、それを用いたミリ波帯の SAW デバイスの研究を引き続き行いたいと考えております。

おわりに

ご承知の通り、少子高齢化に伴い、教育現場は大変苦しい状況に置かれております。また、企業も昔とは異なり、即戦力型の人材を渇望していると伺っております。まさに、社会は欧米型へ転換、つまり、教育は教育機関で、会社では実務に取り組むという区分けが進むと思われ、企業も教育機関へ投資として取組んで頂けるようお願いします。我々、教員は、可能な限り知恵を絞り、質の高い教育研究が出来るよう奮闘しております。是非、セミコンジャパンにおける The 高専を、引き続き継続して頂き、何卒、高専の教育研究に対する、産業界の皆様のご支援・ご協力をお願いしたいと存じます。

謝辞

荏原製作所を含め、セミコンジャパン The 高専の関係者の皆様にこの場をお借りし、改めて、お礼申し上げます。

参考文献

1. 沖縄県、「おきなわのすがた（県勢概要）平成28年3月版」http://www.pref.okinawa.jp/site/kikaku/chosei/keikaku/h24-okinawanosugata.html
2. S. Fujii, et al, "One-port SAW Resonators Fabricated on Single-Crystal Diamond," IEEE International Microwave Symposium, TU1D-6-1～3, 2013
3. S. Hara, et al, "Development of Fundamental Manufacturing Process for Minimal Fab," International Conference IC Design and Technology, 2016