



<研究紹介・自己紹介>

研究項目 A02:公募研究

「超短パルス光干渉加工法を用いた新しいメタマテリアルの開発」

研究代表者 中田 芳樹 (大阪大学)

私は 1992 年に九大電気の前田三男先生・岡田龍雄先生の研究室に修士課程から配属され、学生の頃はパルスレーザーデポジション法による YBCO 高温超伝導薄膜堆積とレーザー分光法によるプロセスの可視化に関する研究を平行して進めました。1996 年に同研究室の助手として採用され、パルスレーザーデポジションの対象を誘電体や半導体に拡大する一方で、1998 年にレーザー誘起転写法(LIFT)による微細薄膜堆積に関する研究を開始しました。パルス幅を変えて特性を調べたところ、フェムト秒レーザーの場合は堆積膜やドナー側に熱的な変成領域が見られず、また堆積膜のサイズはナノ秒レーザーの場合の数分の一でした。当時、フェムト秒レーザーを用いた物質加工は非熱的・超微細・加工対象を選ばない加工法として評価されつつあり、それと整合する結果でした。

一方、干渉したナノ秒紫外レーザーによる高分子材料の周期構造加工が 1990 年初頭に行われていました。これを干渉したフェムト秒レーザーで置き換えることで、全ての材料に微細な周期構造加工が出来ると考え、「干渉フェムト秒レーザーを用いた周期構造加工」研究を開始しました。しかし 2000 年に誘電体の内部加工で先行事例が出されたので（東工大の細野秀雄教授、鉄系超伝導体で著名）、一定の新規性を出すために加工対象の自由度を活用してあらゆる材料の加工を試み、特に光量子デバイス応用を念頭に置いて金属薄膜の加工を多く行いました。2001 年に金薄膜を 4 光束干渉加工して SEM 観察していたところ、白い点がマトリクス状に並んで観測されました。つまり一般的なレーザー加工による凹形状ではなく凸形状が出来ていると直感し、斜めから測定したところ「ナノバンプ」「ナノウォータードロップ」と名付けた 3 次元ナノ構造が出来上がっていました。これは、「非熱的」と言われていたフェムト秒レーザー加工が、一定条件下では「局所的な熱プロセス」による「ナノサイズの金属流体プロセス」を誘起し、それがフリーズすることで 3 次元ナノ構造が形成されると解釈出来ました。この手法ではクラウン状の金冠、先端曲率半径が MW-CNT に匹敵するナノウィスカーなどを加工条件によって作り分ける事が



出来ます。さらに、微細加工能力を生かして円・楕円の穴が配列したナノメッシュなどの 2 次元ナノ構造も作製出来ます。図の様な多種多様な 2 次元・3 次元ナノ構造のマトリクスをシングルショットで作りに出せることから、レーザー加工研究分野で一定の評価を頂きました。2006 年に大阪大学レーザーエネルギー学研究中心の准教授に採用され、現在も本研究テーマを継続しています。

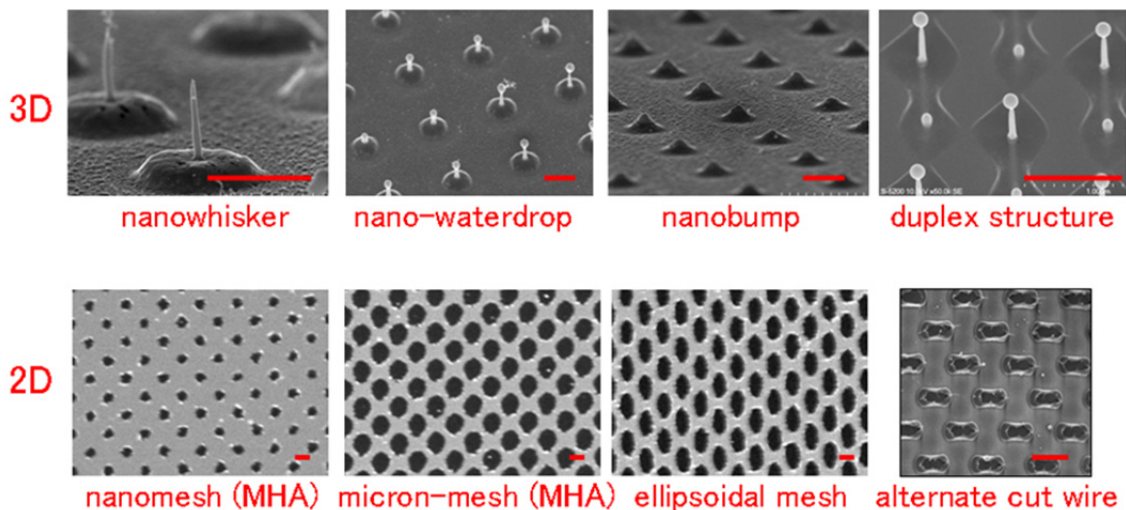
上記のナノ構造マトリクスはナノテクノロジー全般で有用だと考えられますが、専門である量子エレクトロニクス分野を中心に応用を調べました。また同じセンターに所属する萩行正憲先生がメタマテリアルを専門にしておられ、我々の研究成果について助言を下さったり、関連する資料を頂きました。我々が作製した金属ナノメッシュはメタマテリアル・プラズモニクス分野の代表的研究テーマである MHA 構造そのものであり、まず目に留まりました。ナノウイスキーなどは反転対称性が無く、非線形現象の発現が想起されました。このようにして電磁メタマテリアルへたどり着きました。

ナノ構造マトリクス=メタマテリアルを実用化するには、ナノ構造マトリクスの自在なデザインと安定的な加工の両立が必要であり、つまり干渉縞の精密な時空間コントロール技術が重要です。また、一定の面積で均一なナノ構造マトリクスを作製する必要があります。これまでの手法と数種の光変調器の組み合わせでこれらを達成し、最終的にはオーダーメイドに近いメタマテリアルの作製法を確立するのが目標です。最近では図右上の複合構造や右下の交互カットワイヤ構造など、単純な干渉縞ベースではない構造を試作しており、マトリクスパターンバラエティも増えていく予定です。従来と異なる手法で作製される、従来と異なる形状のメタマテリアルが、この分野に新風を吹き込むことを期待しています。

フェムト秒レーザー加工研究の分野は現在も非常に活況を帯びていますが、徐々にデバイス作製のフェーズに移行しています。一方、私が所属するセンターは学生数が非常に少なく、干渉加工装置の開発からデバイス応用まで全てを自力でこなすことは困難です。そこで、まずは我々が作製したメタマテリアルを様々な方に応用していただく、つまり素材産業から始めるつもりです。今回の新学術研究領域を通して幾つかの共同研究が動き始めています。我々が作製



するメタマテリアルが皆様のお役に立てば幸いです。何かございましたら、遠慮無くお声をおかけ下さい。



干渉フェムト秒レーザーを用いた金属薄膜加工で作製された様々なメタマテリアル。赤線は $1\mu\text{m}$ 。