

研究トピックス



会員アンケートからみる半導体マイクロ波発振器への期待・アンケート回答結果の報告

Survey report: Member's vision of "solid-state microwave device"

産業技術総合研究所 西岡 将輝

〒983-8551 宮城県仙台市宮城野区苦竹 4-2-1,

e-mail: m-nishioka@aist.go.jp

1. はじめに

2017年11月に名古屋で開催のJEMEA 11th シンポジウムにおいて、半導体発振器関連パネルディスカッション「会員アンケートから見る半導体デバイスの将来」を行った。この結果についてまとめた結果を、筆者の視点から紹介する。

2. アンケートの内容

本アンケートは2017年11月10日に開催した、JEMEA シンポジウム企画 半導体発振器パネルディスカッション「会員アンケートから見る半導体デバイスの将来」の運営のために、2017年10月17日から、2017年11月7日までJEMEA ホームページでWeb形式にて行ったものである。本アンケートへの協力は、JEMEA 事務局よりホームページによる広報、学会員および、これまでのシンポジウム・セミナー・研修会参加の際にアドレス登録された方々に、メールにて依頼した。

アンケートの設問は主に、半導体マイクロ波デバイス・発振器・発生器の将来展望に関する、関係者の意識を知ることがを目的とした。内容は、「回答者属性」、「半導体マイクロ波発振器全般」、「マイクロ波の応用について(半導体マイクロ波発振器を含む全般)」、「事務局運営」に関する項目にを設定した。本報告では「事務局運営」に関して、全38の設問を設定した。

3. アンケート回答結果

3-1. 回答状況・回答者属性

アンケートは JEMEA 会員および、セミナー参加で

メール登録歴のある非会員にメールにて案内を出し、JEMEA ホームページでWeb 回答する形式で実施した。回答状況および回答者の属性は表1に示すとおり、全体で40件のうち33件が会員からであった(設問1)。産業界からの回答が58%と産業界からの関心が高い(設問2)。また、マイクロ波装置の利用者側・設計者側がほぼ同じ比率であり、双方とも関心が高いことがわかる(設問3)。発振器そのものの開発者も22%となっており、今回のアンケートはニーズの動向に関心が高いことがうかがわれる。経験年数を問う設問では、10年以上が61%となっており、若手研究者・開発者の関心が薄いように感じられる結果となっている(設問4)。また、54%がすでに半導体マイクロ波源を利用しており、多くの研究開発従事者が半導体マイクロ波源を利用している(設問5)。高効率のマイクロ波源として期待されているGaNについても30%が使用実績ありとしており、新しい技術を積極的に取り入れる姿勢が読み取れる。

表1 回答者の属性に関する回答結果

設問	質問	件数	比率
設問1	JEMEA会員ですか?		
	1 会員	31	78%
	2 学生会員	2	5%
	3 非会員	7	18%
		40	
設問2	産学官どのポジションですか?		
	1 産	23	58%
	2 学	12	30%
	3 官・その他	5	13%
		40	
設問3	マイクロ波にはどのようにかわられていますか?		
	1 利用者	21	41%
	2 マイクロ波装置設計・製造側	15	29%
	3 発振器開発・製造	11	22%
	4 その他	4	8%
		51	

(次ページにつづく)

表1 つづき

設問4	この分野に携わって何年ですか？	件数	比率
回答 (複数)	1 これから	1	3%
	2 1年未満	1	3%
	3 1から3年	0	0%
	4 3～5年	3	8%
	5 5～10年	9	25%
	6 10年以上	22	61%
		36	
設問5	半導体マイクロ波源を既にお使いですか？	件数	比率
回答	1 半導体発振器 (LDMOS等)	11	24%
	2 半導体発振器 (GaN)	14	30%
	3 使っていない/その他	21	46%
		46	
設問6	半導体マイクロ波発振器以外のマイクロ波源はお使いですか？	件数	比率
回答	1 マグネトロン	25	57%
	2 その他電子管	4	9%
	3 使っていない/その他	15	34%
		44	

