

Poster presentation | 15 Crystal Engineering : 15.6 Group IV Compound Semiconductors (SiC)

📅 Wed. Sep 18, 2024 4:00 PM - 6:00 PM JST | Wed. Sep 18, 2024 7:00 AM - 9:00 AM UTC 🏛️ P11
(Exhibition Hall A)

[18p-P11-1~3] 15.6 Group IV Compound Semiconductors (SiC)

[18p-P11-1]

Temperature Dependence of Growth Rate of 4H-SiC by Multi-Wafer Close-Space Sublimation (MCSS) Method

○Mizuki Sato¹, Jun Kikuchi¹, Yuzuru Narita¹, Hiroyuki Nagasawa², Tetsuya Chiba³ (1.Yamagata Univ, 2.CUSIC, 3.DryChemicals)

[18p-P11-2]

Sublimation Characteristics of SiC Source by Multi-Wafer Close-Space Sublimation (MCSS) Method

○Jun Kikuchi¹, Mizuki Sato¹, Yuzuru Narita¹, Hiroyuki Nagasawa², Tetsuya Chiba³ (1.Yamagata Univ., 2.CUSIC, 3.DryChemicals)

[18p-P11-3]

A trial of optically detected magnetic resonance (ODMR) for interfacial single photon sources in 4H-SiC MOSFET

○(M2)Sosuke Horiuchi¹, Bunta Shimabukuro¹, Moriyoshi Haruyama², Toshiharu Makino², Hiromitsu Kato², Mitsuo Okamoto², Shinsuke Harada², Takahide Umeda¹ (1.Univ. of Tsukuba, 2.AIST.)

多枚数近接昇華 (MCSS) 法による 4H-SiC 成長速度の温度依存 Temperature Dependence of Growth Rate of 4H-SiC by Multi-Wafer Close-Space Sublimation (MCSS) Method

山形大工¹, CUSIC², ドライケミカルズ³, [○](M1)佐藤 瑞樹¹, 菊地 潤¹,

成田 克¹, 長澤 弘幸², 千葉 哲也³

Yamagata Univ.¹, CUSIC², DryChemicals³ [○]Mizuki Sato¹, Jun Kikuchi, Yuzuru Narita¹,

Hiroyuki Nagasawa², Tetsuya Chiba³

E-mail: narita@yz.yamagata-u.ac.jp

【背景】多枚数近接昇華 (MCSS) 法は等温下において原料基板 (Source) と種基板 (Seed) を対向させ、相対的に蒸気圧の高い Source から Seed 上へと物理的蒸気輸送 (PVT) を引き起こすことで結晶を成長させる方法で、同時に多枚数の Seed 上への結晶成長が可能である。我々は CVD 製多結晶 3C-SiC ウェハからなる Source と、4°オフ 4H-SiC(0001)ウェハの Seed を対向させることで、同時に 4 枚の Seed 上へのホモエピタキシャル成長を実現した[1,2]。この際の結晶成長速度は Seed-Source 間の蒸気圧勾配に支配される。そこで、Seed と Source それぞれの飽和蒸気圧を定める要因である温度に対する結晶成長速度の依存性を調べたので報告する。

【実験方法】飽和蒸気圧は結晶の極性や面方位にも依存するため、本研究では Source として(111)配向 CVD 製多結晶 3C-SiC と焼結により作製した無配向多結晶 6H-SiC の 2 種類を用いた。Seed は1°オフ 4H-SiC{0001}表面にあらかじめ Step-Alignment[®]を施して立方最密充填構造を露出させた。Source と Seed の設置は参考文献[2]と同様とし、対向する面極性の組み合わせを違えた 6 種類の Source-Seed 対に対して同時に MCSS 成長を施した。MCSS 成長は大気圧 Ar 雰囲気中にて、1950°C、2000°C、2050°Cのいずれかの所定の温度に 1 時間保持した。この際の Source と Seed の間隔は 600~700 μm である。成長した SiC の膜厚は加熱前後の Seed の重量変化から算出した。

【実験結果】無配向の多結晶 6H-SiC からなる Source に対向する Seed 表面では、その面極性に関係なく温度の上昇とともに成長速度は増加する。一方、極性面がある 3C-SiC を Source として使用した場合は Source-Seed 間の極性面の組み合わせによって異なる成長速度の温度依存性が認められる。Fig.1 には C 極性 3C-SiC からなる Source に対向する Seed 上における成長速度の温度依存を示す (成長速度がマイナスの領域は成長ではなく昇華を意味する)。この図は 1950°Cにおいて昇華を示す Seed の C 面が、温度上昇とともに成長に転ずることが分かる。一方で、Seed-Si 面ではすべての温度で SiC 成長が認められ、その成長速度は 2000°C以上で飽和傾向を示す。MCSS では Seed と Source 表面のそれぞれにおいて昇華と成長が同時に進行し、一定温度下において動的平衡を保つと考えられる。これに加え、Source-Seed 間の平衡蒸気圧とその組成は面極性の組み合わせによっても異なるため、成長速度と昇華速度は温度によって一義的に定まらないと考えられる。発表当日は、成長前後の表面形態を提示したうえで、昇華と成長特性について議論する。

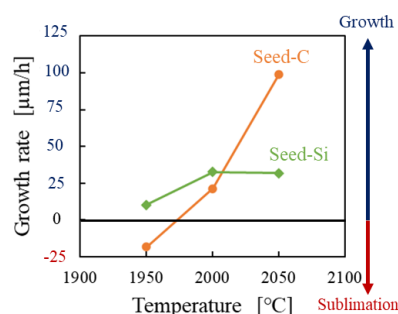


Fig. 1 Temperature dependence of the growth rate using C-face 3C-SiC as source.

