

シリコン系半導体によるエネルギー変換デバイスの創成

Development of energy conversion devices using silicon-based semiconductors

エネルギー変換デバイス、宇佐美研究室

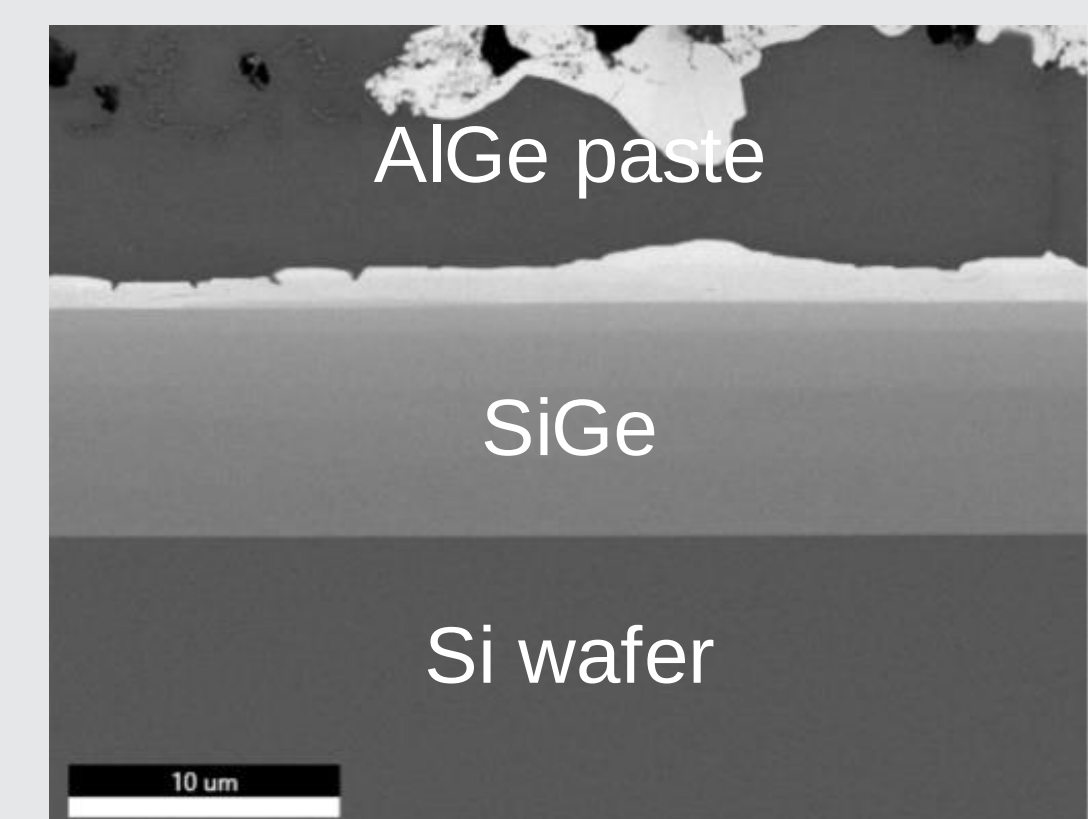
Energy Conversion Device, USAMI Laboratory

エレクトロニクスや太陽光発電の基盤材料であり資源が豊富で安全なシリコンや、シリコンと整合性のよい半導体をベースとして、高性能なエネルギー変換デバイスの創成により脱炭素社会の早期実現に貢献することを目指しています。また、実験、理論、計算、データ科学をマルチスケールで高度に連携させる新たな材料・デバイス開発手法の研究にも取り組んでいます。

オンシリコン多接合太陽電池

日本国内で太陽光発電の適地が減少する中で、エネルギー変換効率の高い太陽電池の開発が重要となっています。宇宙用太陽電池として実用化されている化合物半導体多接合太陽電池は、30%を超えるエネルギー変換効率が見られる一方で、高価であることが地上で普及のネックとなっています。

本研究では、化合物半導体多接合太陽電池の製造コストの50%以上を占めるゲルマニウム基板を代替する擬似基板として、安価なシリコン基板上へシリコンゲルマニウム薄膜を低コストでエピタキシャル成長する技術を開発します。具体的には、アルミニウムと半導体材料を主成分とするペーストのシリコン基板上へ印刷し、大気圧下で焼成する簡便なプロセスを用います。さらに、化合物半導体多接合太陽電池の基板とすることで、日本発の高効率オンシリコン多接合太陽電池の実現を目指します。