3.2. 半導体マイクロ波発振器全般について

続いて、半導体マイクロ波装置の実用化がどのように進むかの問いについて、加熱乾燥(25%)、化学反応(21%)、材料プロセッシング(16%)の回答が多く、プラズマ(11%)、医療(9%)、エネルギー伝送(6%)と続いた(設問7)。化学反応、材料プロセッシングへの期待が大きいのは、当学会が主要な研究対象としているためと考えられる。学会での発表件数は多くないものの、加熱乾燥、医療についても期待されていることがうかがえる。処理量についてはラボスケール(43%)、ベンチスケール(50%)と小規模に留まると想定されている。

表2 半導体マイクロ波発生器に関する回答結果

設問7	(半導体マイクロ波発振器は)どの分野で(普及すると)思われていますか？	件数	比率
回答 (複数)	1 加熱・乾燥	24	25%
	2 自動車	3	3%
	3 調理	3	3%
	4 化学反応	20	21%
	5 材料プロセッシング	15	16%
	6 プラズマ	11	11%
	7 医療	9	9%
	8 エネルギー伝送	6	6%
	9 その他	5	5%
その他の回答	植物、通信機器、通信、レーダ、洗浄、マイクロ波計測、マイクロ波計測		
		96	
設問8	処理量(予定も含む)はどのくらいでしょうか？	件数	比率
回答 (複数)	1 ラボスケール	13	43%
	2 ベンチスケール	15	50%
	3 日産0.1t	1	3%
	4 日産1t	1	3%
		30	

半導体マイクロ波発振器が組み込まれた装置の購入希望に関する自由回答結果を表3(設問9)に示す。おおよそ100万円以上が多いように感じる。回答者がマイクロ波装置設計・製造装置(設問3)従事者が多いこと、現状の半導体マイクロ波発振器(100Wクラス)

表3 半導体マイクロ波発振器採用に関する回答

設問9	導入に際して装置の希望金額はいくらでしょうか？(万円)
回答	30万円、100万円～300万円、1MW、1億円、30万円、300万円/2kWクラス、1.5kW出力の発振器が20万円程度だったらよいです、10万円以内/200W以上 くらいになれば検討をしてみたいと思いますが。マイクロ波発生装置 10万円/KW、100万円以下、300万円以内、システム全体で50万円程度になるとうれしいです、100万円以下、10万円、ラボ用の実験装置として¥500万未満で提供したい、300万円程度、300万円程度

設問10	採用に何を重視していますか？	件数	比率
回答 (複数)	1 出力	14	21%
	2 コスト	21	31%
	3 制御性	18	26%
	4 寿命	8	12%
	5 サイズ/重さ	6	9%
	6 その他	1	1%
		68	

設問11	採用に関して、コメントがあれば
回答	ピンポイント(1～2cmの制度)で当てたい部分を選択できるのが良い 制御性の内容を具体的に発信して欲しい 1: 半導体は均一スペクトル。マグネトロンは周波数や出力が揺れ動くことにより加熱が均一に成る魅力を有している。 半導体を用いてマルチモードアプリケーションをマグネトロン並みに均一加熱するコントローラの実現を望む 2: マグネトロンは反射波に強い。 マグネトロン並みの耐VSMR性がほしい

が30万円～100万円であることから、現状を判断材料としてこのような価格帯の回答が多かったと推察している。今後、半導体マイクロ波発振器の価格が下がることで、アンケート結果も大きく変わると思われる。半導体マイクロ波源を採用する際に重視する点としては、コスト(31%)、制御性(26%)、出力(21%)と、コストを主要因と挙げられていることから(設問10)、現状のマイクロ波装置の低価格化への期待が大きいと考えられる。制御性をポイントとしている回答も多く、制御性(周波数制御、応答速度、パルス化)に関する差別化と、低コスト化は2極化することが示唆される。一方、出力が3番目とされており、現状の出力で対応できるアプリケーションを探していることもうかがえる。採用についての自由記載コメントでは、仕様書などで見える電氣的な制御性ではなく、照射エリアや均一加熱性、耐久性など、より実用的な項目にした際の性能が明確になることが期待されていると読み取ることができる。

