

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2020～2021

課題番号：20K21142

研究課題名(和文)シリコン酸化膜に覆われたゲルマネンを用いた超高速エレクトロニクスの開発

研究課題名(英文)Formation of Ge two-dimensional crystals embedded into Si oxide and its device application

研究代表者

大田 晃生(Ohta, Akio)

名古屋大学・工学研究科・助教

研究者番号：10553620

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,000,000円

研究成果の概要(和文)：ゲルマネンなどGe原子の二次元結晶において、酸化等の化学反応による消失を抑制するために、Ge原子の偏析や析出を利用して、絶縁膜で覆われた状態で形成することに注力して研究を推進した。金属中のGeの固溶と偏析を利用した形成方法の理解を深めるために、これまで実績のあるAgだけでなく、酸化物が良好な絶縁膜となるAlを用いた。そこで、AgおよびAl/Geの熱処理による極薄 Ge 膜の膜厚制御や基板面方位の影響を評価した。また、Al/Ge(111)構造では、Al堆積時の基板加熱がAl薄膜の平坦性や結晶性の向上に与える影響を調べ、平坦な試料を支持基板となるSiO₂/Si構造へ転写することに取り組んだ。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ゲルマニウムの二次元結晶であるゲルマネンは、高い電子移動度や強いスピン軌道相互作用などグラフェンにも劣らない魅力的な電子物性が理論予測されている。その優れた電子物性を引き出すにはSiO₂などの絶縁膜で覆われた構造が望まれている。本研究では金属/Ge上のGe偏析によるGe極薄結晶や二次元結晶に関する知見を深め、金属にAlを用いた場合はAl酸化物とAl界面にGeが偏析することを明らかにした。また、Al/GeをSiO₂/Si構造への転写技術できることも明らかにし、デバイス応用に向けた有意義な知見が得られたと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Formation of Ge two-dimensional (2D) crystals such as germanene covered with insulators by using Ge segregation from metal/Ge stack has been studied in order to suppress its disappearance due to the chemical reactions such as oxidation during air exposure. Ag and Al layer was formed on Ge substrate from the viewpoints of its chemical natures such as eutectic reaction with Ge and crystallographic structures. To gain a better understanding of the ultra thin Ge layer formation, Ge segregation on Ag and Al/Ge by annealing was compared, and surface flattening of the samples with different Ge substrate orientation was investigated. Moreover, an impact of the substrate heating during Al evaporation on the surface flattening and crystallographic structure of Al/Ge(111) structure have been also evaluated. In addition, we have studied the plasma activation bonding of the Al/Ge(111) structure to thermally-grown SiO₂/Si substrate.

研究分野：半導体工学

キーワード：ゲルマニウム 二次元結晶 化学構造 拡散・偏析 共晶反応

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ゲルマニウム(Ge)原子の二次元結晶であるゲルマネンは、グラフェンと同様な蜂の巣状の原子配列を有し、グラフェンよりもスピン軌道相互作用が大きく、その構造的な特徴のために、高いキャリア移動度を有することに加えて、電界印加によるバンドギャップの制御やトポロジカル絶縁体など興味深い電子物性を示すことが理論予測されている。しかし、グラフェンやMoS₂などとは異なり、原子層レベルで機械的に剥離できるGeの層状物質が天然に安定な状態で存在しないために、Au(111)、Pt(111)、Cu(111)、Al(111)などの清浄化した金属表面上へのGe蒸着による二次元結晶形成が取り組まれている。しかし、導電性の高い金属上に形成したゲルマネンでは、下地金属との強い相互作用により本来持つべき電子物性が発現されない。加えて、グラフェンとは異なり、大気暴露や化学薬品浸漬等による酸化で消失することが懸念され、そのデバイス作成は困難を極める。これまでに、我々はGeと共晶反応を示すAgとの積層したAg/Ge構造において、熱処理によるAg表面へのGe偏析を利用して、二次元結晶の形成に取り組んできた。化学溶液洗浄したGe(111)上に、真空蒸着によりAg(111)薄層をヘテロエピタキシャル成長でき、これを窒素雰囲気中熱処理(大気圧、450°C)することで、表面平坦化が進行しAg(111)の面心立方格子(fcc)を反映した特徴的な三重回転対称構造が形成する。表面平坦化と同時に、Ag(111)表面にGe原子が偏析し、2原子層の極薄Ge結晶を形成できることを透過電子顕微鏡(TEM)分析より明らかにした。さらに、Ag(111)/Ge(111)構造をAr⁺イオンスパッタによる表面清浄化と超高真空中で熱処理した場合においても、走査型トンネル顕微鏡(STM)観察により原子レベルで平坦なテラスが広域で形成されており、Ge原子がAg(111)にゲルマネンを形成できることを見出した。上記の経験などを通して、ゲルマネンをはじめとするGe二次元結晶がむき出しとなる形成方法よりも、Ge原子の析出を巧みに制御し、SiO₂などの絶縁膜で覆われた二次元結晶を形成することに着想した。