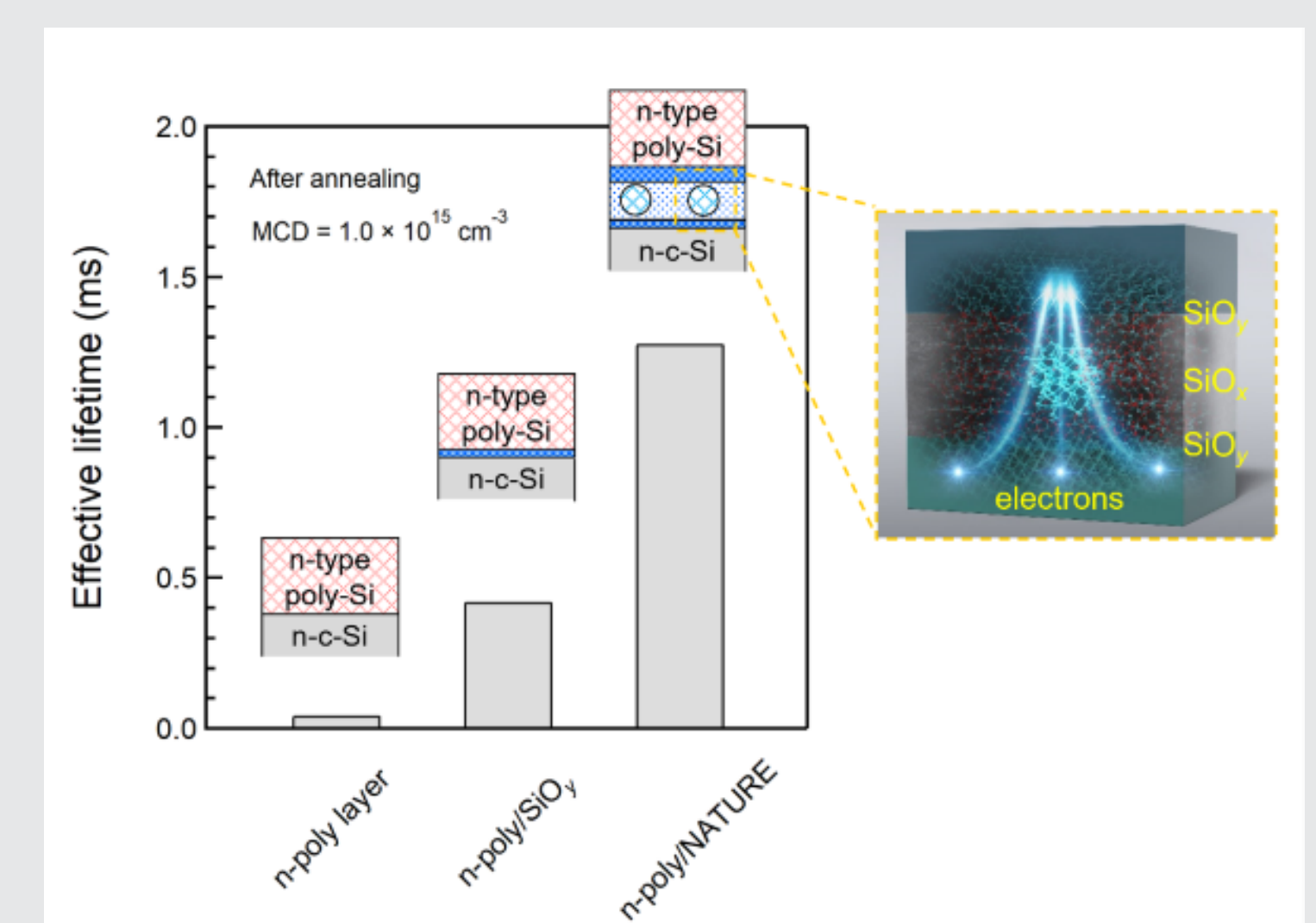
印刷と焼成により成長したシリコン基板上のシリコンゲルマニウム膜

シリコン系ヘテロ接合太陽電池

次世代太陽電池のセル構造として、裏面に極薄の酸化シリコンを保護膜に用いたTOPCon構造とよばれる太陽電池が注目されています。しかし、キャリア輸送機構がトンネル効果やピンホールを介した伝導であるため、プロセスのロバスト性や長期信頼性に課題があります。これらの観点から厚い酸化シリコン膜が有利ですが、酸化シリコンは絶縁性のためキャリア輸送に課題が生じます。

我々は厚い酸化膜において優れた界面保護性能とキャリア輸送を両立する新構造として、酸化シリコン膜中にシリコンナノ結晶を生成するNATURE* contactを提案し研究を進めています。

*NANocrystal T ransport path in U ltra-thin dielectrics for R Einforced passivating contact