【参考文献】 [1] 長澤弘幸, 日本国特許, 第 6720436 号

[2] 長澤弘幸, 成田克, 千葉哲也, 応用物理学会第 70 回春季学術講演会, 15p-A301-12.

多枚数近接昇華 (MCSS) 法での SiC 原料の昇華特性

Sublimation Characteristics of SiC Source by Multi-Wafer Close-Space Sublimation (MCSS) Method

山形大工¹, CUSIC², ドライケミカルズ³ ○(M1)菊地 潤¹, 佐藤 瑞樹¹, 成田 克¹,
長澤 弘幸², 千葉 哲也³

Yamagata Univ.¹, CUSIC², DryChemicals³ ○Jun Kikuchi¹, Mizuki Sato¹, Yuzuru Narita¹,
Hiroyuki Nagasawa², Tetsuya Chiba³

E-mail: narita@yz.yamagata-u.ac.jp

【研究背景】多枚数近接昇華 (MCSS) 法は等温下において相対的に飽和蒸気圧の高い原料基板 (Source) から飽和蒸気圧の低い種基板 (Seed) への物理的蒸気輸送 (PVT) を活用して結晶を成長させる技術であり, SiC のバルク結晶成長法として知られる改良 Lely 法のような温度勾配を必要としない。このため, 同時に複数の Source-Seed 対を用いて SiC 結晶を成長することが可能であり [1,2], あえて結晶成長速度を高めてインゴットを製造する必要がない。ただし, PVT による原料分子の輸送量は気相中における蒸気圧勾配に依存し, かつ Seed (または Source) 表面における平衡蒸気圧は対向する Source (または Seed) 表面の飽和蒸気圧の影響を受ける。すなわち, MCSS による SiC 結晶成長を制御しその再現性や均一性を高めるためには, Seed 上における結晶成長速度のみならず, Source の昇華特性も把握する必要がある。そこで, 本研究では対となる Seed と Source 双方の面極性の組み合わせを変えつつ, Source の昇華特性を把握した。

【実験方法】本研究では極性面 (Si 面または C 面) が露出する Source として (111) 配向 CVD 製多結晶 3C-SiC 基板と, これら極性面との比較として焼結製の無配向多結晶 6H-SiC 表面が露出する Source も用いた。3 種類の Source 表面に 600~700 μm の距離を隔てて対向する Seed として 4H-SiC (0001) Si 面, ならびに (000-1) C 面の 2 種類を用いた。異なる表面の組み合わせからなる 6 種類の Source-Seed 対 (Source-C 面/Seed-C 面, Source-C 面/Seed-Si 面, Source-Si 面/Seed-C 面, Source-Si 面/Seed-Si 面, Source-無配向面/Seed-Si 面, Source-無配向面/Seed-C 面) を参考文献 [2] と同様にカーボン製のつばに載置し, 大気圧 Ar 雰囲気下の誘導加熱装置を用いて加熱した。ただし, 昇華特性の温度依存性を調べるため, 1 時間の保持温度は 1950°C, 2000°C, 2050°C とした。昇華した SiC の膜厚は加熱前後の Source の重量変化から算出した。

【実験結果】Fig.1 には極性面からなる Source の昇華速度の温度依存性を示す。図中の●が Source-C 面/Seed-C 面, ○が Source-C 面/Seed-Si 面, ▲が Source-Si 面/Seed-C 面, △が Source-Si 面/Seed-Si 面の Source-Seed 対における Source の昇華速度である。本実験条件の範囲ではすべての Source において昇華が認められる。特に昇華速度が高い Source-Seed 対は Source-C 面/Seed-C 面で, 次いで Source-C 面/Seed-Si 面, Source-Si 面/Seed-C 面, そして Source-Si 面/Seed-Si 面の順であることから, Source (3C-SiC) の飽和蒸気圧は C 面が Si 面を上回り, これが Seed 上における SiC 成長速度の向上をもたらすと期待できる。一方, Source-無配向面は Source-C 面よりもさらに高い昇華速度を示す。発表当日は, 昇華前後の Source 表面 SEM 像などの結果も参照し, SiC の昇華過程について詳述する。

【参考文献】 [1] 長澤弘幸, 日本国特許, 第 6720436 号. [2] 長澤弘幸, 成田克, 千葉哲也, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 15p-A301-12.