2. 研究の目的

本研究では、ゲルマネンなどGe原子の二次元結晶において、大気暴露やデバイスプロセスの過程で生じる酸化などの化学反応による消失を抑制するために、Ge原子の偏析や析出を利用して、絶縁膜で覆われたゲルマニウム二次元結晶の形成に取り組んだ。金属薄膜中のGe原子の固溶と偏析を利用した極薄結晶や二次元結晶の形成に対する知見を深めるために、Agに加えて、Agと格子定数(Ag: 0.409nm, Al: 0.405nm)が同等のfcc構造でGeとも共晶反応を示すAlを、結晶成長のテンプレートとして用いた。Al酸化物は良好な絶縁膜となるので、Agよりも絶縁膜で覆われた構造を作成し易いと考えた。そこで、金属(AgおよびAl)/Ge(111)の熱処理による極薄Ge膜の膜厚制御や、基板面方位が表面平坦性や安定性に与える影響を評価した。また、Al/Ge(111)構造では、Al堆積時の基板加熱がAl薄膜の平坦性や結晶性の向上に与える影響を調べ、平坦なAl/Ge(111)構造を支持基板となるSiO₂/Si構造への転写技術の確立を目指した。

3. 研究の方法

p型Ge(111)もしくはGe(100)基板を化学溶液洗浄および真空中熱処理により、表面清浄化を行った。表面清浄化したGe基板上に、抵抗加熱真空蒸着により、AlもしくはAg薄膜を堆積した。一部、平坦性の向上のため、基板加熱してAl堆積した試料も作成した。その後、Ag/Ge(111)構造は、希釈HF溶液によりAg表面を洗浄し、大気圧の窒素雰囲気中で熱処理を行った。また、Al/Ge(111)構造は、大気圧の窒素雰囲気中で熱処理に加えて、一部はAl表面の自然酸化を防ぐために、大気暴露せずに真空中(到達真空度: $\sim 1.5 \times 10^{-4}$ Pa)で熱処理し、極薄Ge形成を促進した。

作成した試料の表面形状は、Siカンチレバーを使用した原子間力顕微鏡(AFM)のタッピングモードで測定した。Al薄膜の結晶性や化学構造を、Ge(220)チャンネルカットによる単色化CuK α 特性X線を用いたX線回折(XRD)の θ -2 θ スキャンもしくはTEMより評価した。熱処理前後の化学結合状態を、X線光電子分光(XPS)により分析した。熱処理による極薄Ge形成を理解するために、到達真空度が 10^{-8} Pa以下の環境で、昇温脱離ガス(TDS)分析を行った。

4. 研究成果

・基板面方位が異なるAg/Ge(100)およびAg/Ge(111)の熱処理による表面平坦化

厚さ ~ 100 nmのAg/Ge(100)構造において、300°Cから450°Cの温度範囲で熱処理した試料のAFM表面形状像を図1に示す。

各AFM像は、Ge基板のへき開面が水平方向に対して約45度に試料を配置して、測定を行った。熱処理前の試料では凹凸が認められており、その表面粗さはRMS値で ~ 1.0 nmであった。300°Cで熱処理することで、非常に平坦な表面が得られ、そのRMS値は ~ 0.5 nmまで減少する。また、試料表面の結晶構造に由来する四重回転対称構造が、Ge基板のへき開面

