

六方晶窒化ホウ素 (h-BN) の加工技術

九州工業大学大学院情報工学研究院
物理情報工学研究系

准教授 新海 聡子

2024年12月17日

謝辞：本研究の一部は超先端材料超高速開発基盤技術プロジェクト(NEDO)により行われたものである

本日の流れ

1. 開発背景

社会的位置付け 電源の小型化

本発明の開発背景 h-BN

従来技術とその問題点

新技術の特徴・従来技術との比較

想定される用途

2. 実証方法

実証方法 試料準備 h-BN

実証方法 h-BNエッチング

3. 実証データ

h-BNエッチング

① CHF_3 ガス

② SF_6 ガス

③ $\text{F}_2 + \text{He}$ ガス

4. 応用例 トレンチ作製

5. まとめ

実用化に向けた課題

企業への期待

企業への貢献、PRポイント

本技術に関する知的財産権

産学連携の経歴

お問い合わせ先

本日の流れ

1. 開発背景

社会的位置付け 電源の小型化

本発明の開発背景 h-BN

従来技術とその問題点

新技術の特徴・従来技術との比較

想定される用途

2. 実証方法

実証方法 試料準備 h-BN

実証方法 h-BNエッチング

3. 実証データ

h-BNエッチング

①CHF₃ ガス

②SF₆ ガス

③F₂+Heガス

4. 応用例 トレンチ作製

5. まとめ

実用化に向けた課題

企業への期待

企業への貢献、PRポイント

本技術に関する知的財産権

産学連携の経歴

お問い合わせ先

Three Dimensional-Power Supply on Chip(SoC) 3次元Power SoCの課題：デバイス内部の排熱・抜熱

電子機器

小型化,
高性能化

内部の電源

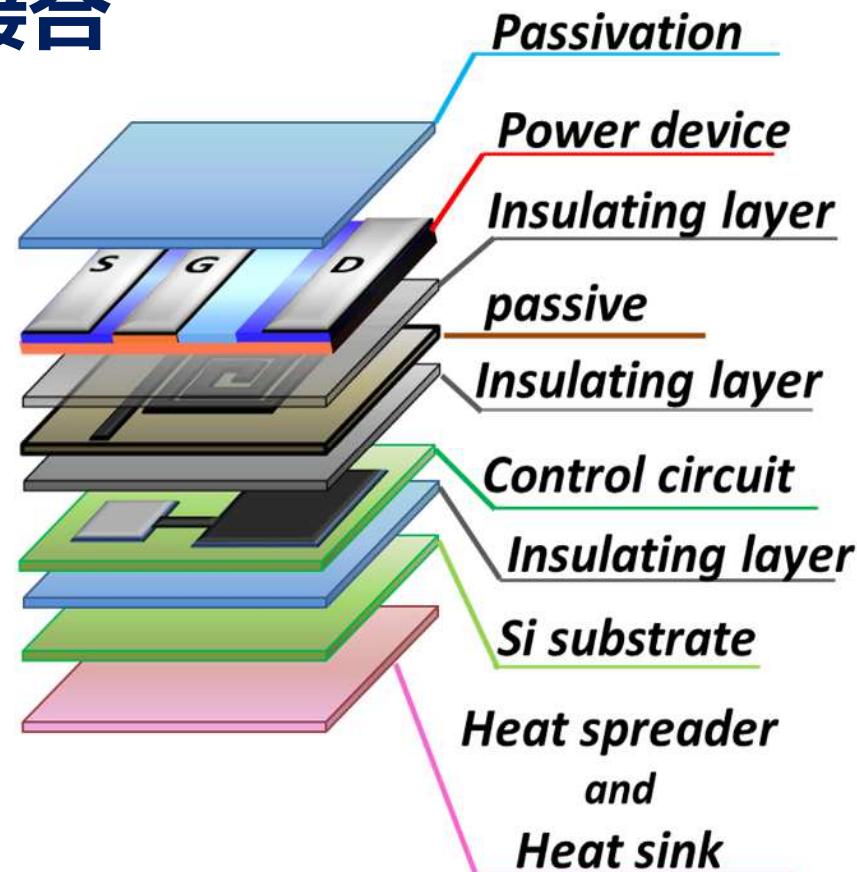
小型化,
薄型化

PCB基板でドライバー回路を外付け

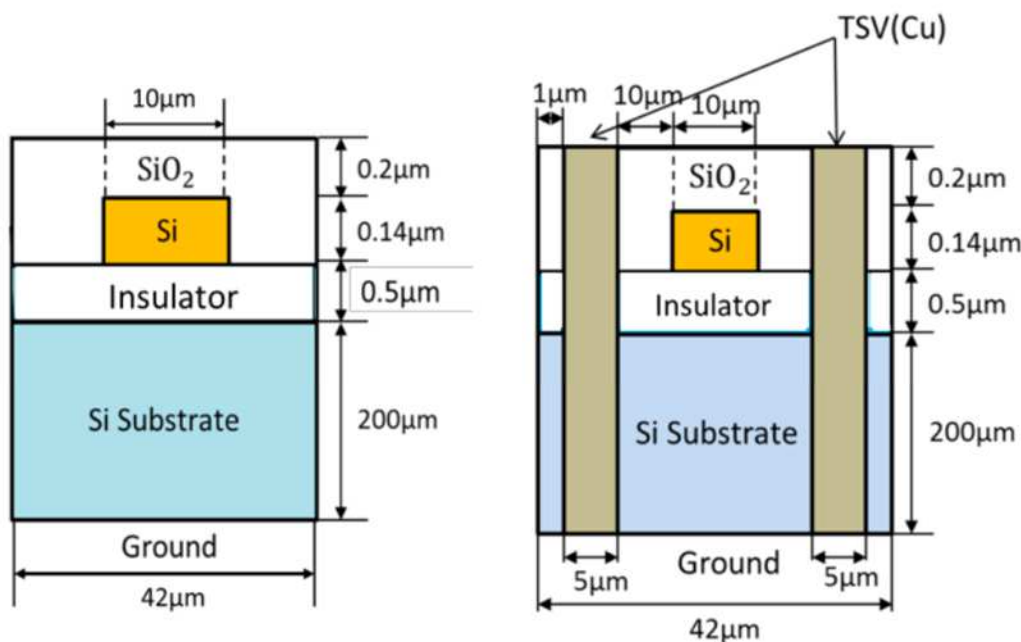
- ・配線が長くなる。
- ・スイッチング周波数の高周波化
→配線の寄生インピーダンス大