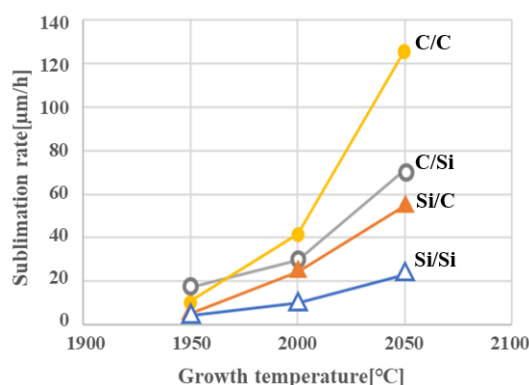


Fig. 1 Temperature dependence of the sublimation rate on 3C-SiC source.

4H-SiC MOSFET の界面単一光子源に対する光検出磁気共鳴(ODMR)の試み A trial of optically detected magnetic resonance (ODMR) for interfacial single photon sources in 4H-SiC MOSFET

筑波大学¹, 産総研², [○]堀内颯介¹, 島袋聞多¹,

春山盛善², 牧野俊晴², 加藤宙光², 岡本光央², 原田信介², 梅田享英¹

Univ. of Tsukuba¹, AIST.², [○]S. Horiuchi¹, B. Shimabukuro¹,

M. Haruyama², T. Makino², H. Kato², M. Okamoto², S. Harada², T. Umeda¹,

E-mail: s2320301@u.tsukuba.ac.jp

【研究背景】 共焦点レーザー走査型蛍光顕微鏡(CFM)を使った単一光子源(SPS)の研究が炭化ケイ素(4H-SiC)においても盛んに行われている。SiC では、表面酸化[1,2]あるいは MOS(Metal Oxide Semiconductor)界面[3,4]に界面欠陥による SPS (界面 SPS) の存在が報告され注目を集めている。しかし、界面 SPS がスピン欠陥かどうか(電子スピンをもつか)は明らかになっておらず、スピンをもつことを証明するための光検出磁気共鳴(ODMR)実験に成功した例はまだない。私達の研究室ではC面ウェット酸化の4H-SiC MOSFET (Field Effect Transistor)のチャネル領域に、ダイヤモンド NV センターよりも室温輝度が高い界面 SPS が発生することを報告している[3]。また、この界面にスピン1の界面欠陥(P8 センター、ゼロ磁場分裂 1.2—1.4GHz)が発生することを報告している[5]。本研究ではC面ウェット酸化界面において界面 SPS に対する ODMR 実験を試みた。

【実験内容・結果】 試料は産総研製の *n* チャネル横型 C 面ウェット酸化 4H-SiC MOSFET (最大電界効果移動度: $90\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{S}^{-1}$) を使用した。チャネル上には、フォトリソグラフィーで ITO(Indium Tin Oxide)製の光学窓を作りこんだ(図 1(a))。ODMR 用のマイクロ波ワイヤー (Au ワイヤー) は図 1(a)のような配置で光学窓上に設置した。さらに、MOSFET の各電極にもワイヤーボンディングを施し、電圧・電流印加下で実験ができるようにした。CFM ならびに ODMR 実験は、ダイヤモンド NV センター用に最適化された産総研の室温 CFM 装置を使用した。この装置では NV センターを約 70kcounts/s の輝度で検出することができる。光学窓付き 4H-SiC MOSFET のチャネル領域で観察した界面 SPS の CFM 画像を図 1(b)に示す。本発表では ODMR 実験のための測定試料の作りこみをはじめ、図 1(b)の界面 SPS に対する ODMR について報告する。

[1] A. Lohrmann *et al.*, Nat. Commun. **6**, 7783(2015). [2] Y. Hijikata *et al.*, J. Phys. Commun. **2**, 111003(2018). [3] Y. Abe *et al.*, App Phys Lett. **112**, 031105 (2018). [4] T. Nakanuma *et al.*, App. Phys. Lett. **123**, 102102 (2023). [5] T. Umeda *et al.*, App Phys Lett. **115**, 151602(2019).

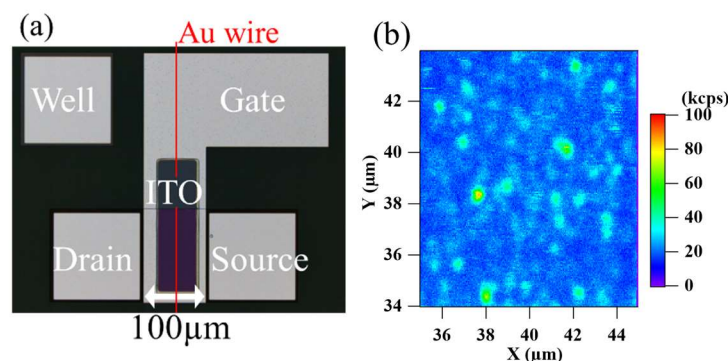


Fig.1. (a) SiC MOSFET with optical window for ODMR measurement (b)CFM image in channel region of Optical window