

エネルギー・環境新技術先導プログラム「トリリオンセンサ社会を支える高効率 MEMS 振動発電デバイスの研究」第2回研究会 議事録（案）

1. 日時：2015年5月20日午後1時～3時
2. 場所：静岡大学 電子工学研究所1階第二研修室
3. 出席者：年吉先生（東京大学）、橋口先生、杉山先生、青山様（静岡大学）、石川様、三屋様、芦澤様、石橋様（鷺宮製作所）、今本、小寺、松本（MMC）

4. 議事概略：

イオン液体とイオンエレクトレットの進捗を、PPT資料に従い、各々の主担当者より説明した。いずれも計画以上の進捗状況であり、MEHに装着したLEDの点灯も本研究会中に確認でき、メンバー各位の士気と結束力は高まっている。次回の6月の推進委員会に向けて着実に計画を推し進め、得られた結果をアピールする事にした。

5. 資料説明後のQ&Aと指示事項

三屋様：平行平板容量間にイオン液体を挟んだ時のモデル化を検討しています。そして、アルカリエレクトレットとイオン液体をどう融合させるかについても検討しています。実験的には100V程度帯電したエレクトレットの電極間にイオン液体を導入して、特性を評価するとかを考えている。

年吉先生：1nmの厚さの電気2重層の誘電率は、今のモデルでは考慮してるか？

三屋様：簡単化の為、比誘電率は1としている。ある文献で唐突に12という値が出ていたが、別途、実験による評価が必要と考えている。電気2重層の厚さも分からないので、厚さ/比誘電率 の尺度でまずは評価したい。

三屋様：イオン液体ゲルのUV硬化に関する、硬化時の電流特性について説明します。最初にUVと照射すると電流は増大するが、時間とともに電流は下がり、2回目以降のUV照射では、電流値は照射中に減少するという実験結果が得られています。

年吉先生：その挙動のモデルはどう考えていますか？

三屋様：最初のUV照射時に電流が増大するのは、膜中の光電効果と考えています。2回目以降は固体化が進みUV照射で可動電荷の量が減少する為、と考えています。そして安定値に収束していくと考えています。

三屋様：次にゲル作成後、放置による電流電圧特性の挙動を報告します。

今本様：放置の湿度と温度もキチンと把握して下さい。経験上、痛感しています。

橋口先生：イオン固定液体ゲルの作成直後の電流電圧特性より、24時間室温にての放置サンプルの方が電流は上昇するが、縦軸の電流に関してはリニアよりもlogで書いた方が、曲線の傾きから劣化の原因を探ることができる場合があるので検討願います。また、微小電流では、各々の測定のノイズを下げるためにshort→medium→longと積算回数を上げて測定精度を高められるので、その辺りも考慮して測定願います。

三屋様：了解しました。今後の測定に生かします。

三屋様：アニオンとカチオンの片方しか今は生かせていないが、手強い課題と考えており、別途、JSTなどを利用して探求する方が良いのでは、と藤田先生などからコメントを頂いております。私からの報告は以上です。

芦澤様：続いてアルカリエレクトレットデバイスの特性評価について報告します。こちらが、今回の実験に使用している櫛歯型Electretの構造です。中央に錘を取り付ける穴を形成しています。4か所をワイボンしています。櫛歯の対向間隔は4μmです。各々の櫛歯長さは80μmです。Si表面方位は(1, 1, 0)表面です。

橋口先生：ヒンジが壊れたサンプルは、劈開面での故障となっていますか？

芦澤様：そのような感触を持っております。

芦澤様：負荷抵抗を変えて測定した結果、1MΩの内部インピーダンスと評価しています。軽く叩いた感じで4μWのデータが得られ、更に加振を強くすることで、発電量の向上が得られた。0.1μFのコンデンサをつないで蓄積電荷量を見積もった結果、加振回数に比例した蓄積電荷量を得ている。電圧を、負荷抵抗を付けた状態で評価した所、瞬間的に150μWの発電量が確認できた。条件によるが目標は達成できたと考えている。