従来とは別の方法で 配線を短くする

GaNパワーデバイスと Si-LSIを向かい合わせで 接合



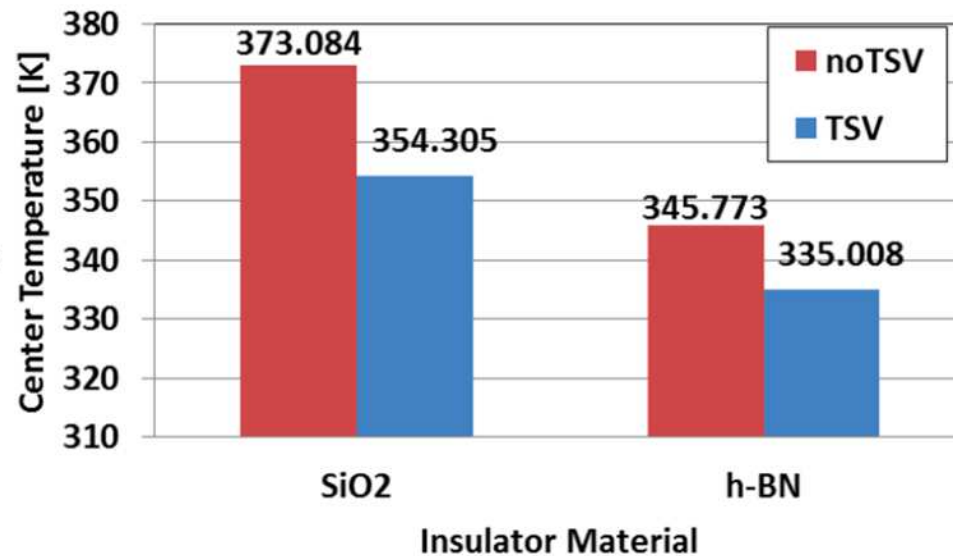
Three Dimensional-Large Scale Integrated circuits(3D-LSI) 3D-LSIの課題：デバイス内部の排熱・抜熱



(a) SOI structure model

(b) TSV inserted model

SOI基板の回路断面図



TSVの有無による熱源中心 (Si) と層間絶縁膜での温度

各種材料の熱伝導率

material	Thermal conductivity [W/(m · K)]	
Si	145	
SiO2	1.38	
h-BN	Vertical	2
	Horizontal	390

- デバイス内部の排熱・抜熱
- 貫通Viaの作製
- 排熱・抜熱の効率化

従来技術とその問題点

六方晶窒化ホウ素 (h-BN) の加工には CHF_3 や SF_6 等のフッ素系のガスが使用されてきた。

しかし、堅牢な**六方晶窒化ホウ素 (h-BN)** は

- ・ **エッチングが容易ではない**
- ・ **加工精度に欠ける**

という問題を持つ。

そのため、六方晶窒化ホウ素 (h-BN) を使用したデバイスが広く普及するまでには至っていない。

新技術の特徴・従来技術との比較

- ・ F_2+He という全く新しいエッチングガスを使用することで、**フレーク状の転写六方晶窒化ホウ素 (h-BN) でもパターンニングを可能とし、エッチング精度を向上させた**

- ・ F_2+He ガスを使用した六方晶窒化ホウ素 (h-BN) のエッチング技術の確立は世界初

- ・ 本技術の適用により、パターンニングだけでなく、**続くTSV (Through Si Via) の作製も可能となることを実証した**

想定される用途

本技術の特徴を活かすためには、六方晶窒化ホウ素 (h-BN) を使用した

ダイヤモンドデバイスの製造工程

パワーデバイスの排熱工程

の加工技術に適用することで、大きな効率が得られると考えられる。

本日の流れ

1. 開発背景

社会的位置付け 電源の小型化

本発明の開発背景 h-BN

従来技術とその問題点

新技術の特徴・従来技術との比較

想定される用途

2. 実証方法

実証方法 試料準備 h-BN

実証方法 h-BNエッチング

3. 実証データ

h-BNエッチング

①CHF₃ ガス

②SF₆ ガス

③F₂+Heガス

4. 応用例 トレンチ作製

5. まとめ

実用化に向けた課題

企業への期待

企業への貢献、PRポイント

本技術に関する知的財産権

産学連携の経歴

お問い合わせ先

1. 洗浄：有機ドラフト

装置：UNION製 HSS-200
純水+超音波 1min

2. メタルマスク作製 ：スパッタ成膜

装置：キヤノンアネルバ製 E-200S
Al：200nm

3. 洗浄：有機ドラフト

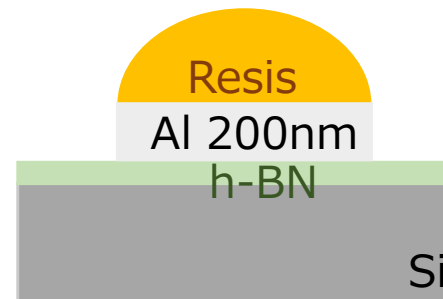
装置：UNION製 HSS-200
(1) アセトン+超音波 1min
(2) エタノール+超音波 1min

4. リソグラフィー：マスクレス露光器

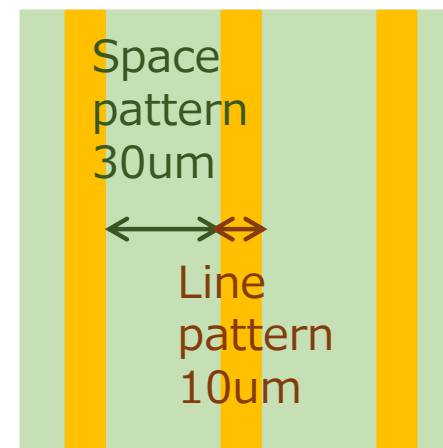
装置：UNION製 HSS-200
レジスト：OFPR-8600 142cp
プリベーク：90℃ 90sec
露光：Dose 1500[mJ/cm²], Defoces 0
現像：NMD-W 120sec
リンス：純水+オーバーフロー 60sec
ポストベーク：100℃ 5min

5. Alエッチング：無機ドラフト

装置：ダン産業製 HSS-2000HS
溶液：混酸 3min
(変色してから1min)
リンス：純水+オーバーフロー
5min



試料断面図



作製したLine & Space

6.h-BNエッチング

装置：samco社製 RIE-101iPH (F_2+He , CHF_3)

装置：samco社製 800iPB (SF_6)

エッチング条件	
エッチングガス	F_2+He , CHF_3 , SF_6
ICP電力[W]	300
Bias電力[W]	100
ガス流量[sccm]	20
プロセス圧力[Pa]	1
エッチング時間[min]	10