表4(設問12)に使用状況や関心を質問したところ、「実績あり」が57%と多くの人が利用し始めており、すでに研究・開発環境では普及が進んでいると判断で

きる。類似の質問としてデモ品の希望に関しても、使用を希望(66%)としており（設問 19）同様の傾向がうかがえる。

一方、デモ品の希望をしない（34%）と、高いことも特徴であり、その理由として、発振器のみのデモでは評価が難しい、競合他社となり得るため回答を控えているのではないかと、など考察される。

表 4 半導体マイクロ波発振器の使用状況について

設問12	使用状況／関心について	件数	比率
回答 (複数)	1 使用実績あり	21	57%
	2 使用実績はないが関心はある	12	32%
	3 様子見	3	8%
	4 その他	1	3%
37			

設問19	もしデモ品があれば使いたいですか	件数	比率
回答 (複数)	1 使いたい	19	66%
	2 どちらでもいい	10	34%
29			

3.3. 現状の半導体マイクロ波発生器に対する評価

表 5 に、半導体マイクロ波発生器に関する評価や改良への要望の回答を記す。魅力的な点として周波数可変(21%)があげられる点の特徴であるが(設問 13)、その他の項目は、10-16%であり、回答者それぞれの評価が分散している。応用用途ごとに、異なる特性が必要であることが示唆される。

一方、改善点として価格(76%)が突出している（設問 14）。表 3（設問 10）の採用に重視する点でもコストが重要視されていたが、将来的にはさらなる低価格化を期待していることがわかる。シンポジウムの質問などで出力・効率が話題に上るものの、改良を希望するほど優先度が低いようである。

効率、出力の改善希望が少なかったが、希望する効率、出力の回答結果を表 6 に示す。この結果からも、効率は現状のまま（41%）と、効率向上を重視していない様子うかがえる（設問 15）。希望出力については 200-300W(23%),100W 以下(19%)、1kW 以上(19%)と大きく分かれている。200-300W は現状市販レベルで到達できているため、これ以上の効率向上を大きく求めていないように受け取れる。一方、100W 以下の

希望の大きい理由として、高周波利用設備としての届け出が不要な 50W 以下の実用化を目指した研究・開発

表 5 改良・改善の希望点など

設問13	魅力的な点	件数	比率
回答 (複数)	1 効率	11	10%
	2 サイズ	11	10%
	3 周波数可変	24	21%
	4 スペクトル幅	18	16%
	5 応答スピード	15	13%
	6 寿命	17	15%
	7 マイクロ波ON/OFF	14	13%
	8 その他	2	2%
位相や周波数制御による電界場制御周波数スペクトラムの帯域が狭いこと 電圧が低い、電力可変高圧電圧対策不要 振動に強い カッコいい(目新しい) 装置の組み立て分解の自由度が大きい。			

設問14	改良を希望する点	件数	比率
回答 (複数)	1 出力	2	6%
	2 価格	26	76%
	3 効率	3	9%
	4 その他	3	9%
112 反射に対する防御 個別にアイソレータではなく、電子的制御が望ましい 同調長寿命化できるのでしょうか 標準化 出力、価格、効率全て。 また高出力化の場合はサイズも。			

設問20	その他改善を希望する点
回答	スプリアス制御 半導体の故障モードの公開とその対応策 反射波(あるいはVSWR)に対する耐久性。

グループが多いためと考えられる。同様に 1kW 以上が大きい理由として、大規模生産設備への実用化を期待しているグループがいるためと示唆される。

表 6 効率、最大出力への関心

設問15	何%の効率であれば購入を検討しますか？	件数	比率
回答	1 現状(60%以上)	12	41%
	2 60-70%	4	14%
	3 70-75%	6	21%
	4 75-80%	5	17%
	5 80%以上	2	7%
29			