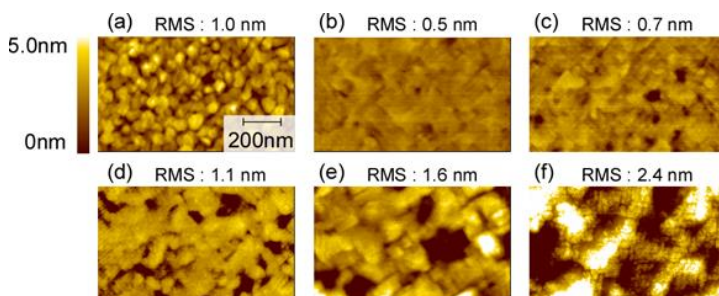


図1. 2時間の熱処理前後のAg/Ge(100)のAFM像((a)熱処理前、(b)300°C、(c)325°C、(d)350°C、(e)400°C、(f)450°C)。

にほぼ平行もしくは垂直の方向に観察された。さらに、熱処理温度が上昇すると伴に、表面荒れが進行する。これらの結果より、Ag-Ge系の共晶温度(651°C)よりも低い熱処理温度でも、Ag原子の表面マイグレーションが進行することが分かった。同様な熱処理による試料表面の平坦化は、図2に示す厚さ~100nmのAg/Ge(111)構造のAFM像においても観測された。熱処理前のAg/Ge(111)構造では、Ge(100)の場合と同様に表面が荒れており、RMS値は~1.3 nmであった。450°Cで熱処理を行うことで、非常に平坦な表面が形成するとともに三重回転対称な構造が観測された。これらの特徴的な構造は、主にAg(100)およびAg(111)表面の面心立方格子の原子配置を反映していると解釈できる。さらに、Ag表面に極薄Ge膜が偏析することを考慮すると、基板面方位により表面偏析する極薄Ge膜の結晶構造を制御できると考えられる。図3に、各試料のAFM像から見積もった表面粗さのRMS値を熱処理温度に対してまとめた。Ag/Ge(111)構造の表面平坦化には、Ag/Ge(100)構造の場合に比べて、~150°Cほど高い熱処理温度が必要である。熱処理による表面平坦化の基板面方位依存性が生じる要因として、Ag表面の原子密度もしくは表面エネルギーが考えられる。さらに、試料の表面の粗さは、熱処理温度だけでなく熱処理時間によっても変化することから、熱処理条件に対して敏感であることが分かる。また、表面の安定性を調べるために、Ag/Ge(111)構造において、室温で~10 Paの真空デシケーターに保管し、表面形状の保存時間依存性を調べた(図4)。熱処理前の試料では、そのRMS値は~1.3 nmから~3.8 nmまで保管時間が~450時間までほぼ直線的に変化し、飽和する。一方、450°Cの熱処理により表面平坦化が促進した試料では、表面形状の時間変化は観測されず、821時間の保管後でもRMS値は~0.5 nmであり、試料表面に三重回転対称な構造が明確に観察された。したがって、熱処理による表面平坦化は、その安定性の向上にもつながることが分かる。

・ Ag および Al/Ge(111)の Ge 表面偏析と膜厚制御

金属薄膜中のGe原子の固溶と偏析を利用した極薄結晶や二次元結晶の形成に対する知見を深めるために、Al/Ge(111)とAg/Ge(111)で表面偏析したGeの厚さを比べることで、金属薄膜/Ge(111)の熱処理による極薄Ge膜の膜厚制御や形成過程を調べた。図5にXPSの内殻光電子信号の強度より、おおまかに見積もったAl表面に析出した極薄Ge膜の平均膜厚を、熱処理温度および時間に対してまとめた結果を示す。Al/Ge(111)構造では、熱処理温度が200°Cから400°Cに上昇すると、極薄Ge膜の平均厚さは~0.2 nmから~0.4 nmにわずかに増大する。また、300°Cで熱処理した場合、時間に関わらずその厚さにほぼ一定である。さらに、Ag/Ge(111)構造の窒素雰囲気中熱処理により形成する極薄Ge膜の膜厚も図中に示す。厚さ~80 nmのAg(111)/Ge(111)構造において、120分熱処理した場合、極薄Ge膜の厚さは400°Cの熱処理で~0.6 nmあり、500°Cでは~1.2 nmまで増大する。また、450°Cの熱処理では、60分以上の時間に対して極薄Ge膜の厚さは飽和し、顕著な時間依存性が認められない。したがって、AlとAgのどちらの金属を用いた場合においても、金属表面に形成する極薄Ge膜をサブナノメートルの精度で調整するためには、熱処理時間よりも温度の制御が重要であることが分かった。また、熱処理時間依存性では、膜成長が時間に依存しないために、Ge原子が金属薄膜を介して表面に到達する単純な拡散現象のみで説明することは容易ではない。拡散が支配的であると仮定すると、GeO₂/Ge界面やGeO₂/金属界面で観測されている様に、表面に拡散したGeの一部がGeOとして熱脱離する可能性も考えられる。そこで、熱処理中の化学構造変化の知見を得るために、TDS分析を行った(図6)。測定装置への搬送の際に、上に形成された極薄Ge膜の平均膜厚の(a)熱処理温度依存性および(b)熱処理時間依存性。