7.レジスト除去：有機ドラフト

装置：UNION製 HSS-200

(1) アセトン+超音波 1min

(2) エタノール+超音波 1min

8.メタルマスク除去：無機ドラフト

装置：ダン産業製 HSS-2000HS

溶液：混酸 5min

リンス：純水+オーバーフロー 5min

9.観察：走査型電子顕微鏡

装置：JEOL社製 JIB-4600F

観察：光学顕微鏡

装置：NIKON社製

エクリップスL200AF

本日の流れ

1. 開発背景

社会的 position 電源の小型化

本発明の開発背景 h-BN

従来技術とその問題点

新技術の特徴・従来技術との比較

想定される用途

2. 実証方法

実証方法 試料準備 h-BN

実証方法 h-BNエッチング

3. 実証データ

h-BNエッチング

① CHF_3 ガス

② SF_6 ガス

③ $\text{F}_2 + \text{He}$ ガス

4. 応用例 トレンチ作製

5. まとめ

実用化に向けた課題

企業への期待

企業への貢献、PRポイント

本技術に関する知的財産権

産学連携の経歴

お問い合わせ先

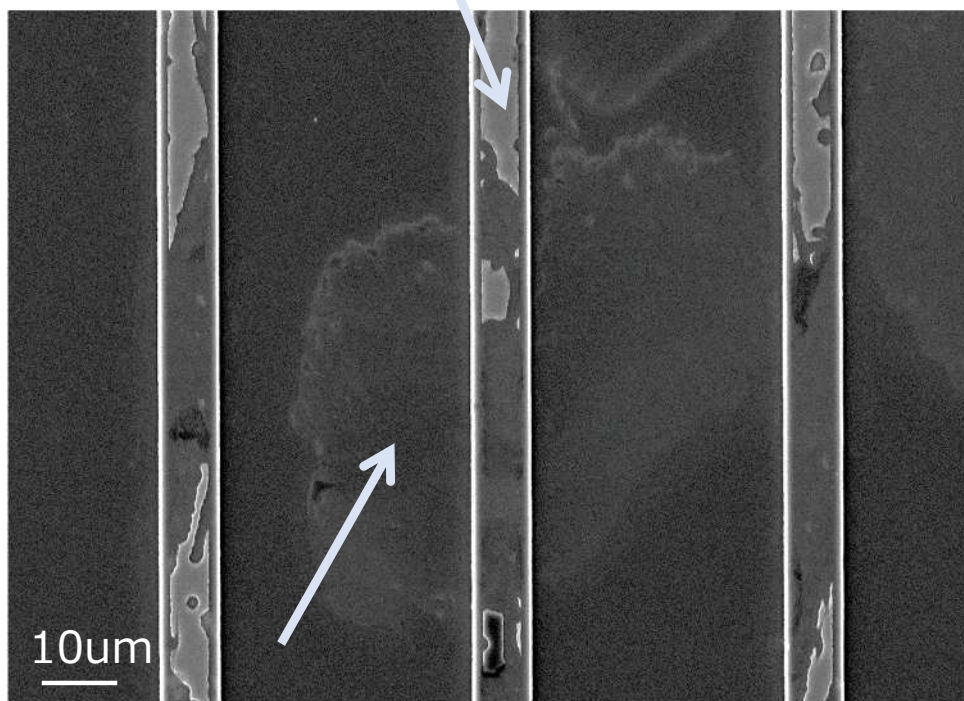
3. 実証データ

① CHF₃ ガス

h-BNエッチング

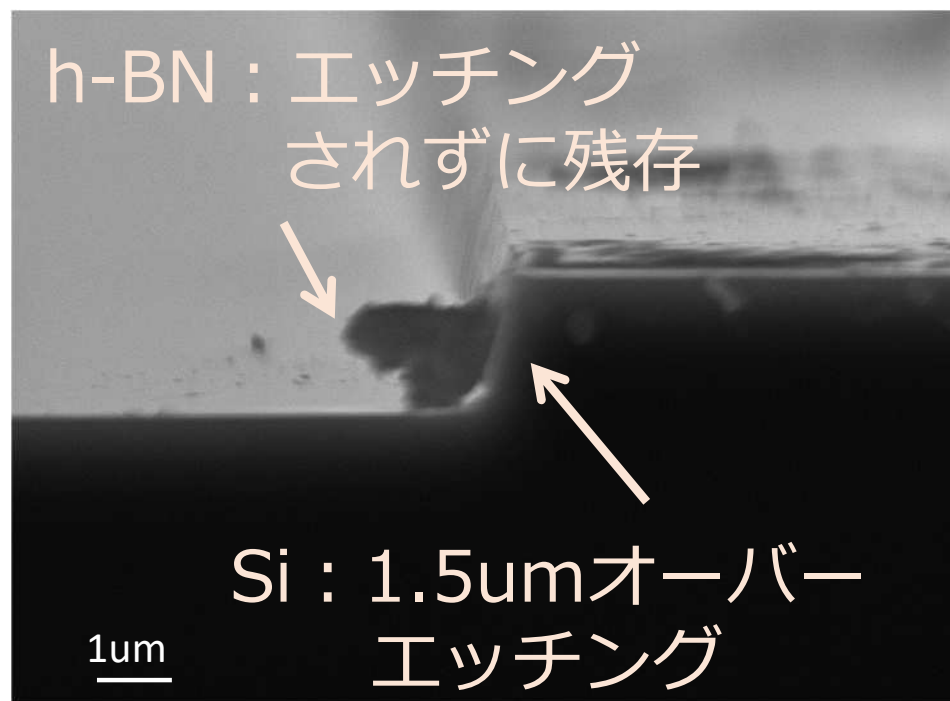
ラインパターン(10um)
: Alマスクの一部が剥離不可

表面SEM像