設問16	何Wの出力が必要ですか？	件数	比率
回答 (複数)	1 100W以下	10	19%
	2 100-200W	7	13%
	3 200-300W	12	23%
	4 300-500W	6	12%
	5 500-1000W	7	13%
	6 1000W以上	10	19%

表 7 実装に関わる仕様に関する要望

設問17	ご使用に対して利用不可能な冷却方法はありますか？	件数	比率
回答 (複数)	1 自然空冷	1	3%
	2 強制空冷	3	9%
	3 水冷	8	24%
	4 特になし	14	41%
	5 分からない	8	24%
			34

設問18	ご使用に対して利用不可能な出力コネクタはありますか？	件数	比率
回答 (複数)	1 SMAコネクタ	2	5%
	2 Nコネクタ	8	19%
	3 DINコネクタ	6	14%
	4 導波管	6	14%
	5 その他	0	0%
	6 特になし	9	21%
	7 分からない	11	26%
		42	

表 7 には半導体マイクロ波発生装置の基本性能ではなく、装置として実装する際に必要となる冷却方式やコネクタについての回答結果を示した。冷却方式については、「特になし」と「分からない」が併せて 65%であり、一部に水冷を希望(24%)する以外は、大きな関心事項でないことが読み取れる。また、コネクタについても同様に、「特になし」と「分からない」が併せて 47%と大部分を占めている。

3.4. 普及に関する回答

半導体マイクロ波装置の普及については、表 8 に示すよう、加熱・乾燥(25%)、化学反応(21%)、材料プロセッシング(16%)となっている。これは、現状についての回答結果(表 2 (設問 7))と同じである。設問 7 の意図が現状と認識されていない恐れはあるが、おおよそ現状の開発分野がそのまま半導体マイクロ波装置の普及を牽引していくと予想する、設計・開発者が多いと考えられる。

また、設問 24 では普及促進に必要な処理量はベンチスケール(50%)、ラボスケール(43%)であり、こちらも設問 8 の現状と同様の回答と判断できる。ただし、設問 7、8 についての質問が普及に必要な条件と解釈した回答も多いと推定される。

普及が始まる時期については、普及が始まっている(38%)、3 年以内(23%)となっている。既に半導体マイクロ波装置の技術は当該事業者、研究者には浸透しており、応用面での普及も始まりつつあると認識されていると考えられる。

表 8 普及に関する回答

設問23	どの分野が最初に普及すると思われますか？	件数	比率
回答 (複数)	1 加熱・乾燥	24	25%
	2 自動車	3	3%
	3 調理	3	3%
	4 化学反応	20	21%
	5 材料プロセッシング	15	16%
	6 プラズマ	11	11%
	7 医療	9	9%
	8 エネルギー伝送	6	6%
	9 その他	5	5%

生産物が高価で、所用出力が小さい分野普及マグネトロン価格になれば、電子レンジへの採用もあると思います。ほとんど、同時進行的に進むでしょう。産業スケールではなく、ラボスケールで先行が必要かと思う。産業用の加熱という分野で考えると、今のところ半導体発振器を使うイメージがわからない。

設問24	普及のための処理量	件数	比率
回答 (複数)	1 ラボスケール	13	43%
	2 ベンチスケール	15	50%
	3 日産0.1t	1	3%
	4 日産1t	1	3%
		30	

設問25	普及について	件数	比率
回答	1 普及が始まっている	10	38%
	2 3年以内	6	23%
	3 5年以内	0	0%
	4 10年以内	2	8%
	5 10年以上	0	0%
	6 わからない	8	31%
		26	