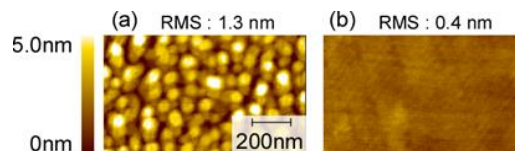


図2. 2時間の熱処理前後のAg/Ge(111)構造のAFM像((a)熱処理前、(b)450°C)。

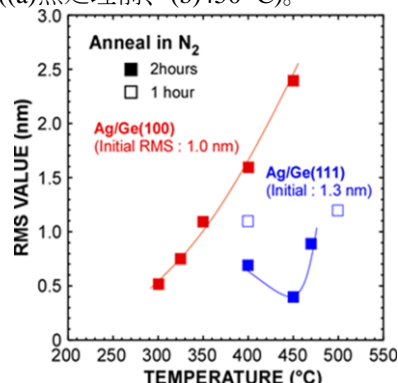


図3. Ag/Ge(100)およびAg/Ge(111)のRMS値の熱処理温度依存性。

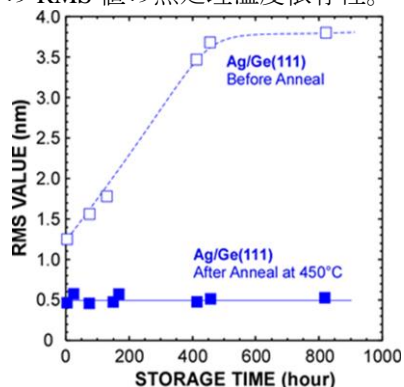


図4. 平坦化前後のAg/Ge(111)のRMS値の保管時間依存性。

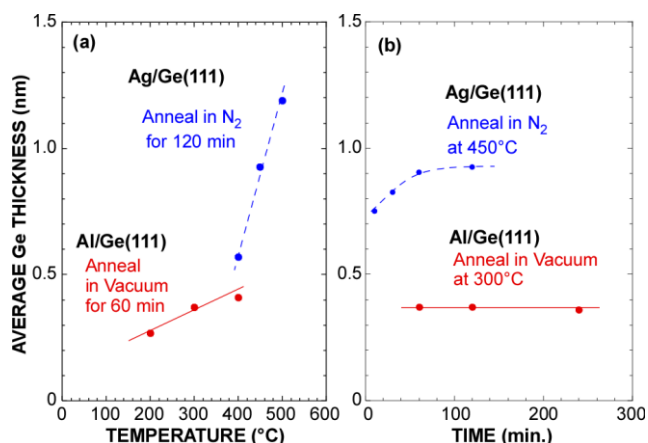


図5. 熱処理によってAl/Ge(111)およびAg/Ge(111)構造の極薄Ge膜の平均膜厚の(a)熱処理温度依存性および(b)熱処理時間依存性。

に Al/Ge(111)構造では表面酸化していると予測される。Al/Ge(111)構造において、試料表面の吸着水(H₂O)の脱離が~80 °C で生じ、さらに高温の~330 °C 付近で Al 薄膜の再構成による H₂ および H₂O 信号の急激な変化が観測された。注目すべきは、600°C 程度の温度においても、GeO 脱離は認められない。また、Ag/Ge(111)構造でも、H₂ や H₂O の熱脱離は生じるものの、GeO 脱離は検出されない。したがって、XPS と TDS の結果を踏まえると、Al および Ag のどちらにおいても、熱処理中に試料表面到達した Ge 原子が、全て連続して表面析出しているとは考え難い。Ag 中の Ge 原子の固溶度は 270°C で 1.5at.%、370°C で 3.7at.%、Al 中の Ge 原子の固溶度は 205°C で~0.1at.%、310°C で~0.8at.%、395°C で 1.5~2.0at.% であり、温度と共に徐々に増大する。この傾向は、図 5 に示す熱処理温度と共に極薄 Ge 膜が増大する傾向と一致することから、試料を室温まで冷ます際に、金属膜中の Ge 原子の固溶度が低下し、表面側に偏析したことが一つの要因として挙げられる。また、200°C では Al 中の Ge 固溶度が~0.1at.% と非常に小さいにも関わらず、極薄 Ge 膜が形成した。このことを踏まえると、温度による固溶度の変化だけでなく、一部は結晶粒界などを介した局所的な拡散も極薄 Ge 形成に寄与することが示唆される。