スペースパターン(30um)
: 雲のような模様が見られる
→h-BNのエッチング不足

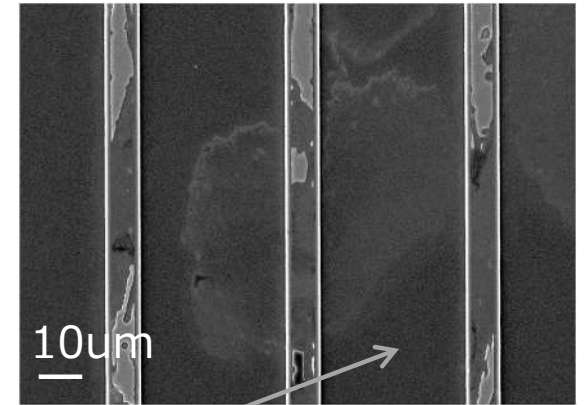
断面SEM像



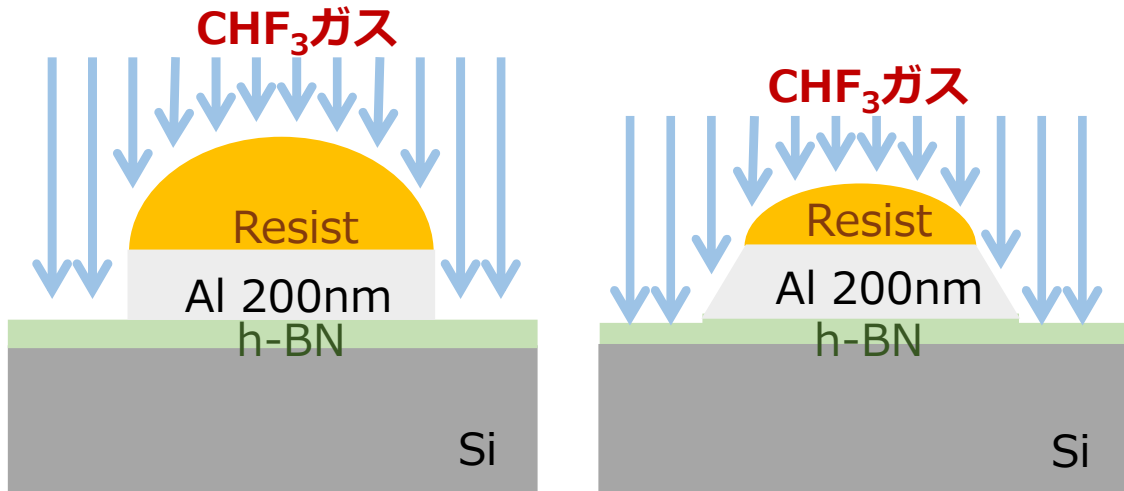
3. 実証データ h-BNエッチング

① CHF₃ ガス

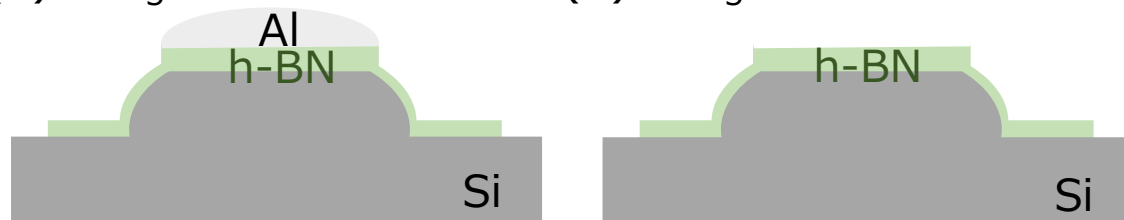
- (a) エッチングが始まる
- (b) h-BNのエッチングレートが遅く、エッチングが進まない
- (c) h-BNフレークの間隙からエッチングガスが入り込み下地のSiをエッチング
- (d) エッチングされずに残ったh-BNが下に落ちる



エッチングされずに残存したh-BN

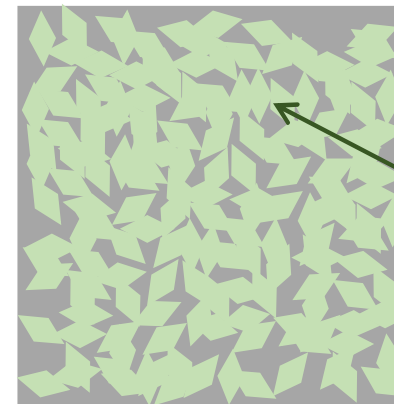


(a) CHF₃エッチング開始時 (b) CHF₃エッチング終了間際

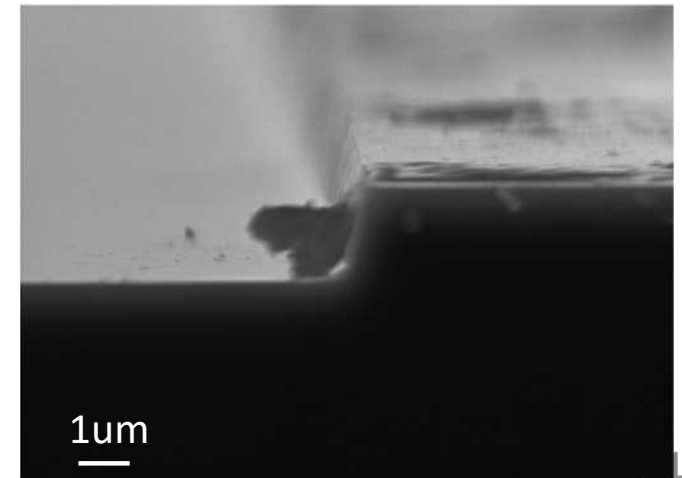


(c)レジスト剥離後 (d)Alマスク除去

CHF₃ガスによるエッチングの模式図



h-BNフレークの間隙からエッチングガスが入り込み下地のSiをエッチングしている



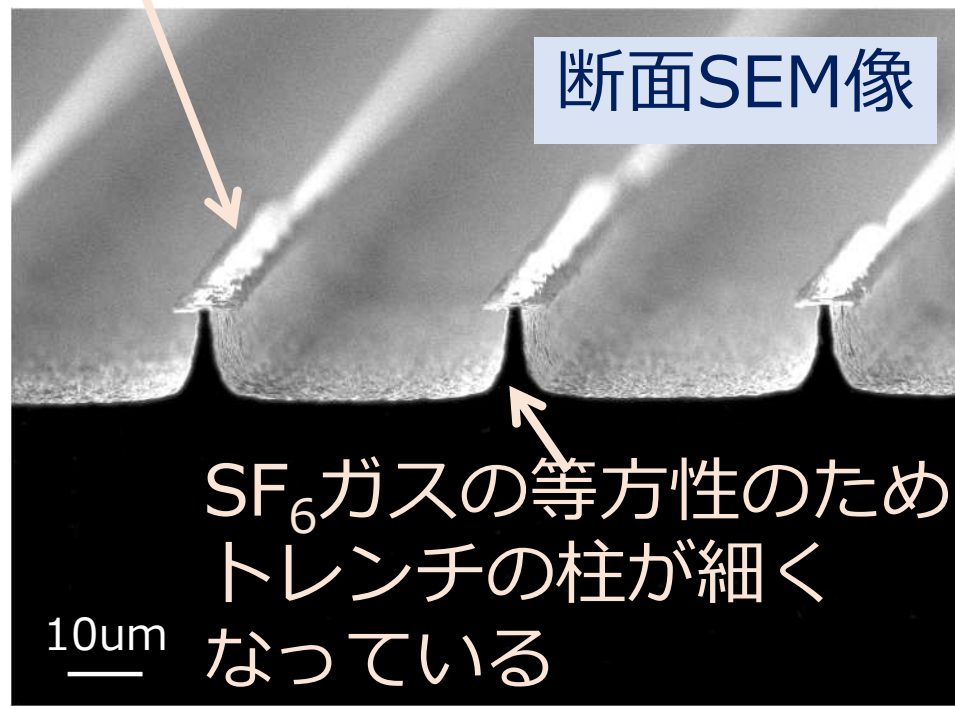
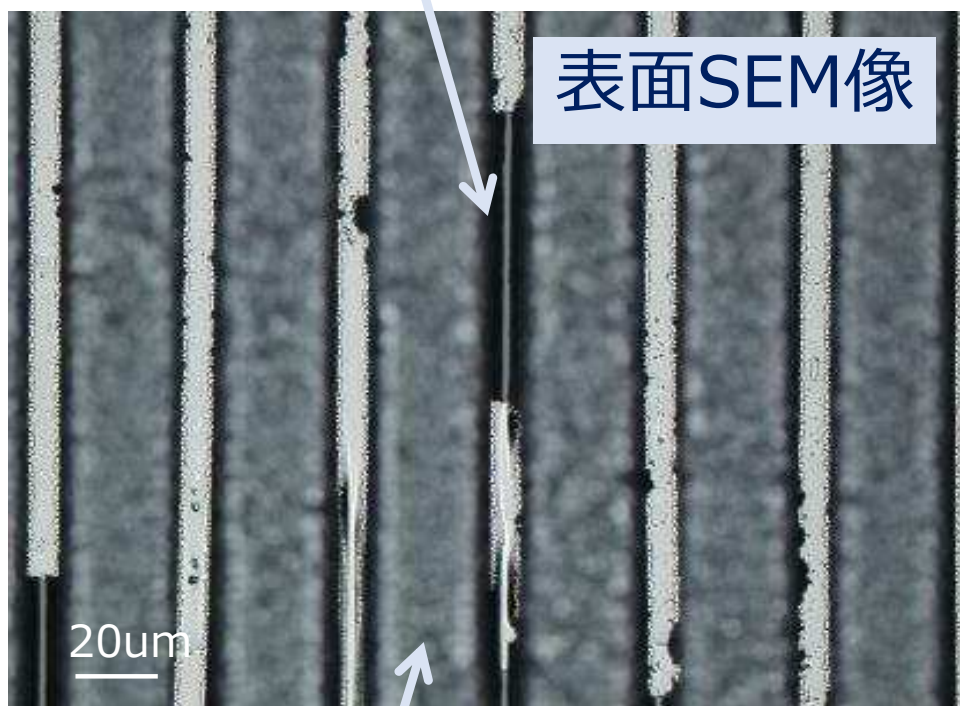
3. 実証データ h-BNエッチング