表 9(設問 26)を見ると、普及に必要な効率としては、70-75%(24%)、現状(21%)、わからない(18%)と回答されている。これに関心項目(表 6 (設問 15))と比較すると、普及には設計者・開発者が想定するよりは、高い効率が必要と考えていることが見える。特に、70%-80%以上を合計すると 48%の回答者が普及に必要と考えており、現状技術レベルを超えた効率向上が本格普及の要件と考えていることが推測される。一方、出力に関しては、現状の技術レベルを大幅に超える、500W を普及の要件とする回答者は少ない。大出力マイクロ波源はマグネトロン等電子管式、500W 以下は半導体マイクロ波発振器との住み分けを想定している回答者が多いためと推測される。

表 9 普及に必要な効率・出力について

設問26	普及のための効率は？	件数	比率
回答	1 現状(60%以上)	7	21%
	2 60-70%	5	15%
	3 70-75%	8	24%
	4 75-80%	6	18%
	5 80%以上	2	6%
	6 わからない	6	18%
		34	

設問27	普及するために、必要な出力は？	件数	比率
回答	1 現状(200W以下)	3	14%
	2 200-500W	10	48%
	3 500-1kW	0	0%
	4 1kW以上	3	14%
	5 わからない	5	24%
		21	

表 10 普及に必要な価格についての回答

設問28	普及するために必要な価格
回答	マグネトロン発振器並み 基本的に、市場規模が大きくなれば価格は下がる。 10円/1ワットが当面の目標でしょう。 現在の加熱・加工用マイクロ波装置メーカーは、大きな 転換期を迎えています。 導波管・立体回路はほとんどビジネスにならない。 電源も、高圧から低圧大電流に変わります。 立体回路は、増幅器のコストダウンのボトルネックで す。 20万円@200W 料理用機器で10万円@1kW 10万円以内/200W以上 5000円/Kw 100Wで1万円以下 100円以下 発振に必要なもの1セットで¥100万/kW

表 11 普及に関するコメント

設問29	普及に関してコメントがあれば
回答	出力と寿命の利点のみであれば、価格がマグネトロンと同 等になる必要がある。サイズや、スペクトル特性などがプロ セス上利点となれば、多少価格が高くても。要は、利益に 見合う価格である事が必要だと思います。安価な代替手段 があれば、そちらが採用されます。ターゲットはコンビニエ ンスストア(業務用1kW)、官公庁(一般家庭用500W) 900MHz帯のISMバンド利用域を広げてほしいすでにそれ なりに普及しているものと認識しています。 さらに普及 させるときには、かねがね言っている様に、電場磁場の使 い分けなど装置仕様を明らかにしていく、単に半導体発信 源ですだけでなく半導体でどういう種類のどういう類のマ イクロ波を発振させ利用しているのかの公開と明示が必要 だと思う。半導体デバイスは、化学反応においてキャビティ と容器をセットでシステムの検討が必要。そうでなければ 半導体を選ぶ必要がない。「これからの技術」ではなく、す でに普及しており、現状は、より多方面に利用可とするた めの改善中、という認識しています。ラボ用に小出力分野 で実績を積み上げる

表 10 には自由記入で価格についての回答を記載する。本回答は、現状より大幅な低価格化を想定した記述が多く、現状レベルからの要求価格(表 3(設問 9))と大きな乖離が見られる。表 3(設問 10)、表 5(設問 14)からも、低価格化は本格普及の要件ととらえている回答者が多い。普及に関して自由記述での回答を表 11 に示す。

3.5. マイクロ波全般(半導体を含む)に関する回答

これまでは半導体マイクロ波発振器・装置についての回答を整理したが、マイクロ波エネルギー全般についての意識の分析を行った。分野に関する設問、表 12(設問 30)では、加熱・乾燥(22%)、化学反応(22%)、材料プロセッシング(16%)に興味があるとされている。