また、Ge 薄膜の膜厚制御に関して、第一原理計算手法を用いて、Ge 薄膜の電子状態をトポロジカルな性質に着目して解析した。Ge(111)薄膜結晶のスラブモデルを作成し、トポロジカル不変量が膜厚に対してどのように変化するかを第一原理計算により求めた。偶数層の薄膜モデルでは通常の半導体であったが、奇数層の薄膜モデルではトポロジカル相が現れた。Ge(111)の 1 バイレイヤーはよく知られたトポロジカル絶縁体である。このことから、Ge(111)薄膜の層間結合は強固であるにもかかわらず、トポロジカルな性質を変えるようなものではないと言える。以上から、Ge(111)薄膜を絶縁膜の間に作成できれば、トポロジカル電子物性を利用したデバイスが作製できる見込みがあることが示唆された。

・基板加熱による Al/Ge(111)の結晶性・平坦性の制御と熱処理による Ge 表面偏析

Ge(111)上の Al 堆積時の基板加熱が Al 薄膜の平坦性や結晶性の向上に与える影響を調べた。Ge(111)上に室温もしくは基板加熱して厚さ~25nm の Al 薄膜を堆積した試料の AFM 表面形状像を図 7 に示す。室温の Al 堆積では、表面に微小の凹凸が認められるが、100°C の基板加熱では、表面平坦化が進行する。200°C まで基板加熱すると、2 nm 以上の大きな高低差を有する表面荒れが生じる。

これらは Al 原子の表面マイグレーションが促進した結果と考えられ、基板加熱が表面平坦化に有効であることが分かった。さらに、熱的安定性を調べると共に Ge 表面偏析を促進させるために窒素雰囲気中熱処理を行った(図 8)。室温および 100°C で基板加熱した試料のどちらも、300°C で熱処理しても表面形状に大きな変化は認められない。さらに、400°C で熱処理した場合には、わずかに表面荒れが生じる。Al 堆積時の基板加熱が 200°C の場合に、大きな表面荒れが生じたことを考慮すると、大気暴露により表面酸化膜が形成し、その安定性が向上したと考えられる。したがって、Al 堆積時の表面平坦性の制御が重要であることが分かった。

Al 薄膜は Ge 原子が表面偏析する際のテンプレートとなるために、表面平坦性だけでなく、その結晶性も重要となる。図 9 に示す XRD パターンより Ge(111)基板上に蒸着した厚さ~25 nm の Al 薄膜の結晶性を調べた。室温で Al 薄膜を堆積した場合、Ge(111)基板に加えて Al(111)に相当するピークが、それぞれ 27.3° および 38.6° に観測される。100 °C で基板加熱することにより、Al(111)の強度が増大する。これらのことから、Ge(111)基板上では Al(111)が優先的に配向し、基板加熱によりその結晶性が向上したことが示唆される。100 °C の基板加熱で形成した Al/Ge(111)構造を、窒素雰囲気中熱処理することで、Al(111)信号の強度は増大