② SF₆ ガス

* トレンチ形成時の深堀エッチング条件とは異なる

ラインパターン(10um)
: レジスト除去時にAlマスク
が剥離

Alマスクしか観察されない
→h-BNはマスク以上に
エッチングされている



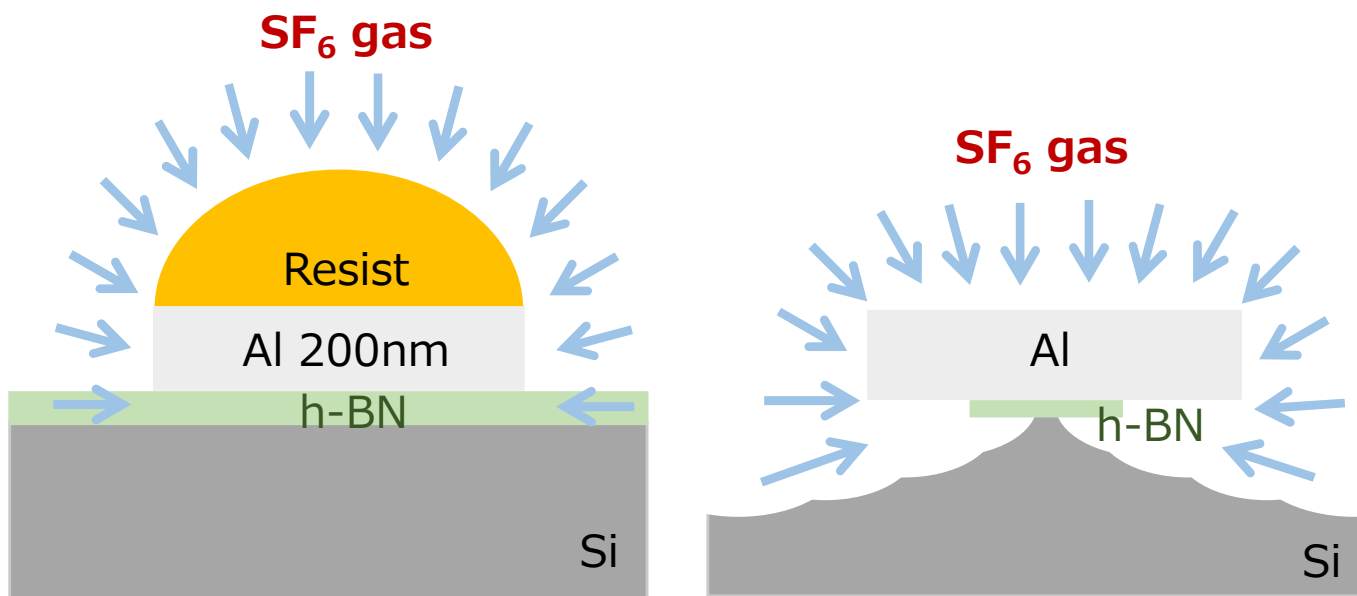
スペースパターン(30um)
: h-BNはエッチングされている

3. 実証データ h-BNエッチング

② SF₆ ガス

(a) SF₆ガスの等方性により、サイドからもエッチングが進む。

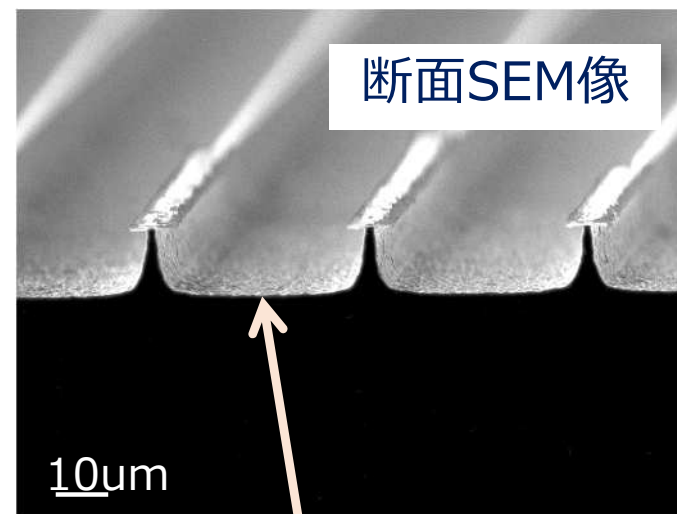
(b) Si底面および側壁の状態から、Alマスクの大きさを超えるh-BNの存在は確認できないことから、SF₆ガスはh-BNをエッチングしていることが確認できる。