表 12 マグネトロン等電子管を含むマイクロ波応用全般についての回答

設問30	マイクロ波の応用について(半導体マイクロ波発振器を含む全般)どの応用分野に興味がありますか?	件数	比率
回答 (複数)	1 加熱・乾燥	24	22%
	2 自動車	6	5%
	3 調理	8	7%
	4 化学反応	24	22%
	5 材料プロセッシング	18	16%
	6 プラズマ	11	10%
	7 医療	12	11%
	8 エネルギー伝送	7	6%
	9 その他	0	0%
		110	

設問31	マイクロ波の応用全般について 応用分野名(例 加熱乾燥)
回答	化学反応21世紀は、加熱ではなく、加工したいプロセスを支配している エネルギーチャンネルを標的にした非平衡加工が主流になるでしょう。 その意味で、マイクロ波は、典型的な選択加熱・加工の手段。 反応装置設計 反応メカニズム 加熱・乾燥 化学反応 材料プロセッシング 医療 食品加工・工業品加工 加熱応用、エネルギー伝送エネルギー伝送 プラズマ加工(半導体加工装置) 粒子合成 精油抽出 医療 化学プロセス 化学反応 熱処理装置(おもに、半導体、電子部品分野)

これは、半導体マイクロ波発振器・装置に関する設問 7 と類似の傾向を示すが、大出力を得意とするマグネトロン等電子管デバイスが多く利用されている分野の回答も多かった。

表 13 マイクロ波全般における必要電力・周波数帯に関する回答

設問32	マイクロ波の応用全般について 必要電力は?	件数	比率
回答 (複数)	1 ~10W	4	10%
	2 10~200W	11	27%
	3 200~1kW	13	32%
	4 1kW~100kW	11	27%
	5 100kW以上	2	5%
		41	

設問33	マイクロ波の応用全般について 興味のある周波数は?	件数	比率
回答 (複数)	1 915MHz	13	22%
	2 2.45GHz	23	39%
	3 5.8GHz	18	31%
	4 その他	5	8%
		59	

表 13 にはマイクロ波全般の応用に必要なマイクロ波電力・周波数帯の回答を示す。マイクロ波応用は100kW までの出力が必要な応用分野に広く期待されていることがわかる。周波数帯も同様で、915MHz、2.45GHz、5.8GHz すべての帯域に均等に関心がもたれていることが読み取れる。

当該領域の成熟度に関する設問 (表 14 (設問 34)) では、成熟度を 5 段階 (1:基礎研究レベル、5:産業化) で回答を得たが、39%が基礎研究レベルとしていることが分かった。一方、実用化への到達度に関する設問 (表 14 (設問 35)) では、既に実用化、3 年以内、5 年以内を合計すると 64%となっている。学術的には基礎レベルにもかかわらず、実用化が進んでいると認識されていることが推測される。一方、10 年以上との回答はなく、近い将来、本格的な産業応用への期待が大きいことがわかる。

表 14 マイクロ波応用全般における成熟度と実用化期間に関する関東

設問34	マイクロ波の応用全般について現在の技術レベル(5段階評価)	件数	比率
回答	1 1(基礎研究)	11	39%
	2 2	6	21%
	3 3	6	21%
	4 4	4	14%
	5 5(産業化)	1	4%
		28	

設問35	マイクロ波の応用全般について実用化に必要な期間は？	件数	比率
回答	1 実用化済み	5	18%
	2 ~3年	4	14%
	3 3~5年	9	32%
	4 5~10年	3	11%
	5 10年以上	0	0%
	6 わからない	7	25%
		28	

市場規模に関する回答を表 15 (設問 36) に示す。「わからない」が 71%となっており、当該分野に従事している設計者・開発者においても、将来基盤産業になるか不安が大きいことが伺える。表 15 (設問 37) を見ると、装置コスト、ランニングコスト合わせて 58%が実用化のために重要と考えており、類似の回答結果 (表 3 (設問 10)、表 5 (設問 14)) 以上に、コストが重要であるとの認識が示されている。

