

IV. 2. 1 超高密度光メモリデバイス材料の開発

研究リーダー 入江正浩（九州大学 教授）

（1）5年間の総括

近年の急速な情報・通信技術の進展に伴い、周辺情報機器の高度化が必要とされている。記録媒体に関する最近の大きな変化は有機色素を記録媒体とする CD-R の普及である。その生産枚数はフロッピーディスクを大きく超え、2002年には70億枚に達する勢いである。さらに容量の大きい DVD-R も立ち上がりつつある。

CD-R あるいは DVD-R などの追記型あるいは書き換え可能型ディスク型メモリでは、レーザー光による加熱を利用して高分子や合金の熱変性を誘起することで光記録を行っておりいわゆるサーマルモード光記録と呼ばれている。サーマルモード光記録では、記録媒体の加熱に要する記録書きこみ時間や記録密度の点で本質的な問題点が指摘されている。これに対して光エネルギーを熱に変換することなく光化学反応を誘起することで光記録を行うフォトンモード記録が提案されている。フォトンモード記録では、記録媒体の加熱を伴わないため、高速・高解像度・高感度の記録が可能であり、高密度光記録におけるブレークスルーを与えるものと期待される。書き換え可能なフォトンモード記録ではフォトクロミック分子材料が有力な光記録材料の候補とされてきた。従来のフォトクロミック分子材料は耐久性や記録保持性能が低く、フォトクロミック分子によるフォトンモード光記録は困難と考えられてきたが、1980年代後半のジアリールエテンの開発によりこれらの課題の解決の可能性が示された。すなわち、ジアリールエテンは1000～10000回以上の書き換え記録消去が可能な光安定性と耐久性を有しており、しかも暗所ではほとんど反応しないため1000年以上の記録保持が可能である。

一方、光記録における記録密度は主に記録および再生における光学系の空間解像度に依存する。従来、CDなどで利用されてきた光学系の空間解像度は、レーザー波長とレンズの開口径の比に依存するレンズ光学系の回折限界に支配されており、レーザー光の短波長化とレンズの大開口径化が進められてきた。しかし405nmのレーザー光を利用するブルーレイディスクにおいても、技術予想の観点からは十分な解像度・記憶容量が得られていない。一層の高解像度化、高記録密度化のためには、光学系における技術的なブレークスルーが要求されている。超解像度光メモリの可能性として、近接場光の利用が考えられている。近接場光は通常の伝播光とは異なり、記録媒体表面の極微小領域を照明することが可能である。例えば微細化した光ファイバーチップ先端に発生する近接場光の照明範囲は波長には依存せず、チップ先端の形状と寸法に依存する。したがって尖鋭化したチップを用いることで10nm以下の局所領域を照明することが可能とされている。これは通常のレンズ光学系に期待される回折限界に対して200倍以上の解像度に対応しており、光記録密度においては4桁以上の高密度化が期待される。

以上のように、近未来の高密度光記録媒体の開発においては、記録材料開発ではフォトンモード記録材料の開発、光学系では近接場光学系などの超高解像度光学系の実用化など、本質的な技術課題の解決が必須とされる。しかもそれぞれの技術課題はお互いに関連しあっており、近接場光学系に適したフォトンモード記録材料の探求とともに、記録材料に適した書きこみ・再生光学系の開発を進める必要がある。

本グループではこれらの技術課題の解決を目指して、九州大学サブグループおよび福岡県工業技術センターサブグループがそれぞれ薄膜光応答材料と高耐久性光記録材料の開発を行い、九州松下電器サブグループが近接場を利用した光記録・再生システムの基礎開発に取り組んだ。九州大学サブグループでは、フェーズⅠにおいて透明で安定なアモルファスジアリールエテンの開発を行ない、フェーズⅡではアモルファスジアリールエテンにおける屈折率変調の検討および近接場光による書きこみ実験を実施した。九州松下電器サブグループはフェーズⅠでは市場および技術の調査を実施し、フェーズⅡでは SIL 光学系の制御方法と近接場光による屈折率の非破壊読み出しの実証実験を実施した。福岡県工業技術センターチームでは、フェーズⅠにおいて非対称分子構造を有するジアリールエテンの開発に取り組み、フェーズⅡにおいてジアリールエテン 3 量体の開発に取り組んだ。特に後者において高い熱安定性を有するジアリールエテンの開発に成功した。

(2) 今後の取り組み

本研究グループでは九州大学、九州松下電器、福岡県工業技術センターの学産官の連携により超高密度光メモリデバイス材料の開発に取り組んだ。その結果、フォトンモード光記録材料に要求される性能要件である固体化、反応性、安定性、透明性、記録保持性さらに非破壊再生能などの課題の解決に成功した。またアモルファスジアリールエテン薄膜を用いた近接場光記録再生実験により 70 Gbit/in^2 以上の記録密度に対応する超高密度光記録材料としての性能を実証した。アモルファスジアリールエテンの顕著な光応答機能として屈折率変調を見出し、光学等方性媒体としては世界最高の屈折率制御に成功した。ジアリールエテン 3 量体の開発により、ジアリールエテンオリゴマーの有効性を証明した。また九州松下電器と九州大学の共同研究により非破壊記録再生方法として SIL 近接場光学系と導波モードを利用することにより、屈折率差を反射光強度差として読み出す記録再生原理を提案し、その実証に成功した。以上により、当初の目標であった、フォトンモード高密度光記録材料の開発と近接場記録・再生技術の開拓を達成することができた。

現時点での再生においては、 780nm の近赤外光を利用しており、 100nm 以下の超高解像度記録・再生の実現には至らなかった。この点に関しては材料開発においては吸収波長の短波長化と非破壊記録再生に向けた記録再生ヘッドの考案と試作などの課題が残されている。OITDA の技術予想では 2010 年における情報転送速度として 1Gbps が予測されており、 1 nsec での記録再生と 10nsec 以下での記録書きこみの技術開発の必要がある。すなわち記録材料の高感度化と光学系の高輝度化が要求される。一方、サーバー用の光記録装置では 100TB 以上の記録容量が要求されており、3次元多層記録のための材料開発に着手する必要がある。この場合には多光子フォトクロミック反応が重要な課題であるが、世界的に見ても未開拓な分野であり早急に基礎研究を開発研究へと展開する必要がある。とくに2光子励起に対する高感度化が重要である。また3次元非破壊記録再生方法の開拓も重要な課題である。すなわち材料開発面からはアモルファスジアリールエテンの高感度化と多光子フォトクロミック分子材料の開発が重要課題と考えられる。

地域結集事業のフェーズⅢとして、平成14年度より福岡県工業技術センターを中心に、高感度フォトクロミック色素の開発が進められている。すなわち、高度な技術開発への市場のニーズに迅速にこたえるために、福岡県工業技術センターチームは平成14年度よりフェーズⅢに移行し、九州大学が支援を行なっている。これまでの地域結集事業で蓄積された技術と人的資源の有効利用を図りつつ、フォトンモードによる超高密度光記録の実現に向けて研究を推進することが望まれる。