(a)SF₆ エッチング開始時

(b)SF₆ エッチング終了時

CHF₃ガスによるエッチングの模式図

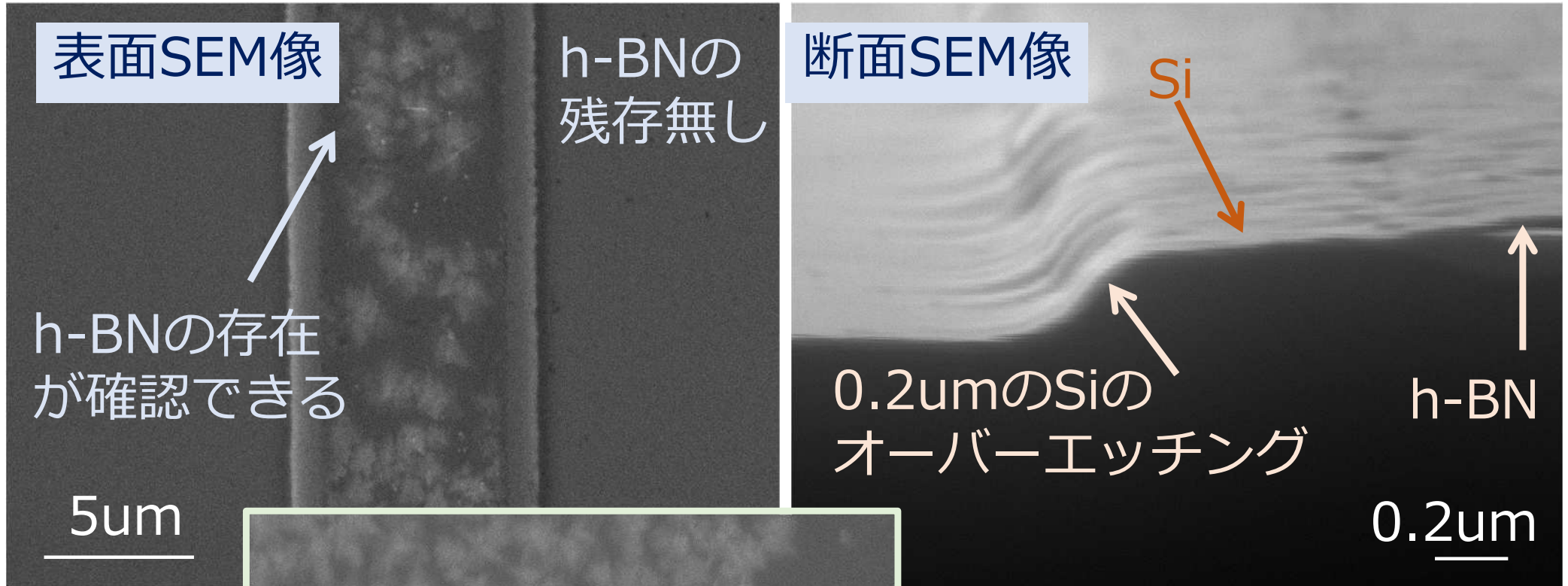


底面の荒れは側壁でも同様に確認できるため、SF₆ガスによってSi表面が荒れたと考えられる。

3. 実証データ

③ F₂ + Heガス

h-BNエッチング

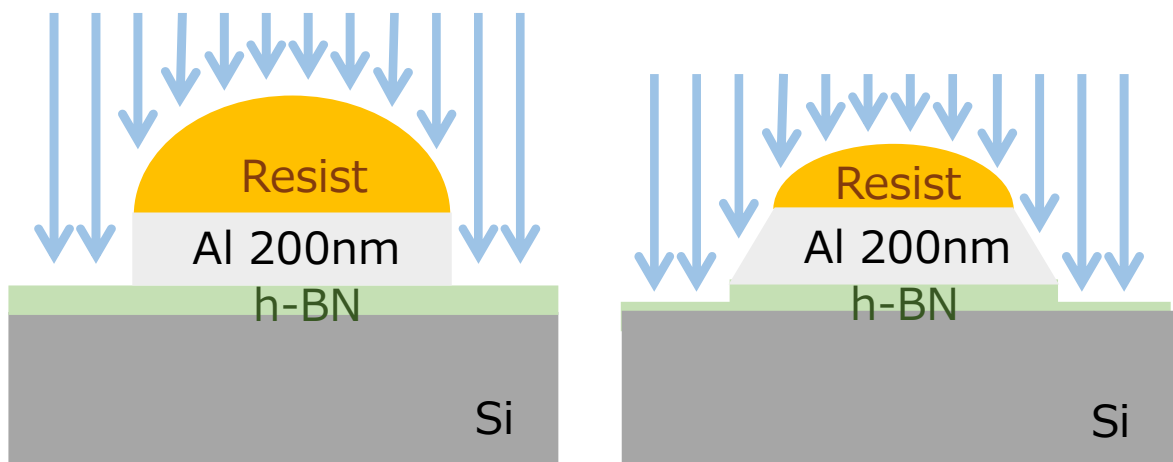


h-BNベタ膜
表面SEM像

3. 実証データ h-BNエッチング

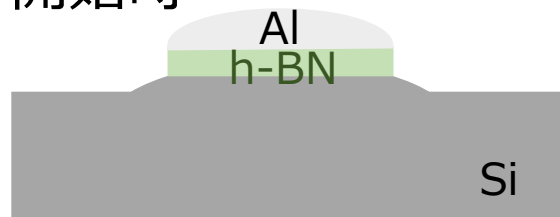
③ F₂+Heガス

- (a) エッチングが始まる
- (b) レジストの形状に沿ってAlマスクもエッチングされる
- (c) 設計していたパターンより少し狭いがAlマスクを残してパターンが形成
- (d) h-BNのみのパターンが得られる

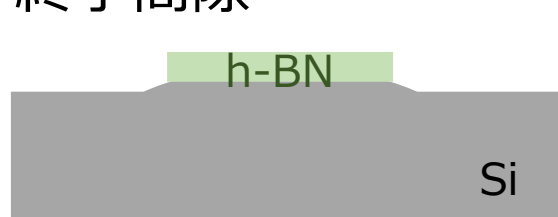


(a) F₂+Heエッチング
開始時

(b) F₂+Heエッチング
終了間際

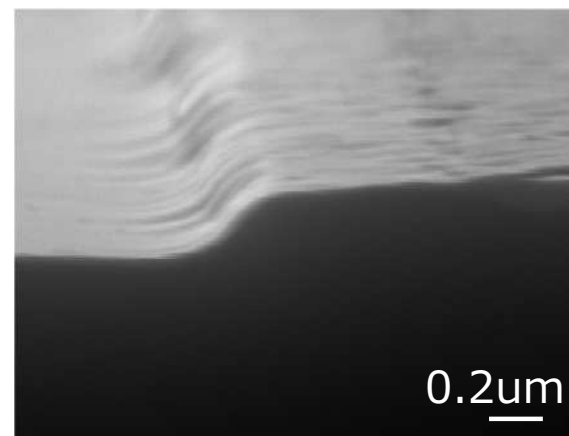
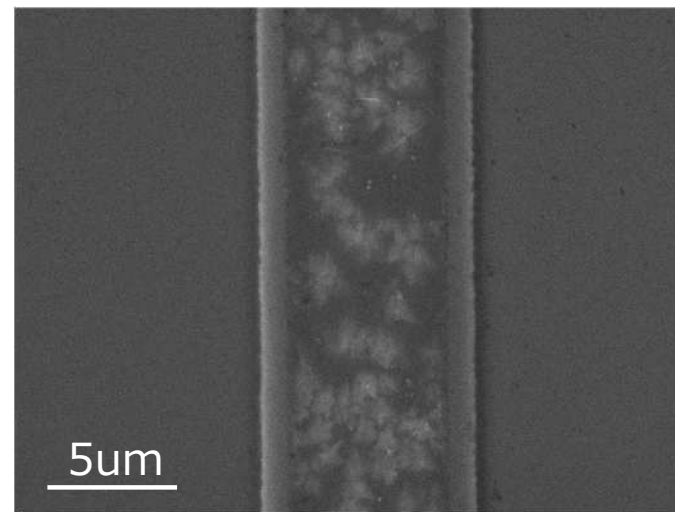