3.6. その他

マグネトロンと半導体マイクロ波発振器・装置の違いを認識しているかの設問 (表 16 (設問 21)) には、92%が理解していると答えている。回答者は半導体マイクロ波発振器・装置への理解が高いことがわかるが、回答者属性 (表 1 (質問 4)) を見ると 10 年以上従事している回答者が多く、若手に対する認知度や教育状

表 15 マイクロ波全般の市場規模と実用化の必要項目

設問36	マイクロ波の応用全般について実用化時の市場規模は？	件数	比率
回答	1 ~1億	3	14%
	2 1~10億	0	0%
	3 10~100億	3	14%
	4 100億~1兆	0	0%
	5 1兆円以上	0	0%
	6 わからない	15	71%
		21	

設問37	マイクロ波の応用全般について実用化するために重要な項目は？	件数	比率
回答(複数)	1 装置コスト	17	34%
	2 ランニングコスト	12	24%
	3 基礎理論	9	18%
	4 法整備	10	20%
	5 その他	2	4%
		50	

設問38	マイクロ波の応用全般についてコメントがあれば？
回答	利用により得られる価値が、投資コスト(発振器のみでなく、全体システム)に見合わなければ、実用にはなりません。 SiCウエハの活性化アニールや酸化プロセスのような1300~2000°Cの温度領域の加熱が必要な用途に使用を考えたが、大学の研究室を想定すると、価格が成り立たない。 また、チップレベルでの研究が、同じプロセスで量産レベルの装置にできるとは思えない。 加熱分野で産業用として育成しようとするらボから生産ラインへのギャップがある。 その技術が、その分野でスケラブルかということが産業用として花開くかどうかのポイントかと思う。

表 16 その他

設問21	マグネトロンと半導体マイクロ波発振器の違いをご存知でしょうか？	件数	比率
回答	1 知っている	33	92%
	2 よくわからない	3	8%
		36	

設問22	マイクロ波装置を販売する場合、販売地域は？	件数	比率
回答(複数)	1 国内	20	61%
	2 海外	13	39%
		33	

況については、不明のままであった。

表 16 (質問 22) を見ると、39%の回答者が海外販売を視野に入れており、国際競争に耐えうる技術を望んでいることがうかがえる。

4. パネルディスカッションでの議論

シンポジウム中のパネルディスカッションでは以下

の話題が出た。

- ・現状は半導体発振器以外のコスト要因も大きい。(メーカー)
- ・マグネトロンからみて 1KW 以上の分野では、半導体は脅威ではない(メーカー)
- ・欧州では周辺機器が高いので普及はまだ先と考えられている(パネラー)
- ・半導体のメリットが明確になっていないので、一緒に探してほしい(メーカー)

また、最後に学会顧問より、「今後、JEMEA が化工系の学会と協力して広げていけたらいいと思います。また、製造の方は、電機業界の枠を超えてやっていただきたい。自動車は今までとは違う方向に進んでいるように、新しい挑戦が出来るのではないのでしょうか。半導体発振器はマイクロ波の実験にすごく良いと思います。皆さんでこれからを開いてください！」の発言があり、パネルディスカッションを終えた。

5. まとめ

筆者の主観が大きく入るものの、おおむね以下の項目が回答者の共通認識として読み取ることができた。

- ・将来の低価格への期待はとても大きいですが、現状の価格は容認されている。
- ・周波数可変の期待は共通認識となっているが、その他の特徴(サイズ、応答速度、寿命)への期待は、応用用途毎に異なっている。
- ・出力への要請は小さい(現状程度で十分)。
- ・すでに普及は始まっている。
- ・マグネトロン等、電子管デバイスとの住み分けの意識が明確になっている(大電力低コスト vs 省電力高機能)。
- ・国際競争に耐えうる技術が望まれている。

謝辞

回答をいただいた皆様、設問作成にご協力していただいた皆様、本アンケートをもとにパネルディスカッションを運営していただいた上智大学 堀越先生、パネルディスカッションにご参加いただいた皆様にお礼を申し上げます。