

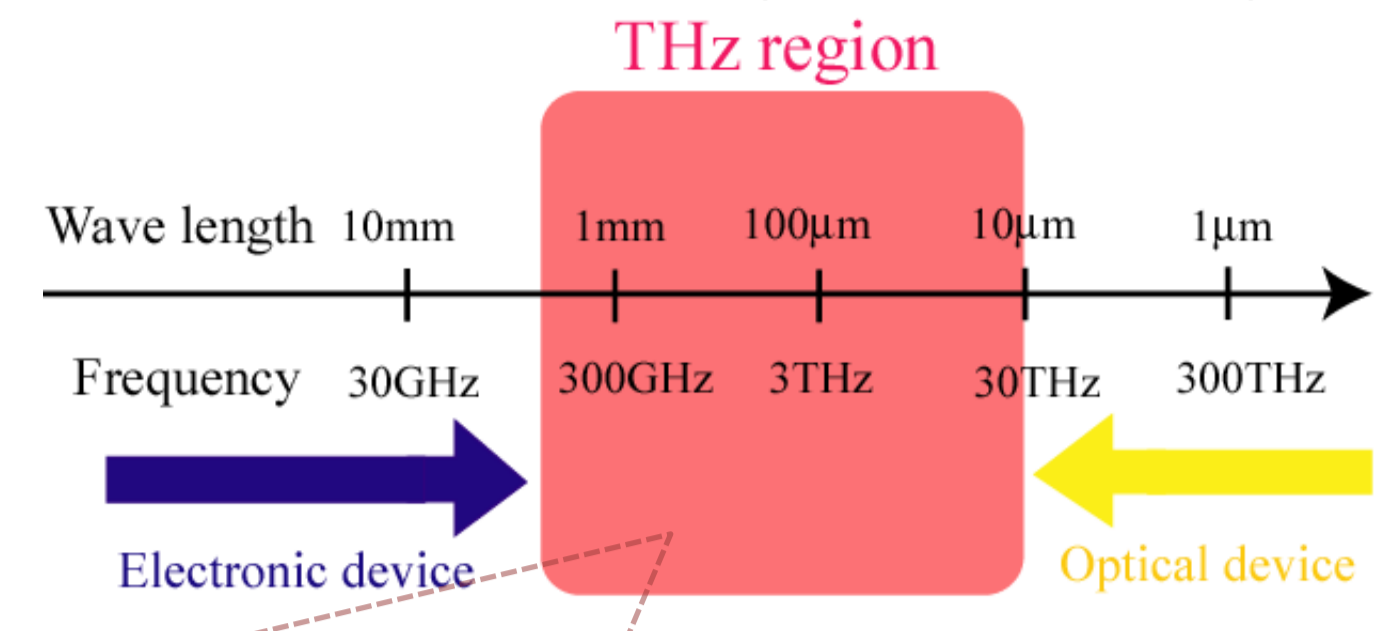
P-11 テラヘルツ無線通信を目指した化合物半導体と広帯域アンテナ集積一体デバイスのRF諸特性の解析

Analysis of RF characteristics of a compound semiconductor device integrated with a wide-band antenna for THz wireless communications

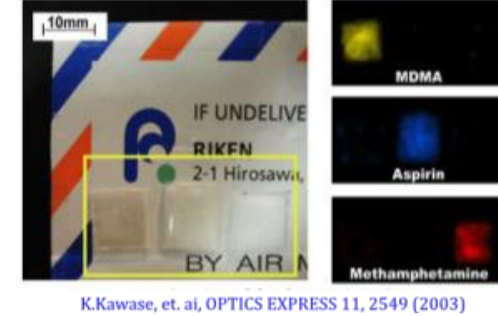
首都大学東京(Tokyo Metropolitan University) 須原研究室(M. Suhara Lab.) 田代 篤史(Atsushi Tashiro) 中村 昌人(Masahito Nakamura)