今本様：願わくば、0.1Gで100Hz以下の共振周波数に近づいた条件下で実現出来るかを探っていって下さい。

芦澤様：次回の推進委員会までには、定量的なデータとして、実験結果を報告したいと考えています。

橋口先生：今回のElectretサンプルをねじ山で連続加振して、LEDの点灯にまで漕ぎ着けたのは大きな成果と考えている。また連続加振を強めにして、瞬間的に150μWの数字をはじき出せたのも良い成果である。今回の実験に使用したコンデンサの種類は何か？

芦澤様：フィルムコンデンサです。漏れ電流の少ないコンデンサを選んでおります。次回までにはきちんとした加振機を作成し、測定結果の充実を図る。

今本：繰り返しますが、次回までに、より高精度な測定結果、効率を評価できるような

数値見積もりがほしい。

芦澤様：了解しました。

年吉先生：エレクトレット実装に関してですが、デバイスの挙動が目視や顕微鏡、或いはレーザードップラー測定器などで直接評価できるように、表面がガラスとなっているタイプのパッケージを望む。TOヘッドでは9mmの窓が一番大きい。藤田研にも転がっているかも知れない。

芦澤様：チップサイズが16mm×11mmと大きいですが、世の中にはそのレベルの透明パッケージも勿論存在するので、探してみます。

今本：2次試作の目標をどの様に考えているか？世の中の評価基準は、100Hz以下で0.1Gの状態、その状況で例えば150μW或いは50μW出せる実力を有する、といった評価基準が有る。今回のサンプルでは共振周波数が1kHz以上と、高めの感じがする。

芦澤様：今回のデバイスの共振周波数は1.7kHzで27Gの加振で150μWと今回の静大での評価で見積もられたが、きちんと分析して纏めます。低共振周波数化については、タングステン薄膜が錘となるように、振動部に貼りつけたい。その事で振動体の重量を増加させて、低共振周波数化を実現する。自重での撓みは大きな悪影響は出ないと予測している。その重り効果の結果、加振による振幅が増大し、デバイスの破損が懸念されるので、例えば実装時にストッパーを形成するなど、変位を規制して破損対策を図りたい。また、デバイス一個の発電量が定量的に評価できれば、多層化する事で層数倍の発電量が期待できるので、その様なモジュール案も探ってみよう。

橋口先生：タングステン(W)は固くて加工が大変だが、形が決まれば加工を請け負ってくれるメーカーは有る。

年吉先生：W貼り付けの他にもmassを増大できる方法が有る。例えば振動体と同様なサイズのシリコン片を切り出し、振動体に上手くはめ込めるように切欠き部をダイシングで形成して、振動体に組み合わせる。論文にも報告しているので、参考にしてください。これは使えます。接着はレジストで行っています。案外、実体顕微鏡下だと、細かい作業が可能になる。

芦澤様：了解しました。

今本：次回の推進委員会では、どのような発表になるのでしょうか？

芦澤様：今回の取得データをベースに、より定量的なデータにしてアピールしたい。

年吉先生：次回の6月15日の推進委員会までに、発電をアピールできる、デモサンプルの作成を是非ともお願いします。例えば、サイコロ中にMEHを内蔵させて、サイコロの目にLEDを形成して、転がる事によりMEHが発電し、容量などに蓄電した電力によりLEDが光る玩具などは如何か？また、効率/力率などが定量的に評価できれば、更に

アピールが高められるので、検討のほど宜しくお願いします。

今本：エレクトレット大家の鈴木先生も次回は参加して頂くので、鈴木先生を驚かせられれば良いなと思いますので、宜しくお願いします。

年吉先生：現在得られたデータに基づき、スケーリング則を応用して、条件変化に対応可能な事が言えるように準備願います。

芦澤様：検討してみます。

松本：イオン液体については、どのような報告となるのでしょうか？

三屋様：イオン液体サンプルに関しては、固定部をしっかりと保持しないと電流が得られない事が良くあるので、サンプル固定など本質的に重要なセッティングについては抜かりが無い様に、推進委員会に向けて準備を進める。