(c) レジスト剥離後



(d) Alマスク除去

F₂+Heガスによるエッチングの模式図



本日の流れ

1. 開発背景

社会的 position 電源の小型化

本発明の開発背景 h-BN

従来技術とその問題点

新技術の特徴・従来技術との比較

想定される用途

2. 実証方法

実証方法 試料準備 h-BN

実証方法 h-BNエッチング

3. 実証データ

h-BNエッチング

① CHF_3 ガス

② SF_6 ガス

③ $\text{F}_2 + \text{He}$ ガス

4. 応用例 トレンチ作製

5. まとめ

実用化に向けた課題

企業への期待

企業への貢献、PRポイント

本技術に関する知的財産権

産学連携の経歴

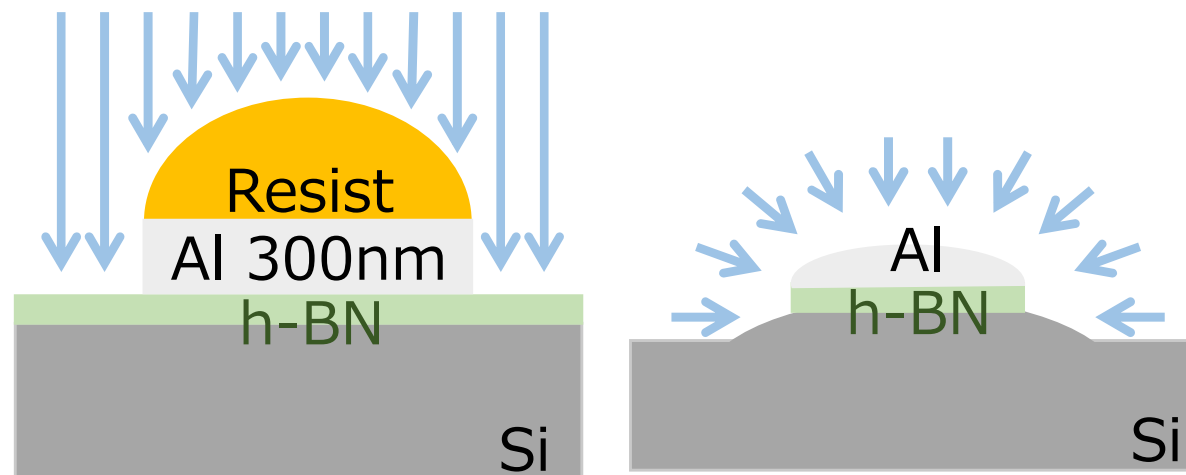
お問い合わせ先

4. 応用例 トレンチ作製

保護膜作製のプロセスを介在させていてもSF₆ガスにより急速にh-BN部分からサイドエッチングが進行する

D-RIE条件

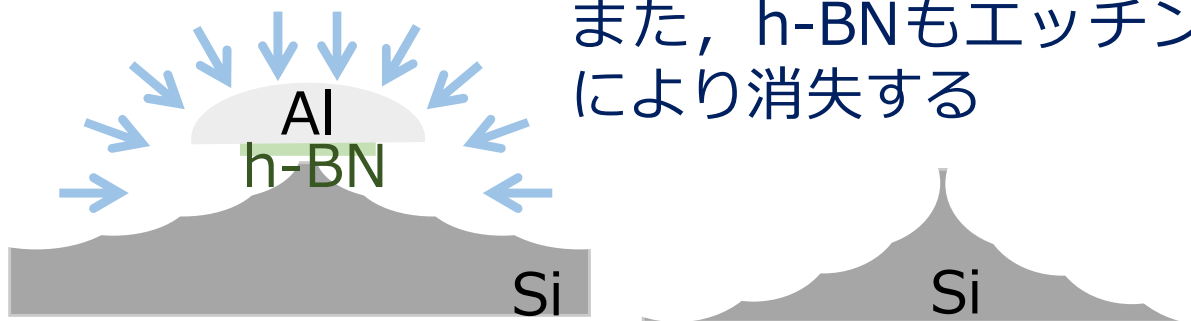
ループ回数	400			
Step	#1	#2	#3	#4
Time [s]	1	1	2	1
Bias [W]	20	20	200	200
ICP Power [W]	1500	1500	1500	1500
Press [Pa]	10	10	0	0
Pos [%]	100	100	100	100
SF ₆ [sccm]	0	400	400	400
C ₄ F ₈ [sccm]	300	300	0	300
O ₂ [sccm]	5	5	5	5



(a)F₂+Heエッチング開始時

(b)D-RIE開始時

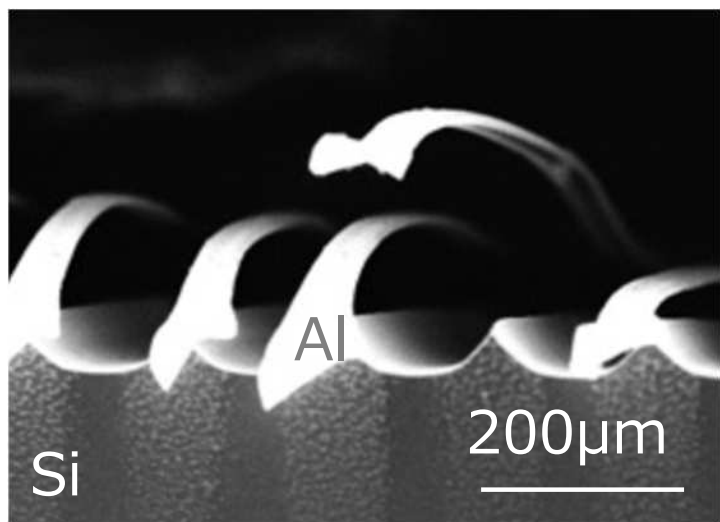
Alマスクを支持するSi部分が無くなりAlマスクが浮く。また、h-BNもエッチングにより消失する