Background

未開拓周波数帯(テラヘルツ帯)の利用に着目



禁止薬物検査

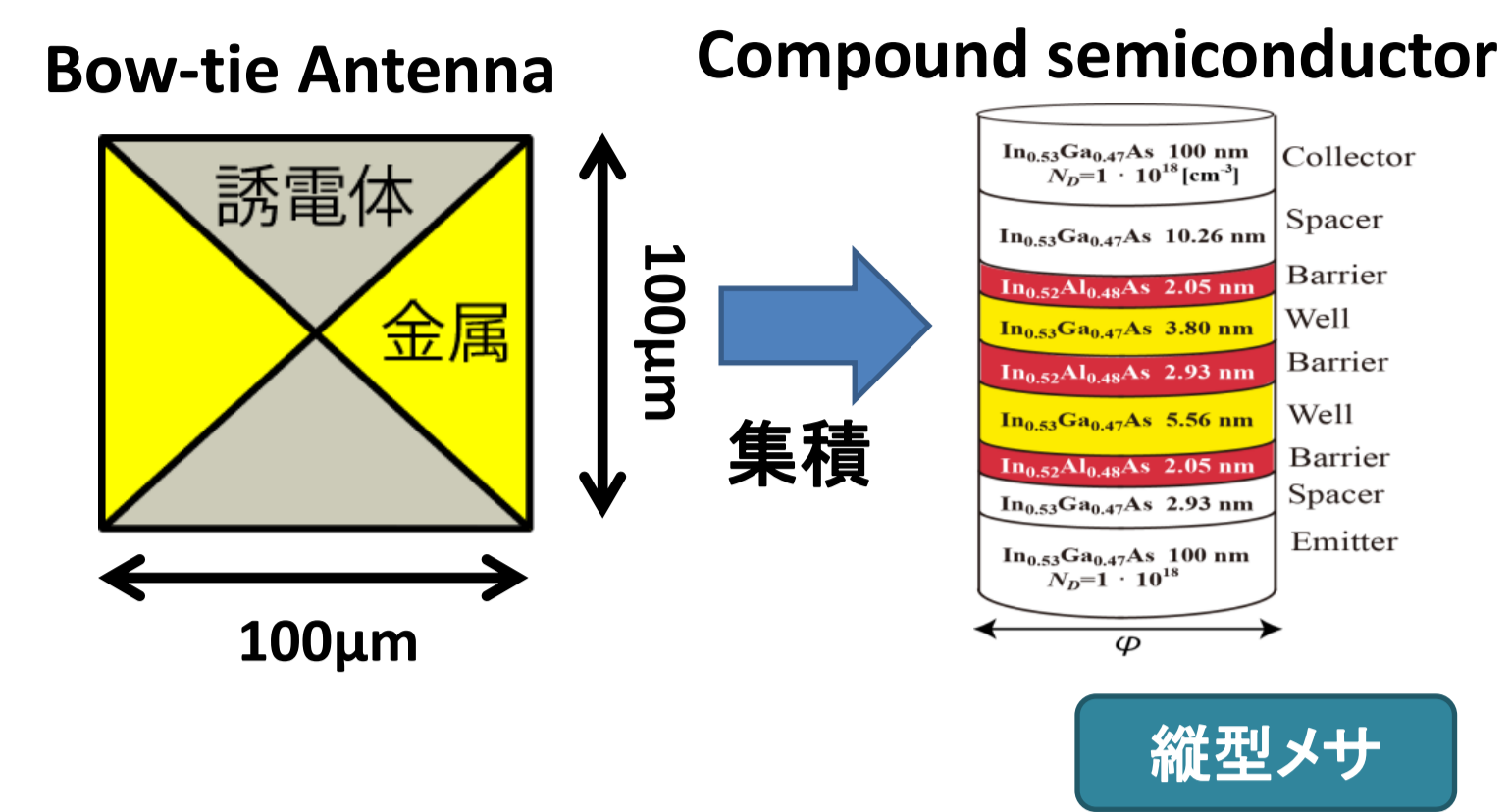


次世代高速無線通信



- 未開拓周波数帯であるテラヘルツ帯は、光波と電波の中間に位置する周波数であり、現在光デバイス側と電子デバイス側の両方から研究が進められている。
- テラヘルツ帯の特徴として(1)強い直進性(光学的)(2)産業的に未使用である (3)物質固有の吸収スペクトルが存在する などがあげられる。
- 以上のような特徴を利用したアプリケーションとして、禁止薬物等の非破壊イメージング技術や、高速無線通信技術、空港等でのセキュリティ技術などへの応用が期待されている。
- 本研究室では、テラヘルツ帯を利用した次世代の高速無線通信技術に焦点を向け、研究を進めている。
- テラヘルツを用いた無線通信技術は、イメージング技術などにくらべ模擬実験段階であり、実用化には課題が残る。

