

国立研究開発法人

量子科学技術研究開発機構（量研）

高崎量子応用研究所

第38号

高崎研だより



Science

役立つ科学

半導体の高性能化で生活を豊かに！

日本/世界見聞録

コロナ禍のドイツ ～入国編～

My favorite

簡単レシピでステイホームを楽しむ♪

量子のつぶやき

高崎研のいろんな量子 ～量子っぽくないかも～

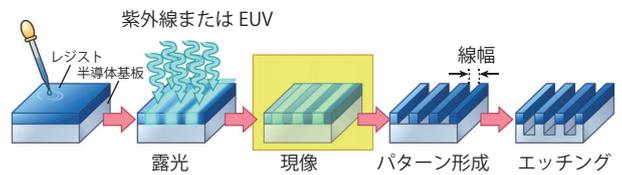


Q1. 半導体の高性能化とは、どのようなことでしょうか？

半導体の高性能化は、集積回路（トランジスター、抵抗、ダイオード、コンデンサーなど多くの回路素子を一つの基板上に組み込んだ超小型の電子回路：IC）の高密度化（微細化）によって達成されています。例えば、現在の携帯電話は薄く、軽く、小型ですが、画像編集、音声認識等様々な機能を備えています。これは、普段は見ることもない携帯内部に非常に小さい集積回路を密集して配置することにより、高機能化を実現しているためです。半導体の高性能化には、集積回路の微細化の進展が不可欠なのです。この微細化を担っているのがリソグラフィ技術です。

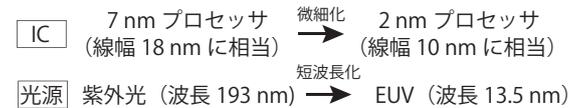
Q2. リソグラフィ技術について詳しく教えてください。

現在、半導体材料の表面を覆う「レジスト」という材料に紫外光または EUV（非常に短い波長の紫外線：Extream Ultraviolet の略）を露光（照射）して、微細な高密度回路パターンを形成しています。次に、パターン形成されたレジストの溝を利用して、エッチングという手法で同じパターンを半導体基板上に転写（型取り）し、集積回路を作製します。レジストは、半導体基板にエッチングを行う際の保護膜の役割を果たします。この一連の工程をリソグラフィ技術といいます。例えば、現在最先端の溝パターンである 7 nm プロセッサを、2 nm プロセッサにするだけでおよそ 50% の性能向上につながり、スマートフォンのバッテリー寿命を 4 倍に伸ばすことができます。

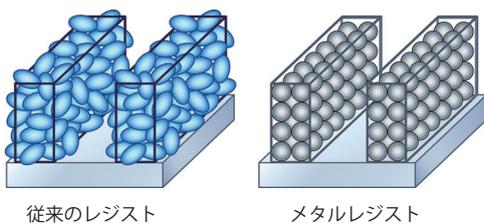


半導体リソグラフィの工程

※エッチングの後、レジストは取り除く（剥離）
 ※プロセッサと線幅の関係等は以下のとおり



Q3. レジストはどこまで微細化することが可能でしょうか？



分子サイズの小さいメタルレジスト

従来の樹脂レジストに比べ、メタルレジストはエッジがきれいにそろっていて、微細化が可能

一般的に、露光する光の波長が短いほど、より細かなパターンを描くことができることから、露光に用いられる波長の短波長化が進んでいます。最先端のリソグラフィでは、波長 193 nm の紫外光に代わってより波長の短い 13.5 nm の極端紫外光 (EUV) が使用され始めました。また、微細化についても最近 2 nm プロセッサまで実証されたとの報告がありました。しかし、レジストに対する EUV と紫外光のエネルギー効率等が異なるため、EUV 露光に適したレジスト材料を新に開発することが必要です。よりパターンを微細化するためには、レジスト材料として分子サイズが小さく、かつ EUV を効率よく吸収する、金属からなるレジストが有力視されています。このメタルレジストの開発により半導体の微細化は 1 nm レベルプロセッサの領域に入り、原子サイズのオングストローム (Å) といった微細化限界に達するかもしれません。

Q4. 今後、この研究はどのように発展していきますか？

日本の企業が世界をリードできるように、2 nm プロセッサ以降をメタルレジストで実現し、基礎の中核となる材料プロセスの構築を目指します。そのためには、企業や他の研究機関との共同研究等を通して EUV レジスト開発による半導体の高性能化を達成し、社会実装により Society5.0 (サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させたシステムにより経済発展と社会的問題の解決を両立する人間中心の社会) 及びカーボンニュートラルに貢献したいと考えています。



2021年3月25日早朝ようやくフランクフルトに到着しました。ここにたどり着くまでに、過去に経験したことのない数々の出来事がありました。それは、コロナ禍の羽田空港から始まります。

出国エリアでは、フードコート、レストラン、ラウンジ、ショッピングのいずれも閉まっていました。トイレも一部閉鎖されていました。出国ロビーでビールを飲むのがルーティーンなのですが、それもできません。もちろん機内もガラガラで、食事はありましたがビールは頼めません。3席独占して横になって寝て過ごせたことが、不幸中の幸いでした。

出国直前に旅行代理店と大使館から「PCR検査不要」と聞いていたので安心していました。機内で配布された「入国時の注意点」には、日本が安全地域（日本を含む数か国）に属していて、PCR検査や待機期間が不要と記載されていました。しかし！ 入国審査官がそれを認識していなかったようで、なかなか入国許可をもらえませんでした。



