

研究室訪問記 2024 年度 一般研究助成（エネルギー）

訪問日 2025 年 9 月 12 日

長岡技術科学大学 電気電子情報系 教授

研究題名：環境調和薄膜太陽電池作製に向けた三元系ファインチャンネルミスト CVD 法による
多元系銅硫化物薄膜堆積法の開発

長岡技術科学大学 田中久仁彦先生の研究室を訪問し、これまでの研究や助成研究について伺いました。（図 1）

プロフィール

簡単に言うと太陽電池の研究をしています。元々は、発光材料を研究していましたが、博士号を取るぐらいのときに、それまで LED は赤までだったのですが、青が出てきて、緑が出てきたことで、路線を変えて何かネタを探しているときに太陽電池に出会いました。半導体の光に関する応用というスタンスは変わらないので、そこをベースに膨らませてきました。ただ当初は、太陽電池を作るノウハウも何もないし、分析のノウハウもない、装置もない、本当にゼロから始めたので、それがまず大変でした。

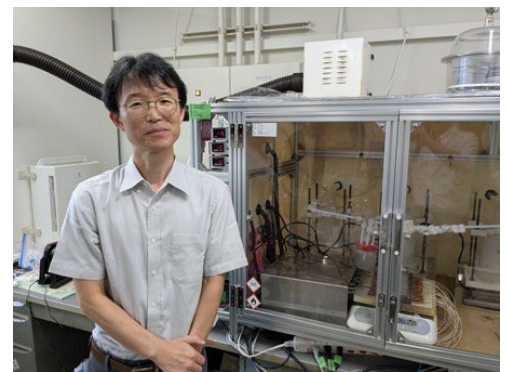


図 1 田中先生と第 5 世代の実験系

太陽電池を作る際には 2 つの方向性があります。1 つ目は、お金は掛かるけれど、性能の良いものを狙う。高額な真空装置や大きな電力を必要とします。材料も貴重で高価なものを使用する場合があります。宇宙用の太陽電池がその最たるものです。もう 1 つは性能を少し犠牲にして、とにかく安く作る。研究室では両方トライしていますが、今回の助成の対象は后者であり、材料選定のみならず実験系も簡易なものを追求しています。また研究タイトルにあるように、環境調和も目指しています。

太陽電池には様々な種類があります。世の中のものが 1 つに集中するのは何かしらの弊害が出てくる可能性があるので選択肢を作る意味で、高価なもの、有害なものは使わない主義で研究しています。

助成研究の概要、進捗

実験系にはミスト chemical vapor deposition (CVD) 法を用いています。手順としては、まず、薄膜の構成元素を含む原料を水に溶かします。そこに超音波をあてると原料溶液がミストになります。それを窒素ガスを用いて、押し付け効果が期待できる狭い空間（ファインチャンネル）に設置したガラス基板上に送ります。ガラス基板は加熱されており、そのミストが熱反応を起こして薄膜が堆積されます（図 2）。一般的にミスト CVD 法は酸化物の堆積に使われますが、我々は硫化物に用いています。

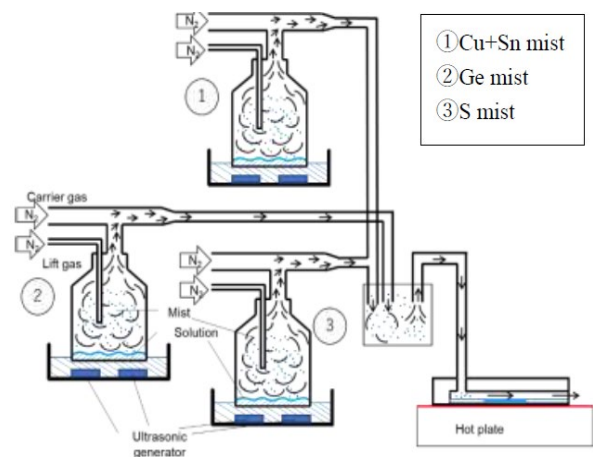


図 2 三元系ミスト CVD 装置

特にミスト CVD 法による多元系硫化物の堆積はほとんど報告がなく、ここにオリジナリティを感じています。

以前の実験系で Cu_2SnS_3 (CTS) 薄膜の堆積はできていたのですが、太陽電池光吸収層として応用するにはバンドギャップが狭く、高効率化が望めないため、バンドギャップを広げる狙いで Sn の一部を Ge に置き換えることを試みました ($\text{Cu}_2\text{Sn}_{1-x}\text{Ge}_x\text{S}_3$ (CTGS))。これが難しく、実験系の改造が必要になったことから助成を申請しました。肝になるのがガラス基板の温度制御です。改造前は、Ge が少ししか入らなかったのですが、以前よりも基板上の場所による温度の違いを細かく制御できるようになり広範囲に均質な膜ができるようになりました。このあと、太陽電池にするには電極となる Mo 薄膜上への堆積が必要なのですが、これに関しては Ge 抜きの方でノウハウは出きているので、それを活用して仕上げたいと考えています。

むずかしさ

良い太陽電池を作ろうとすると、単純に作るだけでは駄目で、その太陽電池を構成している半導体を徹底的に調べて性質を知る必要があります。しかも、良いものを調べないと駄目です。不純物や欠陥が入っているものを調べても、本質的なものなのか、欠陥のせいなのか分かりません。まず、良いものを作らなきゃいけないということで単結晶を作ったりもしています。CTS 系といわれるものは結晶構造が複数あります。そのうち効率よく発電するのは 1 つだけです。しかし、発電する結晶構造の単結晶を作るのが非常に難しいです。普通は融かして冷やして固めて作るのですが、発電しにくい構造の方が低い温度で安定なので、普通に冷却するとよく発電する単斜晶構造が得られません。現在は冷却法の工夫により単斜晶の単結晶ができるようになったので、この単結晶や分析用に真空中で作製した高品質な薄膜などの分析をしていきます。

今後

成膜に関するパラメーターが結構多くて、発生したミストを持ち上げるガスと持ち上げたものを流すガスそれぞれの制御も必要ですし、温度勾配、薬品の濃度など、検討するパラメーターは多岐に渡ります。それもあって機械学習をやろうと思い、私も学生もプログラムを組んでやってみましたが、現状ではあまりうまくできていません。もう少しデータが積みあがってきたら良い結果が出てくると思いますので、引き続き取り組みたいです。最近結構皆さん流行りですから。