テラヘルツ帯動作デバイスの考案



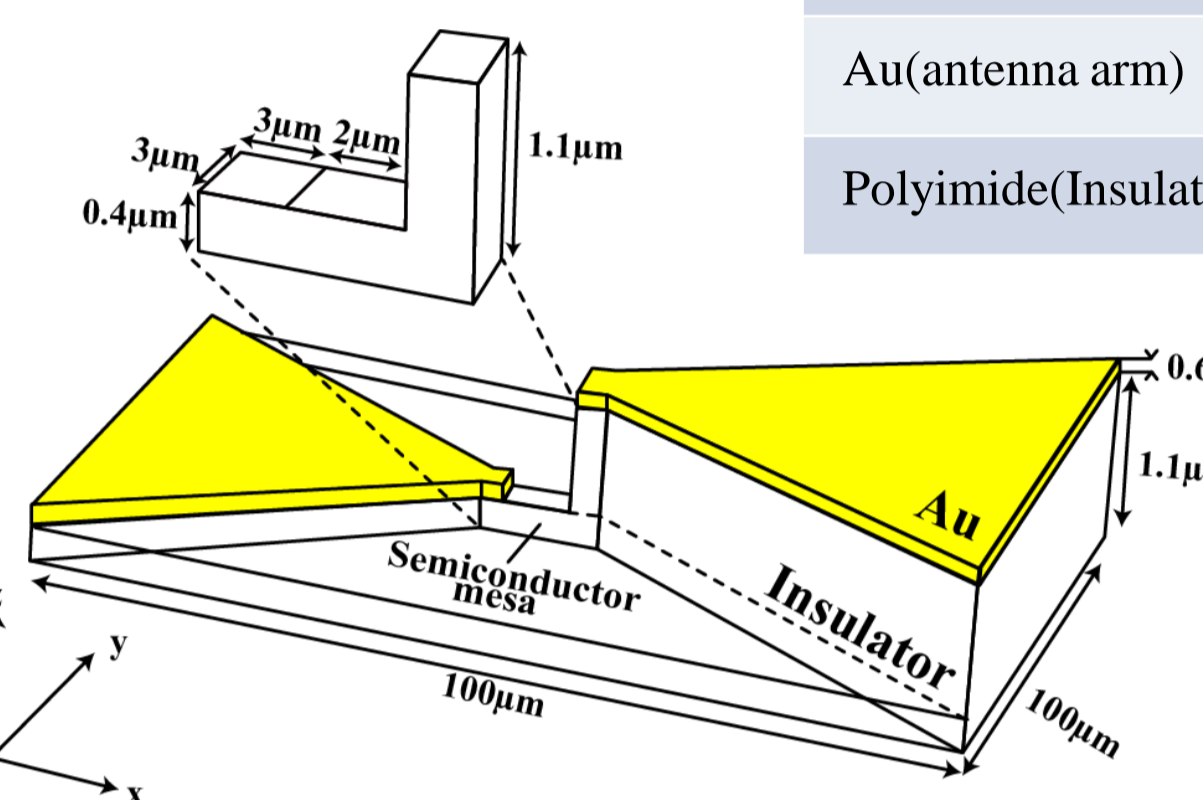
- テラヘルツ帯無線通信デバイスとして、テラヘルツ帯での動作も報告されている化合物半導体を用いたダイオードと、同周波数帯で広帯域性をもつボウタイ形状の金属薄膜アンテナの集積一体構成デバイスを考案。
- 本研究室では、電気回路を用いた理論解析を軸として研究を行っているが、実際のデバイス構造が諸特性にどのような影響を与えるかなどの不明瞭な点を、COMSOL上でモデリングしたデバイスの電磁界解析によって明らかにし、それを理論解析に還元させることを目的としている。

テラヘルツ帯で動作可能とされる化合物半導体ダイオードと金属薄膜のパターニングによる広帯域アンテナの集積一体構造

Device Structure

デバイスの構造

material	σ [S/m]	ϵ_r	μ_r
n-GaAs(mesa)	5×10^4	13	1
Au(antenna arm)	4.5×10^7	1	1
Polyimide(Insulator)	1×10^{-14}	3.4	1