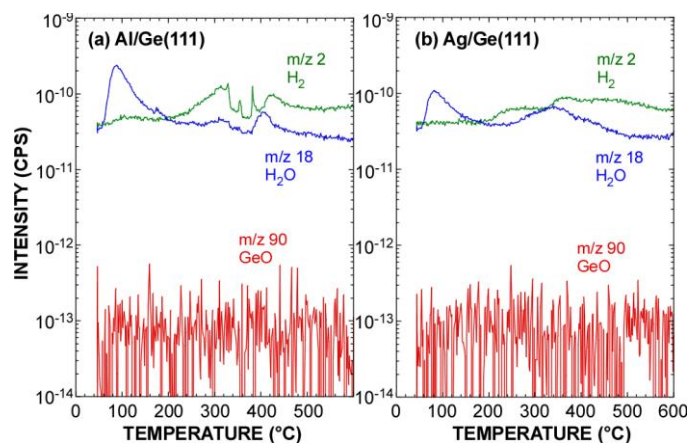


図 6. (a)厚さ~30 nm の Al/Ge(111)基板および(b)厚さ~100 nm Ag/Ge(111)基板の TDS スペクトル。

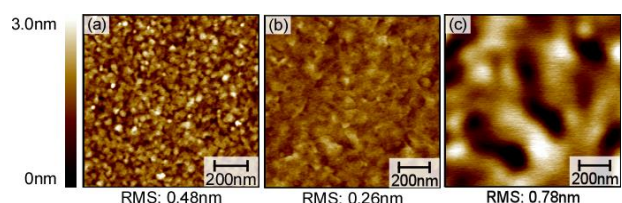


図 7. Ge(111) 上に厚さ 25nm の Al を(a)室温、(b) 100 °C、(c) 200 °C で堆積した試料の AFM 像。

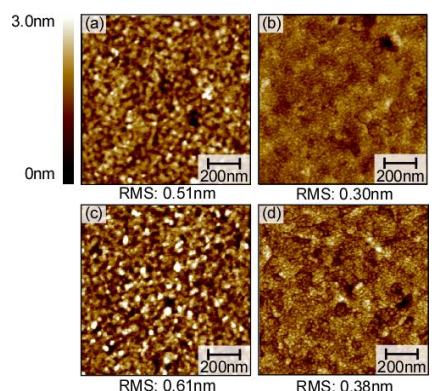


図 8. (a, b)300°C および(c, d)400°C で熱処理した厚さ 25nm の Al/Ge(111) の AFM 像。Al は、(a, c)室温および (b, d) 100 °C で堆積した。

する。また、熱処理後も、Ge(111)およびAl(111)以外の信号は認められない。

試料の結晶構造について Al/Ge(111)の ACOM (Automated Crystal Orientation Mapping)-TEM 分析を行った。図 10 に、100°C で基板加熱して Al 蒸着した試料の明視野 STEM 像および IQ (Image quality) マップと結晶方位を示す逆極点 (Inverse Pole Figure :IPF) マップを示す。Al 薄膜に結晶粒界が認められるものの、IPF マップでは面内および面直方向のどちらにおいても、Al 薄膜は Ge(111)基板と同じ結晶方位で成長しているもの

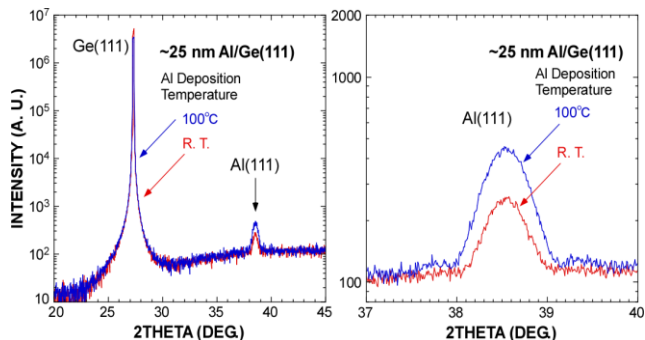


図 9. 室温および 100 °C で堆積した厚さ 25nm の Al/Ge(111)の XRD θ -2 θ パターン。

の、一部で小傾角粒界が存在することが示唆される。特に、二次元結晶形成のテンプレートとなる面直方向に対しては、Al(111)が形成する。また、別途測定した熱処理前後の明視野 STEM 像において、熱処理前では Al 薄膜に小傾角粒界が認められるもの

