

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 1 回研究会 議事録（案）

1. 日時：2015 年 4 月 22 日午後 3 時～5 時
2. 場所：パシフィコ横浜 BM4 会議室
3. 出席者：藤田先生、年吉先生（東京大学）、杉山先生（静岡大学）、
石川様、三屋様、芦澤様、石橋様（鷺宮製作所）、
今本、松本（MMC）

4. 議事次第：

- ・表題、メンバーのリスト、連絡先
- ・これまでの取り組み内容の紹介
- ・5 月、8 月にできそうなデモ内容
- ・そのための具体的な取り組み項目
- ・特許出願、学会発表の予定
- ・予算執行の状況、計画
- ・その他

5. 結論：

各自、デバイスの評価結果や状況を、できるところは実演も交えて説明した。合わせて特許出願や学会発表の意向もだされた。全体としては、進捗状況は予定通りと考える。

6. 詳細内容

年吉先生：早いところで我々のデバイスの良い特性を世間に知らしめたい。5 月末に、今ある組み合わせで $50\mu\text{W}$ 、8 月末には真空パッケージなどを使って、面積的に大きくとも良いので $150\mu\text{W}$ を狙いたい。各チームそれぞれががんばって頂きたい。8 月後は、目標特性を実現したら後は粛々と進める。

今本：0.1G で最大 $100\mu\text{W}$ を実現したい。まずは体積比で勝てばよい。

後で資料を頂けますか？ メンバーの中で共有したい。→全員、了解された。

三屋様：今回の資料を提出する。メンバー限りのサイトにアップする事に同意。

杉山先生：設計は私（杉山先生）が担当している。 $150\mu\text{W}$ を狙った設計パターンを説明する。今、マスクを発注中。発電理論式を元に設計。振動部を重くする為に錘を搭載する事も想定している。共振周波数が 150Hz で、 Q 値は 942。 $411\mu\text{m}$ のエレクトレット長。

年吉先生：チップが $21.5 \times 12 \text{mm}^2$ の割に発電部が小さい理由は？

杉山先生：本当は中にも電極を付けたいが、今回は最初の試みという事で安全を考慮して本構成とした。

今本：共振周波数の設定は何を根拠にしているのか？ 他の素子との比較は同じ共振周波数の方がしやすい。

杉山先生：実際に 100Hz でも設計したが、振幅が大きくなりすぎる懸念より 150Hz とした。シミュレーションにより設定している。錘にはタングステンの円柱を取り付ける事を考えている。それで 1 グラム化を実現したい。表裏にエポキシで貼り合わすと 2 グラムとなる。ウェハは $305 \mu\text{m}$ 厚さの SOI を使用して試作する。

年吉先生：櫛歯の凸凹の Duty 比はどれくらいに設計しているか？

杉山先生：1 : 1 と 1 : 2 の、2 種類のパターンを搭載している。

年吉先生：Sticking しちゃっておしまい、という事にはならない？

杉山先生：ギャップが $10 \mu\text{m}$ あり、1 G で 0.数 μm の変位であり安定していると想定している。スティッキング現象には強い構成と考えている。

藤田先生：回転に対する考慮は払われている？通常、櫛歯の構造においては、回転で接触するケースが多く、モード解析を行って接触しないか確認する必要がある。面内回転モードは結構いやらしい。上手く設計しないと、回転モードでデバイスがやられてしまう。Ansys などを使って、物を作る事前に検討できます。

杉山先生：了解しました。確認します。

杉山先生：真空を前提に設計しているので、大気圧中では、真空中よりも加振しないと特性を満足しないと思われる。

藤田先生：電力が山なりに増加している理由は？

杉山先生：相対速度が増加しているため、電力が増加する。

藤田先生：了解。

杉山先生：今までのS i m.を元に、1 5 0 H z と 3 0 0 H z のデバイスをパターン設計して、4 枚マスク構成で発注中です。

年吉先生：パターンが斜め 45 度になっている理由は？

杉山先生：ヤング率が最大1 3 0 G P a となるようにそうした。マスク屋には、データ数が増加となるが、快諾頂いた。

杉山先生：エレクトレットの予備実験を次に説明します。 スペーサは石英の板。
今のところ実験結果では、500 μ mギャップで、2 0 0 VのBT 処理後、-170Vの着電位と良好な結果が出ている。陰極側の電位はほぼ0 Vとなっている。