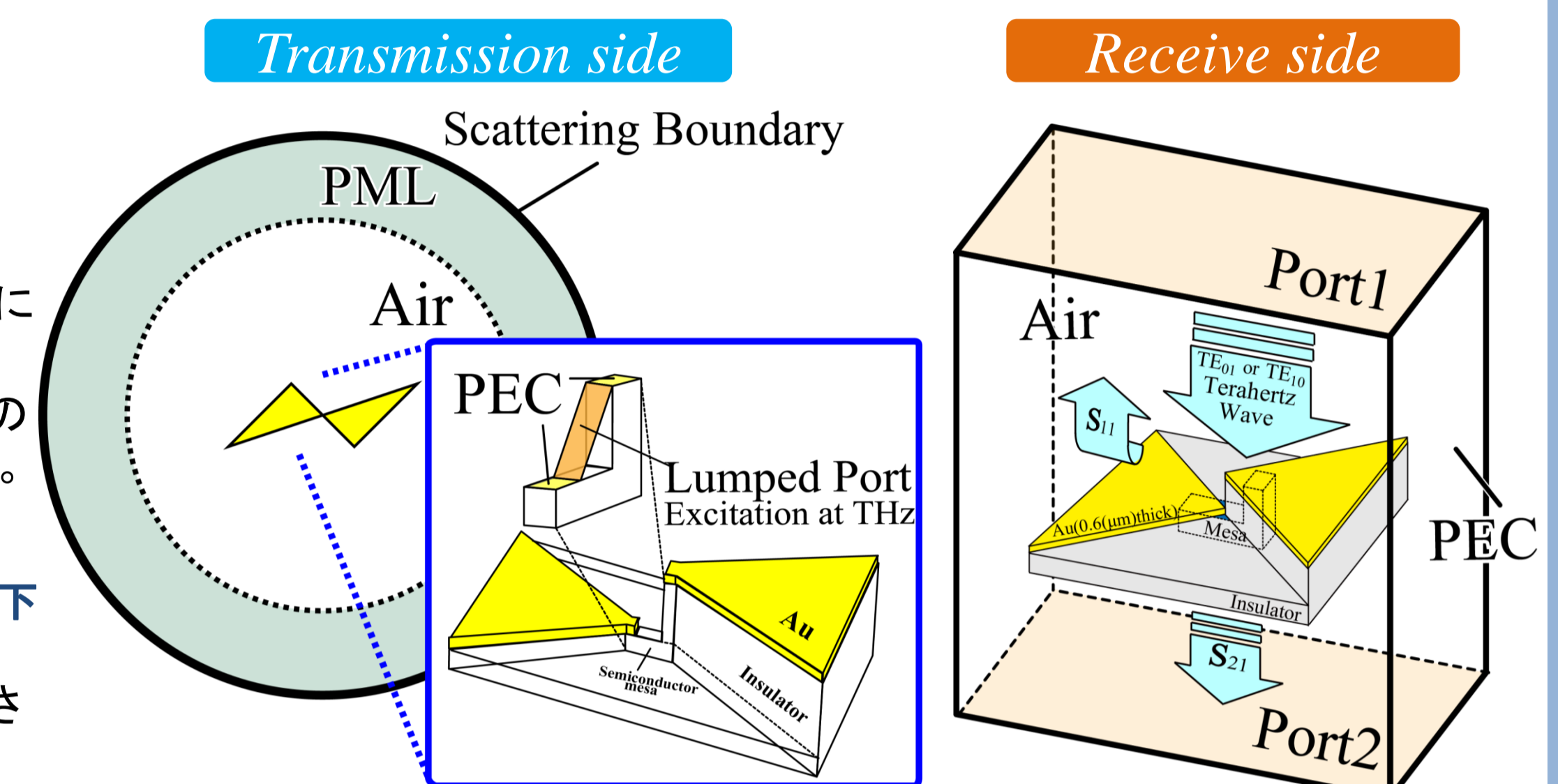


- 今回シミュレーションに用いたデバイスの構造であり、作製プロセスも考慮した形状となっている。
- 送信側、受信側ともに同形状のデバイスを使用。

Analysis Method

解析手法及び条件

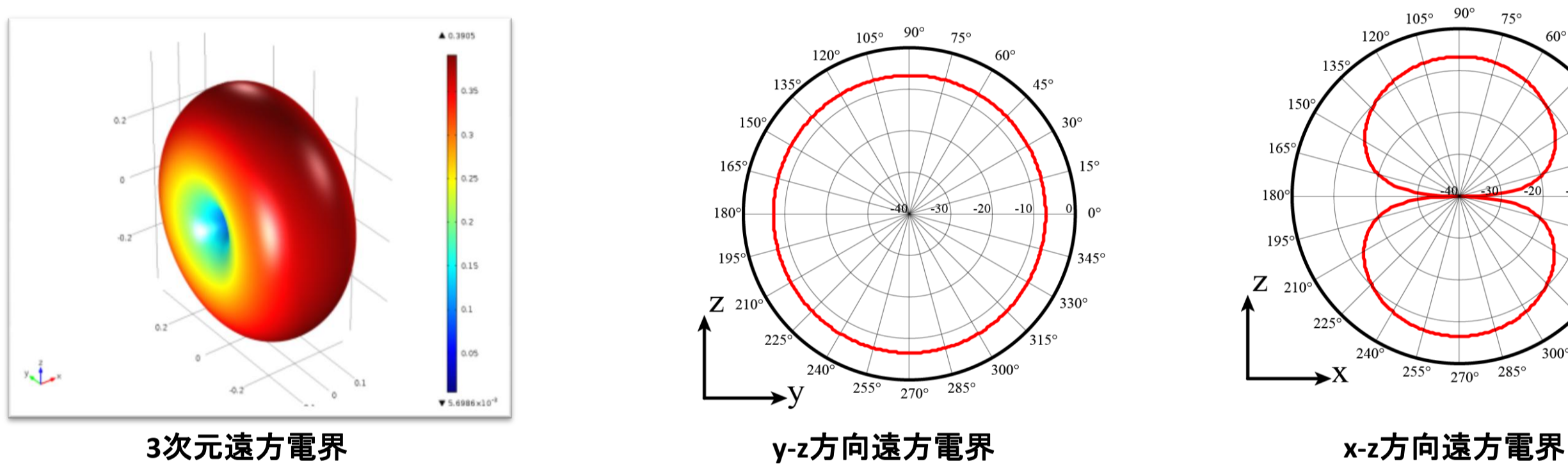
- 定常状態解析(周波数領域)
- 送信側
 - >メサとアンテナの接続部分をPEC(Perfect Electric Conductor)に設定し、Lumpedポートによって励振。
 - >アンテナ外部には放射用の空間を球で定義し、また球面での反射を抑制するための条件としてPMLと吸収境界条件を定義。
- 受信側
 - >送信側同様に、電磁波の伝わる空間を直方体で定義し、上下面をポートと定義し、上面ポートからTEモード波を励起。
 - >空間側面はPECで定義し、導波管の内部にデバイスが配置されるような状態を模擬した。