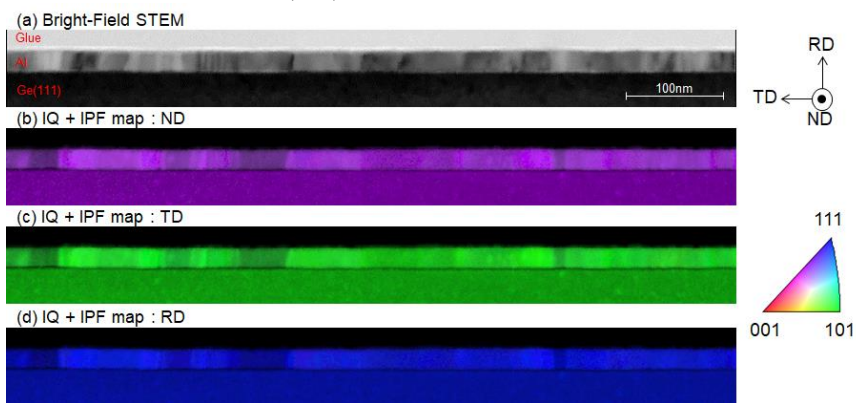


図 10 100 °C で堆積した厚さ 25nm の Al/Ge(111)の(a)明視野 STEM 像および (b-d) IQ + IPF マップ ((b) ND : Normal Direction, (c) TD : Transversal Direction, (d) RD : Rolling Direction)

の、窒素雰囲気中熱処理により結晶粒の大きさが増大することも確認している。熱処理前後の厚さ ~25nm の Al/Ge(111) 構造の化学構造や結晶構造を調べるため、断面 STEM 観察と EDX マップを測定した(図 11)。観察断面は Ge 基板の(1-10)である。熱処理前の試料の HAADF-STEM 像では、原子番号の約 2 乗に比例したコントラストが得られる。Ge(111)基板に対応する部分だけでなく、Al 表面付近にも偏析した Ge 層に相当するコントラストが検出される。同様に、Ge K 線 EDX マップにおいても、Al 膜より表面側に Ge 偏析に相当するコントラストが層状に認められる。これに加えて、Al K 線と O K 線の EDX マップより、試料最表面に Al 酸化物が形成されることが分かる。

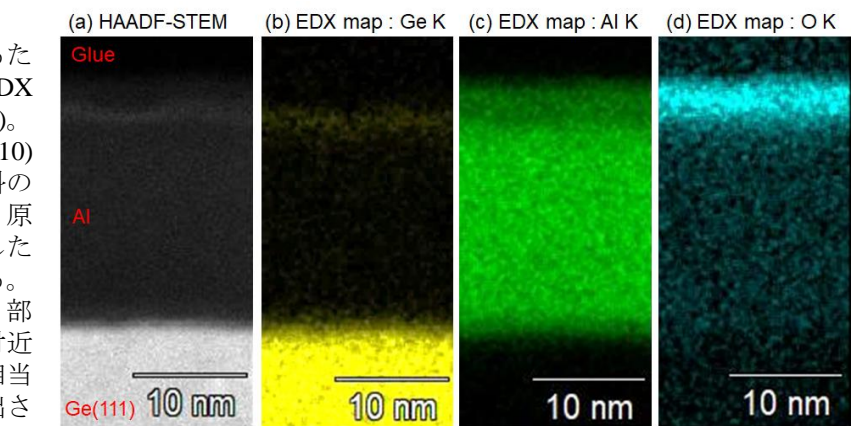


図 11 300°C で熱処理した Al/Ge(111)の(a)HAADF-STEM 像および (b-d) EDX マップ ((b) Ge K, (c) Al K, (d) O K)

さらに、Al/Ge(111)構造において、試料表面に酸素プラズマを施して表面を活性化した後、熱酸化SiO₂/Si構造を支持基板として、表面同士を密着することで、両者を張り合わせできた。その後、張り合わせた試料を熱処理することで密着性を向上させた後、化学機械研磨(CMP)によりGe(111)基板の厚さを10 μ m程度まで薄くすることができた(図 12)。さらに化学溶液処理によりGe基板のエッチングし、SiO₂/Si支持基板側にAl/極薄Ge膜のAlを酸化できれば、絶縁膜に覆われた極薄Ge膜が形成できる。これらは、表面偏析を利用した極薄Ge膜をデバイス応用に展開するための作製プロセスに対して、価値ある結果が得られたと考えられる。