松本：電荷量・密度（個/c m²）はいくら程か？

杉山先生：まだ調べていないが、計算すれば出る。

（ざっとですが、 $Q = C V$ より、1.9E11 個/c m²と出ました。（松本））

年吉先生：カリウムイオンが飛んでいく、という所が一番突っ込まれそうな気がするが。
BT 処理中に、Kが揮発して出てくることはあり得るのか？

杉山先生：陽極接合では表面にアルカリイオンが浮いてくる現象はある。表面のカリウムがどこに行っているかは、今後、X P S等を使って調べてみます。

今本：深さ方向の電荷分布はどこまで測定できるか？ SIMS などで分かると思うが。

杉山先生：深さ方向分析も可能である。1 0¹⁷ c m⁻³程度あればS I M Sは測定可能。

年吉先生：次回までには、本エレクトレットのバンド図を書いてきてほしい。また電荷は電子の様なイメージで描いてほしい。

杉山先生：はい。5 月の静岡大学でのデモ時に出します。8 月のデモでは真空パッケージを実現したい。特許出願の予定はないが、学会発表としては、センサシンポやMEMS 2 0 1 6を狙いたい。予算執行は、酸化炉やS O I 基板などを進める。

年吉先生：使っている周波数は高々1 K H z 程度なので、外に取り出す電流などに関して

は、分布定数っぽく考える必要は無いですよね？分布定数とは、パッドの近傍と遠い部分の電流が位相がずれて打ち消し合ってしまう、という風なイメージです。

藤田先生：低周波動作なので、CR時定数的にも無いと思うが・・・。

杉山先生：分かりました。検討してみます。

藤田先生：支持層基板を錘のみに使う構成も検討してみると良い。それにさらにWの錘。

年吉先生：SOI を表と裏から工夫してエッチングすると、上下方向へのストッパーが形成できる（白板に断面図を描きながら説明）。上手いことをするとジャンパー線も入れられる。電気的な自由度が随分増大する。

藤田先生：プロセスフローチャートを見ると理解が深まる。

年吉先生：SOI でも上下のSiの導通をとることが、ステイクションを利用することで可能となる。その場合、Siの抵抗率から算出される抵抗値が得られている。更なる低抵抗化は金属膜の真空蒸着で実現できる。（藤田先生も絶賛されていた。）SEMのEBICモードなどでもきちんとした画像が得られている。薄い自然酸化膜が存在する場合もある。

藤田先生：1 ウェハから何チップ取れそうか？ 各4個は作りたい。

杉山先生：4 インチウェハを4分割して作る。評価装置はボイスコイル型で加振し、150 Hz～300 Hzの周波数で加振する。元は藤田先生の装置を見て設計した。5月のデモで評価装置もお見せしたい。

藤田先生：それをベルジャーなどの真空装置に入れて加振できないか？

年吉先生：装置を汚すので、入れさせてはくれないだろう。

三屋様：次に、私と芦澤より、2件の発表を行います。

芦澤様：イオン液体ハーベスターの話をしてします。東大の安宅先生・佐藤先生の所で、イオン液体を研究進めています。安宅先生に見てもらっているイオン液体には、多様な種類がありますが、その中でもゲル化できる液体を今回は見つけ出し、ゲルを作成しました。10 μ W程度の発電量を得ている。これを重合性イオン液体と呼んでいます、モノマーを重合材を使うことで、ゾルゲル反応を実現しています。

年吉先生：ゲルの Young 率はどの程度か？

芦澤様：正確には見積もっていませんが、大体 5 [MPa]程度。

芦澤様：今回のサンプルは、 $160\mu\text{m}$ の厚さのゲルを、表面に ITO 電極をコートしたガラス板で挟んでいますが、ゲル中をイオンが自由に移動できるので、電流を流すことが可能です。液体と桁も変わらない。下山研究室では変わっていたと聞いているが。 回覧したサンプルはガラス表面の ITO 電極との間で電気二重層が形成されており、無バイアスで発電が可能な構成となっています。このデバイスに整流回路と高容量を接続して、蓄電されていく様子を今回はお見せできると思っていたのですが、最も優れた特性を示していたサンプルは壊れてしまい、今回はお見せできませんでした。ポリマーを上手く UV でキュアする事で帯電が持続できる特性が発生する。いまのところカチオン側は上手くいっているが、アニオン側は難易度が高く、今のところは片側だけ帯電で動作させている。今の所、作った直後が一番良い特性を示す。 もう少しで LED を光らせられるレベルになる。ゲルの厚さは $100\mu\text{m}$ 程度。