Result of Simulation

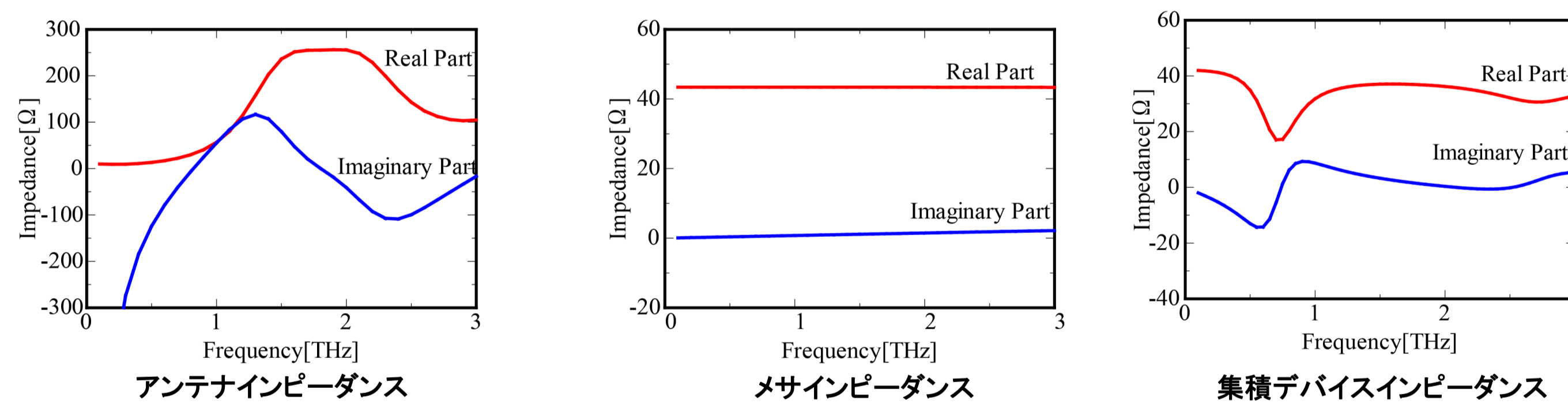
Transmission Side

アンテナパターン(Far-Field Pattern)



- 解析デバイスのアンテナパターン(指向性)。
- y-z方向では無指向性となっており、x-z方向ではx方向がNULLとなっているが、z方向(アンテナの上下方向)への放射電界が強くなっている。
- 指向性は、概ねアンテナ形状に依存している事が明らかになった。

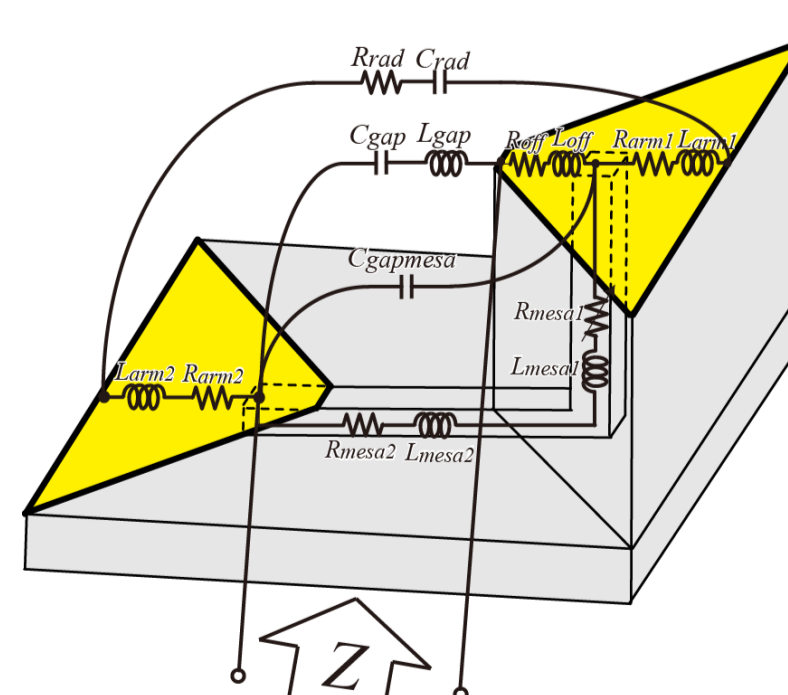
入力インピーダンス



- アンテナの入力インピーダンスとメサの入力インピーダンスではメサの入力インピーダンスの方がオーダー的にも低く、集積した際に支配的になることが明らかになった。したがって、集積デバイスの入力インピーダンスはメサの設計によって、自由に調整させることができることが明らかになった。
- 上記のような設計により、THz帯で広帯域性をもつような集積デバイス構造が明らかになった。
- また、集積デバイスの入力インピーダンスを50[Ω](給電ライン等の特性インピーダンス)付近に調整することができ、インピーダンスの整合がとれるような設計となった。

prospect

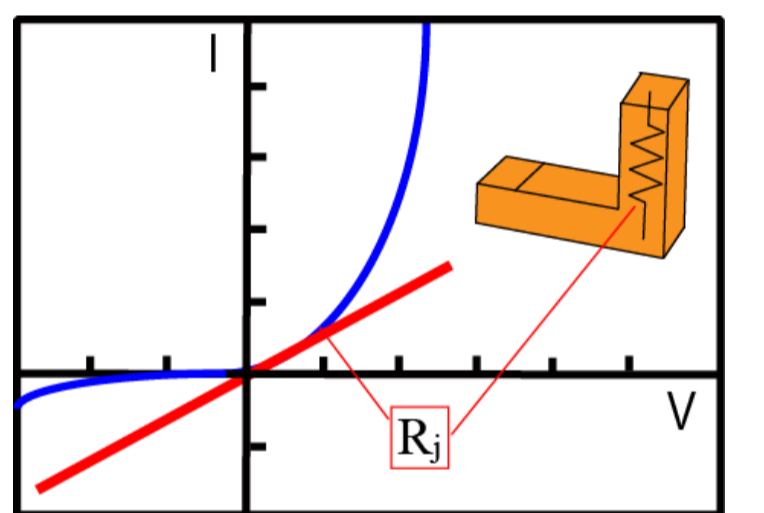
- 物理ベースの等価回路を用いてインピーダンスをフィッティング → 回路解析によって過渡現象などの理論的な解析が行える。
- COMSOLでの過渡解析 → 回路解析の結果と照らし合わせ(理論の妥当性)
- 集積デバイスをアレイ化した際の空間結合等の影響を解析 ...etc