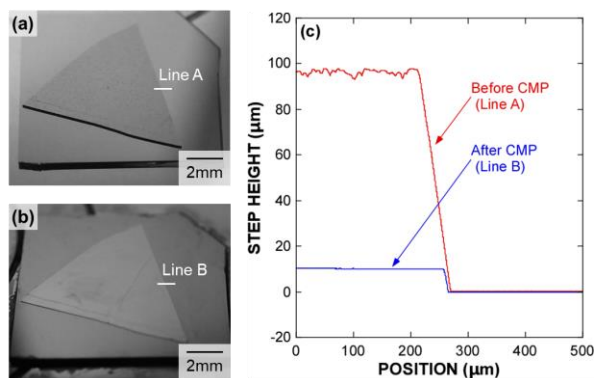


図 12 (a, b) SiO₂/Si 基板に張り合わせて Al/Ge 試料の CMP 前後の写真と (c) Al/Ge(111) 厚さを示す A-B 間の段差。

が得られたと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ohta Akio, Yamada Kenzo, Sugawa Hibiki, Taoka Noriyuki, Ikeda Mitsuhisa, Makihara Katsunori, Miyazaki Seiichi	4. 巻 60
2. 論文標題 Surface flattening and Ge crystalline segregation of Ag/Ge structure by thermal anneal	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SBBK05 ~ SBBK05
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abdad0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuhara Junji, Muto Hiroaki, Araidai Masaaki, Kobayashi Masato, Ohta Akio, Miyazaki Seiichi, Takakura Sho-ichi, Nakatake Masashi, Lay Guy Le	4. 巻 8
2. 論文標題 Single germanene phase formed by segregation through Al(111) thin films on Ge(111)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2D Materials	6. 最初と最後の頁 045039 ~ 045039
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2053-1583/ac2bef	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 1件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 A. Ohta, M. Kobayashi, N. Taoka, M. Ikeda, K. Makihara, and S. Miyazaki
2. 発表標題 Control of Ultrathin Segregated Ge Layer Thickness on Al/Ge(111) Structure
3. 学会等名 13th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials (ISPlasma2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 A. Ohta, K. Yamada, H. Sugawa, N. Taoka, M. Ikeda, K. Makihara, S. Miyazaki
2. 発表標題 Growth of Ultrathin Ge Crystal Layer by Surface Segregation and Flattening of Ag/Ge Structure
3. 学会等名 2020 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大田 晃生、山田 憲蔵、須川 響、田岡 紀之、池田 弥央、牧原 克典、宮崎 誠一
2. 発表標題 Ag/Ge 構造の表面偏析制御と平坦化による極薄Ge 結晶形成
3. 学会等名 電子デバイス界面テクノロジー研究会 材料・プロセス・デバイス特性の物理 (第26回)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Araidai, M. Itoh, M. Kurosawa, A. Ohta, K. Shiraishi
2. 発表標題 First-principles study of two-dimensional materials of group IV elements
3. 学会等名 The 3rd International Workshop on Materials Science and Advanced Electronics Created by Singularity/The 2nd International Symposium on Wide Gap Semiconductor Growth, Process and Device Simulation (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大田 晃生、松下 圭吾、田岡 紀之、牧原 克典、宮崎 誠一
2. 発表標題 熱処理によるAlおよびAg/Ge(111)上の極薄Ge形成と層厚制御
3. 学会等名 電気通信情報学会(SDM) [シリコン材料・デバイス] シリコンテクノロジー分科会 6月度合同研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Matsushita, A. Ohta, N. Taoka, K. Makihara, and S. Miyazaki
2. 発表標題 Surface Modification and Wafer Bonding of Ultrathin Ge Segregated Layer formed on Al/Ge(111)
3. 学会等名 9th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	牧原 克典 (Makihara Katsunori) (90553561)	名古屋大学・工学研究科・准教授 (13901)	
研究分担者	田岡 紀之 (Taoka Noriyuki) (50626009)	名古屋大学・工学研究科・特任准教授 (13901)	
研究分担者	洗平 昌晃 (Araidai Masaaki) (20537427)	名古屋大学・未来材料・システム研究所・助教 (13901)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------