年吉先生：健康サンダルの表面の様に凸凹な形状ができれば、電荷量増大につながる。

藤田先生：チューブに多重に巻きつけて、できたのちに開くと良いと思いますが。いくらでもつぶす事は可能である。マカロニサンドイッチ作戦。

芦澤様：以上がイオン流体に関する話で、ここからはエレクトレットに関する報告を行います。

三屋様：接点が壊れたサンプルであるが、櫛歯エレクトレットで約 1.5V の電位差が得られた。

藤田先生：どれくらいのエレクトレットができているのか？

三屋様：たぶん 100 V は実現できていると思われる。

三屋様：これがお見せできるサンプルである。 約 $0.2\mu\text{W}$ の発電量。ワイヤボンディングして叩いて評価した。Z 方向に叩いて発電している。 $11\text{mm}\times 6\text{mm}$ のチップ寸法で BT 処理はヒーターを使用して行っている。SOI ウェハの厚さは、20/1/625 (各 μm)。錘を乗せる穴も作成している。マスは 622 ミリグラム、支持層を錘に使用している。横方向に

は動かない構成としている。ギャップは $1.5\mu\text{m}$ と $2\mu\text{m}$ を用意中である。 真空封止は 5 月には間に合わないかもしれない。

藤田先生：めっきで太らせて重くすることは考えていないか？

芦澤様：今のところ考えていない。

芦澤様：垂直方向の共振周波数は 465Hz 。帯電でさらに高くなると思う。

年吉先生：空乏層の厚さは影響しないか？ 150V もかけると影響がでるかもしれない。

藤田先生：橋口先生に確認しておいてください。

三屋様：考慮していませんので、確認いたします。

芦澤様：ピーク値で $400\mu\text{W}$ 程度。平均して $20\mu\text{W}$ の発電量：見かけの出力となっている。

年吉先生：蓄電方式を何にするかは重要である。将来的にはレギュレータなどを挟む必要が有るかも知れない。 スーパーキャパでは電圧の制御が必要だろうし、電池方式とともに検討していきましょう。情報も仕入れましょう。 一瞬、錘を付けるアイデアをお見せします。ソケットはめ込みの結合。

芦澤様：この結果をセンサシンポや 6 月締め切りの Power MEMS (ボストン) や、MEMS2016 で発表したい。また特許は年間で 1 ～ 2 件のペースで出願していきたい。マスクは発注したい。予算はまだ執行していないが、22,836,232 円程度と算出しており、DRIE と共に、小寺さんに打診している。5 月にはなにがしかのデモに漕ぎ着けられるように頑張ります。

芦澤様：5mm の高さから落とすと壊れてしまう。

年吉先生：SOI で工夫すると、耐衝撃性があげられるかもしれない。技はいっぱい持っています！

今本：エプソンの資料なども HP に入れておきます。年吉先生の収集資料 (エプソンー S a n t e c)。

年吉先生：後はやるだけですので、頑張ってください。次回は5月20日、午前中は静岡大の実験施設を見学。午後にミーティングの予定。

藤田先生：できるだけ進めて、5/20には資料として出せるよう、実験を進めてください。

年吉先生：D-RIEは、当初の目論見通りに進めている。生産研究所の工事費・ユーティリティも予算に上げたい。銀行は三菱UFJを予定。

今本：マスク代も計上してください。静岡大のマスクも着々とお進め下さい。

芦澤様：了解しました。

年吉先生：東大再委託の方はどうか？進んでいる？

今本：順調です。

今本：5月あけ、従事日誌など、必要書類の提出を宜しくお願いします。予算に大体合うように時間を上げてください。あと残業や休出はできませんのでご注意を！

今本：以上で終わります。

議事録は以上。