(c)D-RIE中

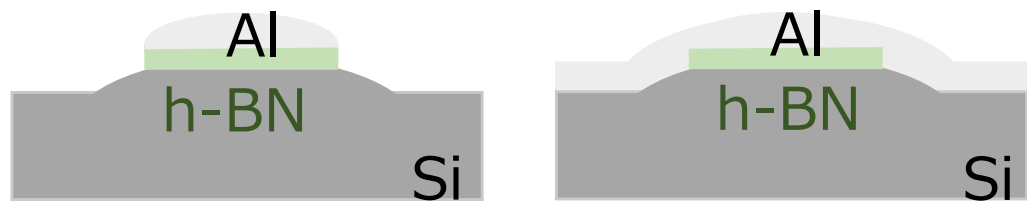
(d)D-RIE後

SF₆ガスによるエッチングの模式図



F₂+HeガスによるICP-RIE後にD-RIEを施しトレンチ作製

4. 応用例 トレンチ作製



(a) F₂+Heガスによる
h-BNパターニング後

(b) Al成膜



(c) リソグラフィ前

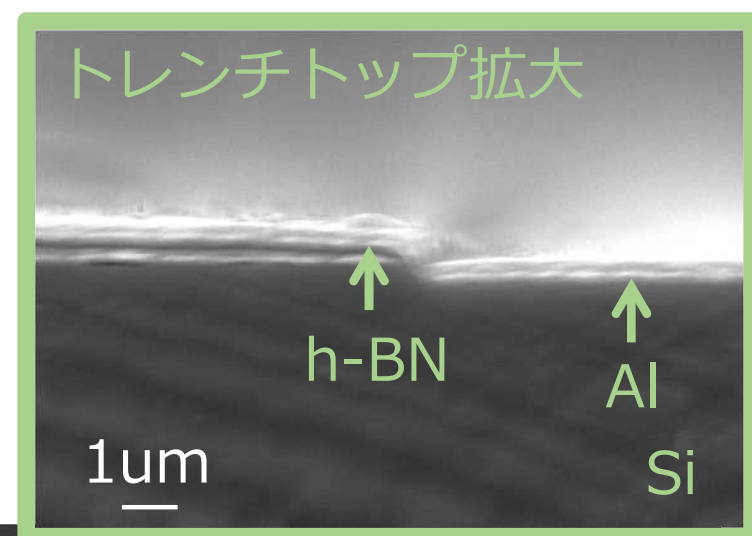
(d) リソグラフィ後



(e) Alドライ
エッチング後

(f) D-RIE後

トレンチ形成のためのプロセスフロー



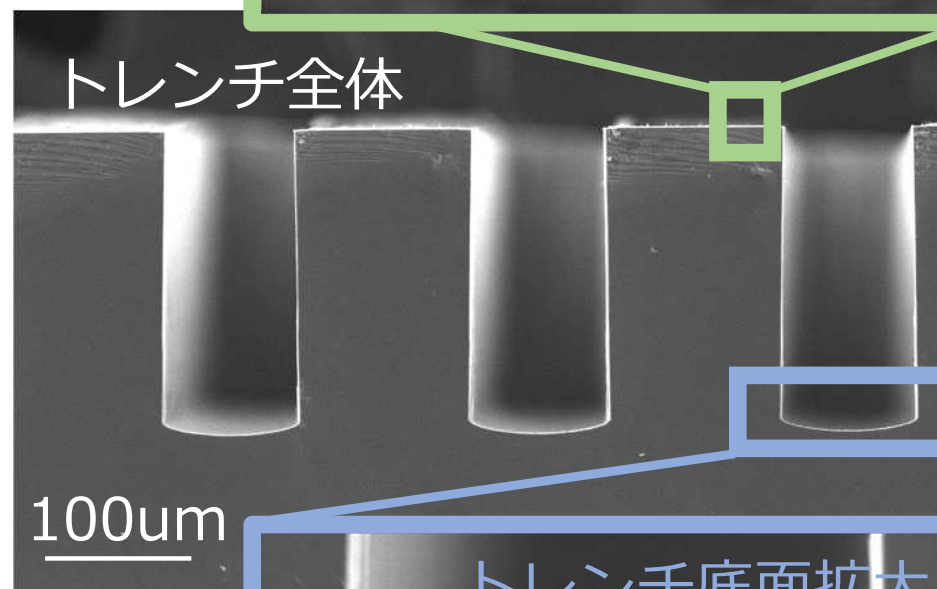
トレンチトップ拡大

↑
h-BN

↑
Al

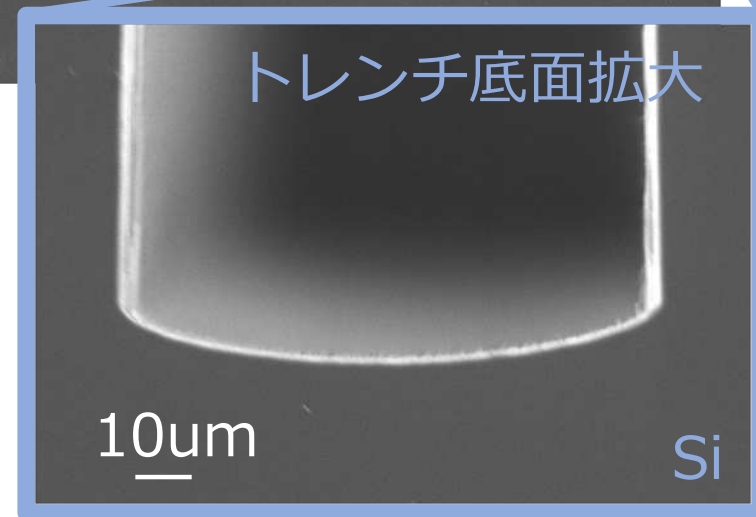
1um

Si



トレンチ全体

100um



トレンチ底面拡大

10um

Si

本日の流れ

1. 開発背景

社会的な位置付け 電源の小型化

本発明の開発背景 h-BN

従来技術とその問題点

新技術の特徴・従来技術との比較

想定される用途

2. 実証方法

実証方法 試料準備 h-BN

実証方法 h-BNエッチング

3. 実証データ

h-BNエッチング

① CHF_3 ガス

② SF_6 ガス

③ $\text{F}_2 + \text{He}$ ガス

4. 応用例 トレンチ作製

5. まとめ

実用化に向けた課題

企業への期待

企業への貢献、PRポイント

本技術に関する知的財産権

産学連携の経歴

お問い合わせ先

実用化に向けた課題

- 現在, F_2+He ガスで十分な六方晶窒化ホウ素 (h-BN) の加工精度が得られることを確認済み. しかし, F_2+He ガスはメジャーなガスでは無いため導入への壁は存在する.
- 今後, レジストとの選択比から生じるサイドからのエッチングの入り込みを可能な限り防ぐ方法の確立も必要.

企業への期待

- デバイス製造の技術を持ち、かつ、**プロセス技術の要素開発に興味のある企業**との共同研究を希望。
- **ダイヤモンドデバイスもしくは排熱を考慮したパワーデバイスを開発中の企業**には、本技術の導入が有効と思われる。

企業への貢献、PRポイント

- 本技術は**プロセス工程への組込が容易に可能**なため、極めて少ない労力で加工精度の向上に貢献できると考えている。
- 本格導入にあたっての技術指導, また, **F_2+He ガスの他材料のエッチングに関する情報**など提供可能。

本技術に関する知的財産権

発明の名称：エッチング方法および半導体装置

出願番号：特願2021-174857

出願人：国立大学法人九州工業大学

発明者：新海 聡子, 松本 聡

産学連携の経歴

- 2023年-現在 A社と共同研究実施（継続中）
化合物半導体に関する研究
- 2024年-現在 B社と共同研究実施（継続中）
要素技術に関する研究

お問い合わせ先

九州工業大学

イノベーション本部 産学イノベーションセンター
知的財産・技術移転推進部門

T E L : 093-884-3499

e-mail : chizai@jimu.kyutech.ac.jp

ご静聴ありがとうございました