ガラガラの機内の様子

最後に、ドイツ滞在の際のビザの取得について触れたいと思います。ご存知の通り、コロナ禍前は短期滞在の場合ビザは不要で、長期滞在では入国後に住民登録（2週間以内）及び長期滞在ビザ（90日以内）の取得が必要です。一方、コロナ禍では、短期滞在で入国は出来ません。長期滞在の場合でも事前に長期滞在ビザを取得してから入国することが必要です。ネット検索でも過去の事例がないこと、あったとしても最新の情報でない可能性があること等のため参考に出来ません。ドイツに長期滞在予定の方は、事前に最新の情報を入手することをお勧めします。

先端機能材料研究部 小野田 忍

My favorite

簡単レシピでステイホームを楽しむ♪



ステイホームのこの1年で料理のレパートリーが増えました。その中で、夜遅く帰った日でも億劫にならないで作れる時短レシピがお勧めです。今回は「和風カルボナーラ」をご紹介します。

材料（一人分）

- ・ 卵黄 1個分
- ・ 牛乳、水 各 200 mL（計 400 mL）
- ・ 白だし 大さじ 1
- ・ 玉ねぎ（スライス） 1/4 個
- ・ パスタ 1人前
- ・ バター、塩、胡椒 適量
- ・ ネギ、鰹節、粉チーズなど お好みで（トッピング用）



白だしのきいた和風カルボナーラ

作り方

1. 熱した小さめのフライパンにバターを入れ、玉ねぎを炒める
2. 牛乳、水、白だしをフライパンに投入し、沸騰し始めたら半分に折ったパスタを入れる
3. パスタがアルデンテになるまで茹でる
※この時パスタがくっつかないようによくかき混ぜる
※途中で水気がなくなったら、水と牛乳を同量足して調整する



4. 塩、胡椒で味を整えたら皿に移して卵黄をのせ、お好みでトッピングをして完成
パスタをうどんに代えても美味しいです。また、ベーコンを入れたり、白だしの代わりにコンソメを入れて洋風のカルボナーラにすることもできますので、是非お試しください。

孤独のグルメ@ホーム（ペンネーム）

量子のつぶやき

「高崎研のいろんな量子 ～量子っぽくないかも～」



こんにちは、高崎量子です。最終回はいろんな量子についてつぶやくつもりでしたが、困ったことにあれこれ調べても量子の意味がよく分かんないんです。

歴史をさかのぼると、19世紀末にプランクさんが「振動数 ν （光速/波長）の光を放つ物質表面では、多くのバネのようなものが $h\nu$ の整数倍のエネルギーで振動してる」という量子仮説を提

唱し（ h がプランク定数と呼ばれる由縁。5月号参照）、後にアインシュタインさんが「光こそが $h\nu$ のエネルギーを持つ量子（粒）だ」と考えてlight quanta（光量子）と名付けました（今はphoton（光子）が一般的でonは粒子の意）。この頃の量子は分割できない最小単位の象徴ですが、その後の約20年間、「量子の力学」が生まれる過程で変貌したのだと思います。例えば、水素原子の電子エネルギーの値が a/N^2 （ $N=1,2,3,\dots$ 、 a =水素原子固有の定数）なんて形になる謎を量子力学は解明します。で、私が納得できた量子とは「日常世界では連続なエネルギーなどの値が、超極微世界では整数を用いて表される不連続な値になること（なるもの）」です。量子〇〇というときには量子力学と関係深いという意味合いがあるようで、これを「量子感」と呼びましょう。

さて、高崎研に目を向けると、その正式名「量子科学技術研究開発機構 量子ビーム科学部門 高崎量子応用研究所」には、3回も「量子」の文字が登場し、何これ？と思いますよね。この組織を規定する法律では、「『量子科学技術』とは、量子に関する科学技術をいう」のですが、量子の定義はないので、「量子感」でこの三つの「量子」を分析してみますね。

前回登場した電子の壁抜けの術が活躍する半導体、電子のスピン（素粒子が持つ固有の角運動量で、無謀なたとえだけ地球の自転のイメージ）を操るスピントロニクス、それに量子効果を利用して細胞内の温度などを測る量子センシングは高崎研の基幹研究分野で、量子力学を駆使する量子コンピュータの関連分野にも進出してるんです。陽電子（電子の反粒子）のノロノロビームは物質波の波長が長いので波のように振る舞い、スピンの向きを揃えて物性研究に使われてます。これが高崎研の量子感ある『量子科学技術』ですが、は何となく分かりました？『量子ビーム』は日本発の新語で放射線のことみたいです。「素粒子は量子だ」との一説にしたがえば、ガンマ線と電子ビームは量子ビームだけど、高崎研の電子ビームは速くて物質波が原子直径よりずっと短いので波っぽくなく、電子よりうんと重いイオンビーム（電気を帯びた原子のビーム）の物質波長はもっと短くて素粒子でもないの、量子感が乏しくて……。『量子応用』はググってもヒットするのがほとんど高崎研なので分析できませんでした。

編集者から文字制限などうるさくいわれてうまく表現できず、皆様が理解できない箇所もあったかと思いますが、最後まで読んでくださり感謝です！

ハア・・・私の名前って結構厄介なのね。

Qメッセージ

先日、地域のプロバスケットボールチーム「群馬クレインサンダーズ」がB2リーグプレーオフ決勝を制してB1昇格を決め、地元は大いに盛り上がりました。スポーツにはコロナ禍でも人々に夢や希望を与える力があります。私たちも科学技術を通じて世の中を元気にしたいという思いで日々研究に精励し、イノベーション創出による社会貢献を目指しています。

（高崎研所長 伊藤久義）