杉山先生：振動デバイスを設計して、マスクを作成し試作を行ったが、使用したSOIの支持層が薄すぎて、ICPの最中にデバイスが破損した。SOIウェハを発注中です。次も、振動体部に1g×2個程度の錘を付けて、150Hzの共振周波数を目指す予定です。ヒンジは300μm程度と厚い。

橋口先生：パッケージにがっちりデバイスと固定しないと、Q値が急激に低下するので、その点には十分注意したい。パッケージ自身もがっちり被測定体に固定したい。

年吉先生：簡易的な固定にはアロンアルファが便利です。失敗すればアセトンで洗い流せる。

年吉先生：発注中のSOIを使用したサンプルの、推進委員会での特性報告の可能性は？

杉山先生：SOIの納入が6月なので可能性は無い。

橋口先生：東大生研でSOIウェハの作成も可能なので、合わせて検討する。

年吉先生：KSTワールドなどにも打診すると良い。現物が有れば即納してもらえる。

芦澤様：150°C 2時間の処理で特性が低下する事が分かったので、パッシベーション膜を表面に追加形成するなど、何らかの対策は必要と考えている。信頼性を高める為に、お金をかけてでも実験検討を行いたい。外注などによる成膜を先ずは考えている。

橋口先生：多電極型振動発電素子のモデリングを行った。力率などについてはオムロン様など他の方の検討結果や発表結果と似たような表現を得たので、表式は確かと考えている。力係数を大きくするには、変化する容量の差が大きくなるように素子設計を行う事が重要である。コーナーなど非平面部の容量の詳細は考慮していないが、MEMS oneなどのシミュレータを使えば詳細に容量計算ができると考えている。

橋口先生：バンド図による、エレクトレットの深さ方向への状態を、ちゃんと計算して描いた。絶縁膜中の空間電荷分布が電位差を与える定量的な表現を得た。学生と共同で、実験も進めている。500 μm 高さの石英スペーサなども帯電実験では、同時に帯電しているのが分かった。

橋口先生：今の電荷分布では、内部電界強度は最大 5MV/cm にもなっていると推測している。半導体分野において、シリコン酸化膜の絶縁耐圧は 10MV/cm と評価されているので、その値に近づきつつある。(松本の経験でも、1 μm の厚さの SiO_2 膜の絶縁耐圧は 1000V 程度と評価した事があり、400V の最大帯電圧は、イメージ的には前出の内部電界強度と合います。) 10^{17}cm^{-3} の不純物分析が可能な、SIMS(2次イオン質量分析装置)によるイオン分布状況測定などで、より正確なカリウムイオン分布の裏付けを取りたい。そして帯電機構に確証が持てれば、APL などに論文投稿したい。

年吉先生：Kなどのイオンが絶縁膜表面より放出されるイメージは今も変わらない？

橋口先生：そうです。カリウムは意外と蒸気圧が高いという事実も有ります。Na などの陽極接合時に、アルカリイオンが表面に偏析して移動することも観察されているので、そんなに突飛な考えではないと思っている。このイメージを確たるものにする為にも分析が重要で、現在のレベルのイオン量を定量的に評価できる SIMS 分析装置を用いて、絶縁膜中の元素分析を行いたい。SIMS そのものは静岡大にも有り、同席してもらっている青山さんにオペレーションを覚えてもらい解析を進めたい。但し今の所、静岡大の SIMS 自体が、使える状態にはなっていない。

今本：帯電できるイオンは、他の元素も有りうるか？

橋口先生：有りうる。ナトリウムとかルビジウムとか。製法も含めて考えたい。

今回の議事録は以上です。