NATURE contactの模式図、および従来技術との性能比較

産業廃棄物シリコンの利用技術

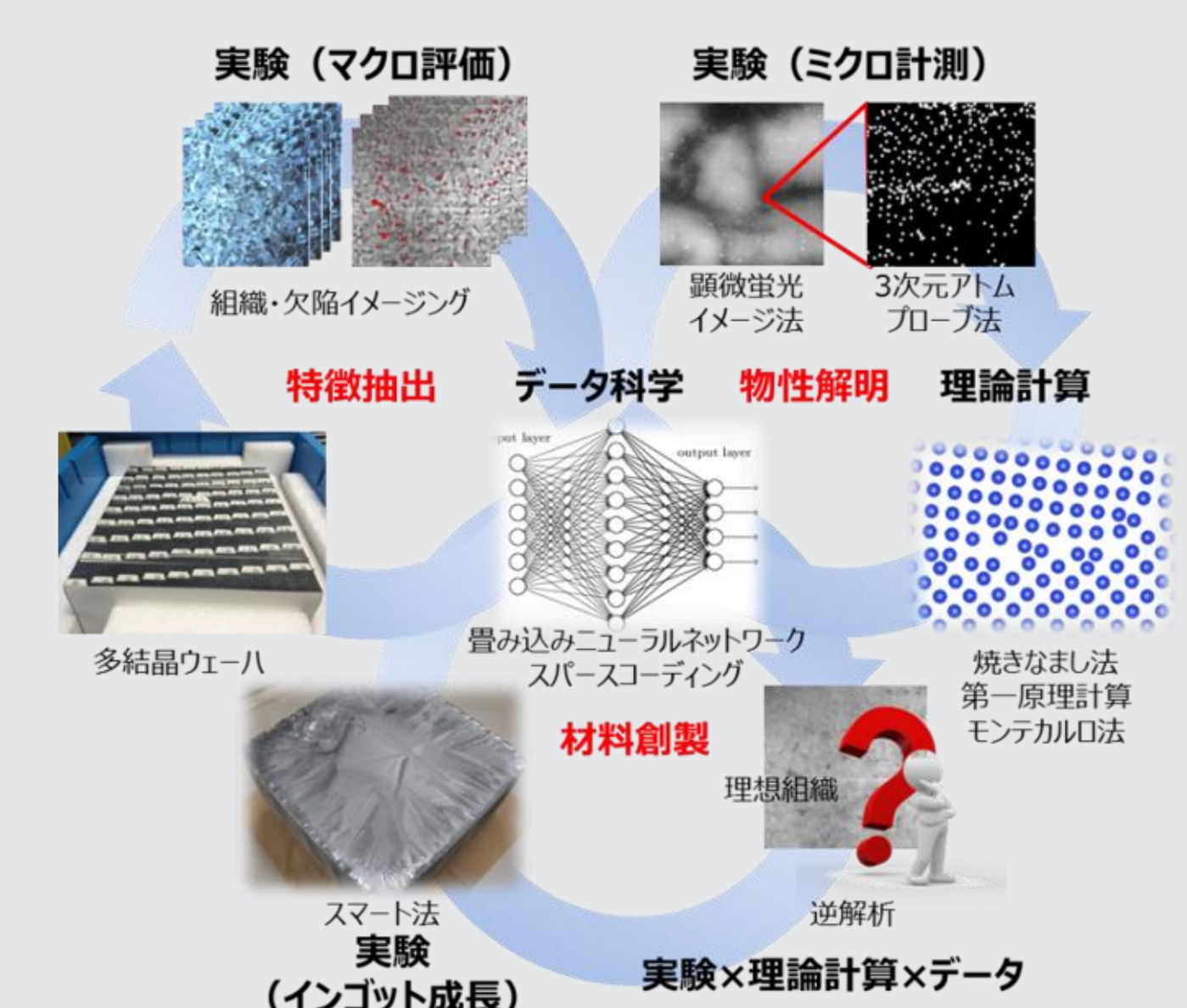
将来大量廃棄される太陽電池パネルに含まれるシリコンを日本国内の潜在的資源と考え、再利用することで、持続可能的に半導体資源の活用を可能にする研究開発を行います。大規模普及が進む太陽光パネルは、30年程度で寿命を迎えると予測されます。現状、分解した太陽光パネルから銀やインジウム等の希少元素の回収技術の開発は進みつつありますが、主材料のシリコンは廃棄されています。本研究では、ガラスを割らずに太陽光パネルを分解する独自技術により、太陽電池周囲の封止材や金属からシリコンを分離し、半導体資源として再利用可能とします。この技術開発により製造するシリコンを利用して、熱電素子や二次電池などのエネルギーデバイスの創成を目指します。



太陽光パネルから取り出したセルシート

多結晶材料情報学の開拓

社会に広く普及している金属、セラミックス、半導体などの多くは多結晶あり、私たちの生活を支え、便利で快適なものにしています。多結晶材料は、粒界が複雑に分布し、さらに結晶粒の方位やサイズにも分布があるため、極めて複雑なシステムといえます。従来にはない優れた性能や機能を示す多結晶材料の実現を目指した研究開発は盛んに行われていますが、その複雑さゆえに「どのようにミクロな多結晶組織を設計し、どのようなプロセスで作ればよいか？」という根源的な問いに明確に答えられる普遍的な学理の構築には至っていません。我々は、複雑で多様な多結晶材料の研究に実験、理論、計算、データ科学を連携させる「多結晶材料情報学」の開拓を進めています。



多結晶材料情報学の研究の進め方の例