Receive Side

ダイオードの小信号特性近似

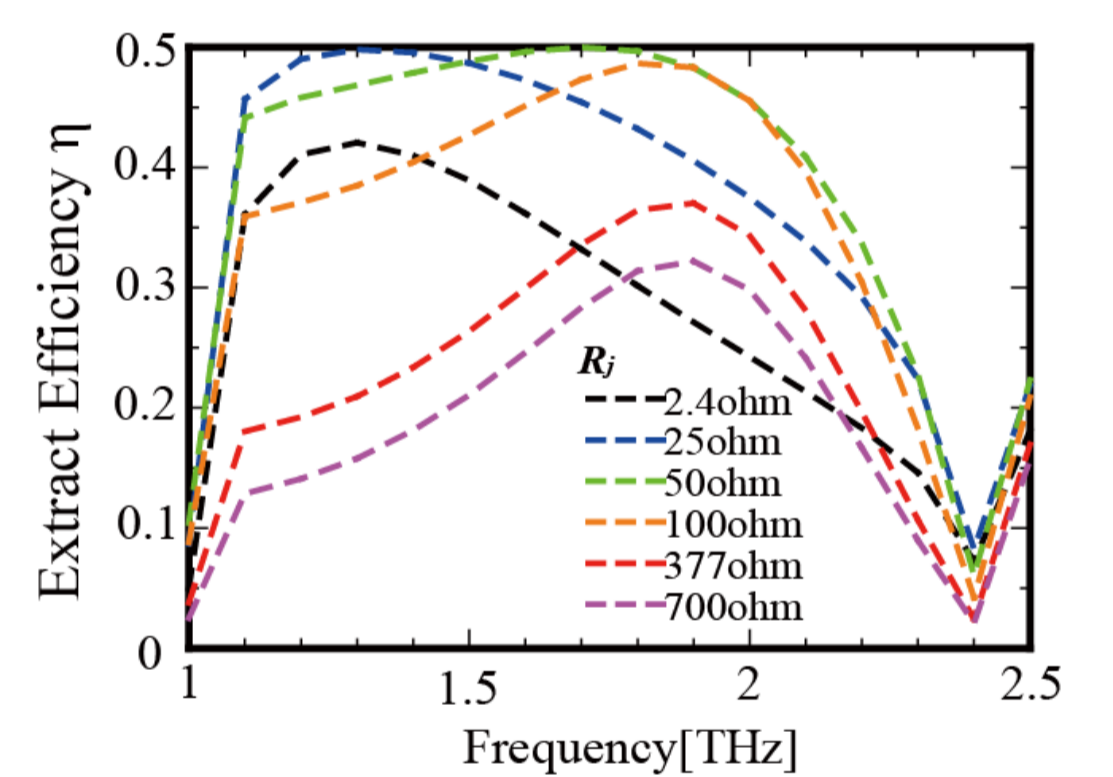
- 実際にメサ部分には化合物半導体を用いたダイオードが存在し、そのI-V特性は当然非線形なものとなる。したがって、電圧を印加することによって物性値が変化してしまうことになる。
- そこで、材料特性の変化を小信号特性の変化と対応づけし、検波効率に対する影響を解析した。
⇒ R_j の変化(縦型メサの部分の導電率の変化)による影響の解析



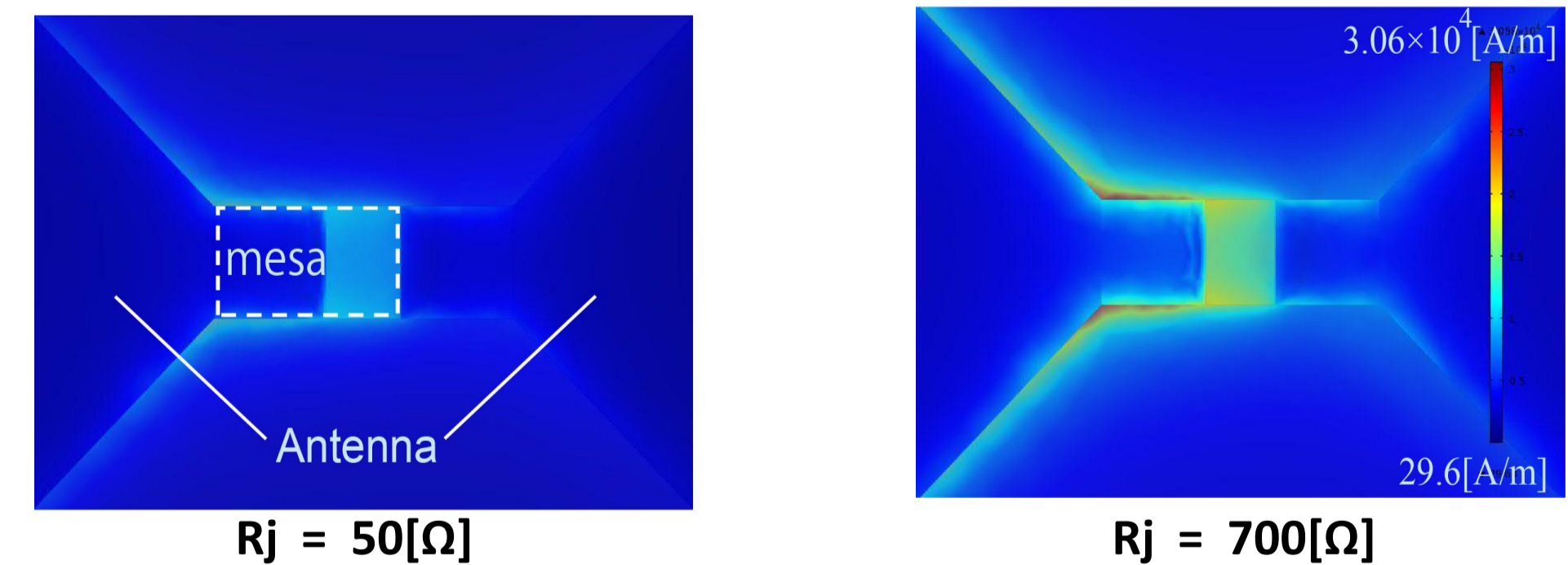
変換効率 η

$$S_{11} = \sqrt{\frac{\text{Power reflected from port1}}{\text{Power incident on port1}}} \quad S_{21} = \sqrt{\frac{\text{Power delivered to port2}}{\text{Power incident on port1}}}$$
$$\text{Extract efficiency } \eta = (1 - S_{11}^2 - S_{21}^2)$$

- 変換効率 η を上のように定義し、 R_j の変化に対する応答を解析した。
- R_j の変化によって、変換効率が最大となる周波数や変換効率の最大値が変化している。



メサ近傍電磁界



- 上に示したグラフから、変換効率の最も高かった50[Ω]と、最も低かった700[Ω]の場合のメサ近傍の磁界分布を示す。(周波数は1.7THz)
- 50[Ω]の場合は700[Ω]の場合に比べて、メサ近傍で赤い部分が少ない。⇒インピーダンスの整合がとれている。
- 700[Ω]の場合はインピーダンスの整合がとれず、メサ近傍で再放射が発生している。

prospect

- 集積デバイスの検波効率の評価
- R_j に無依存な集積デバイスの設計方法の検討
- 送信側でフィッティングした等価回路による理論的な検波効率の解析・検討 ...etc

Conclusion

- 化合物半導体を用いたダイオードと金属薄膜のパターニングによるボウタイアンテナの集積一体デバイスを、送信側と受信側でモデル化し、解析を行った。
- COMSOL RFモジュールによってボウタイアンテナ集積化合物半導体の諸特性を明らかにし、今後のデバイス設計指針が検討可能になった。