



# 高画質を手軽に楽しめる、 大容量光ディスク／ブルーレイディスクの開発

ソニー株式会社



2011年7月の「地デジ化」に伴いハイビジョン対応デジタルテレビなどへの買い替えも進んでいます。また、3Dテレビ、ビデオカメラも話題です。映像の保存には、ますます大容量のデータを扱える記録メディアが求められるようになっていきます。そこで次世代の大容量光ディスクとして開発されたのが、Blu-ray Disc(登録商標；以下ブルーレイ、BD)です。ソニーは、世界に先駆け、2003年4月にBDシステムを発売、高画質記録メディア時代の幕を上げました。その背景には、NEDOプロジェクト「ナノメータ制御光ディスクシステムの研究開発」があります。本プロジェクトに関係各社とともに参加、プロジェクトでの研究開発で得た知識や技術などを基にBDを製品化したものです。現在もさらなる大容量化や応用技術の展開に取り組んでいます。

## 1 枚のディスクでハイビジョン映像を丸ごと記録

私たちが日常生活の中で扱うデジタルデータの量は、年々急速な勢いで増え続けています。ハイビジョン映像(HD)や3D映像などを保存するための、大容量記録メディアへの要求も高まっています。ハイビジョン映像は、データ量が標準画質映像(SD)の約5倍もあります。そのため、これまでのDVDでは、映画1本分の映像データを画質を落とすことなく1枚のディスクに収めることはできませんでした。そこで開発されたのが、次世代の大容量光ディスク、BD(ブルーレイディスク)です。

BDはその名の通り、ブルーの半導体レーザーを使って記録／再生する大容量光ディスクです。サイズはCDやDVDと同じ直径12センチメートル、厚さ1.2ミリメートルの円盤状ですが、記録容量は1層で25ギガバイトと、DVDの約6倍、CDの約40倍です。BDの登場によって初めて、1枚のディスクで、2時間強のハイビジョン映像を丸ごと記録できるようになりました。単層の密度向上とともに2層や3層など、多層化も進められており、最大8時間もの録画ができるようになりつつあります。数年のうちには、1枚のディスクで200～400ギガバイトのデータが記録できるようになるとも言われています。今後さらなる高画像・高機能化等で増加すると考えられるデータ量に対応できる可能性を宿しています。

## DVDの30倍の大容量化を目指して、日本の技術力が結集

現在、CDやDVDに代わり、光ディスクの主流となりつつあるBDですが、2003年4月、世界で最初にBDを発売したのがソニーです。

家庭用DVDプレーヤーやディスクが発売されたのが1996年11月で、当時はまだ、ビデオテープが家庭用映像記録メディアとしては一般的でした。1998年から2002年までの5年間にわたる、NEDOプロジェクトでは、DVDの約30倍の記録密度をもつ光ディスクの要素技術を研究開発し、実用化、さらには世界標準の獲得に結び付けることを当初から目標にしていました。そのため、ソニーをはじめ、日本の名だたる企業12社と1大学が結集。それぞれの強みを持ち寄り、次世代の大容量光ディスクの研究開発に取り組みました。その成果から生まれたのがBDというわけです。BDはいわば日本の技術力の結集とも言えるのです。

このように技術開発に成功してもその実用化には、この方式が世界中のユーザーに使われる必要がありました。NEDOプロジェクト参加の各社で合意したBDのサイズ（12cm直径、1.2mm厚さ）、と3つの重要なパラメータ（後述）などの基本的なフォーマットをさらに国際的なBDの規格策定・普及のためにメーカー、ユーザー、コンテンツ事業者などを結集し、プロジェクト終了3年後の2005年にはBDA（Blu-ray Disk Association）を設立しました。

## 「お客様が待っている」、その期待感がエンジニア魂に火を付けた

同プロジェクトを通して、BDの研究開発に携わったソニーのコアデバイス開発本部の山本眞伸さんはこう振り返ります。「NEDOプロジェクトの開始時期が、1998年よりも早くても遅くても、BDが製品として、成功することはなかったかも知れませんね」

すなわち、「必要な要素技術の確立のタイミング」と「社会的ニーズと必要とされる時期」の2つをつなぐ5年間でプロジェクト期間だったのです。

まず「ブルーレイ」の由来である「ブルーレーザー」の開発に世界で初めて成功したのは日本の化学メーカーで 1995 年のことです。NEDO プロジェクトが発足した 1998 年、長寿命で実用性に足るブルーレーザーが開発されたことで、一気に BD 開発の目処が立ったのです。また、2000 年 12 月に BS デジタルハイビジョン放送が開始されることになりましたが、当時、その放送をそのまま保存できる記録メディアはありませんでした。

2001 年度後半から 2002 年度にかけて、同プロジェクトのリーダー的存在であった西谷清業務執行役員 SVP は、こう振り返ります。「ハイビジョン放送に対応するため、企業同士の利害関係の枠を超え、皆が一丸となって研究開発に取り組むこととなりました。『この製品をお客様が待っている』と思うと、技術者というのは使命感に燃えるものです。逆に 1 社だけでは、とても乗り越えることなどできない、大変困難なプロジェクトだったとも言えます。この NEDO プロジェクトに参加したことは、私の技術者人生にとっても初めての体験や貴重な経験ばかりで、今も大きな財産となっています」

## ブレイクスルー

## この技術にフォーカス

### 世界標準となった 3 つの基本パラメーターを見つけ出すことに成功

現在普及している BD の記録密度は約 20 ギガビット／平方インチですが、同プロジェクトが目標設定した記録密度は、なんとその 5 倍の 100 ギガビット／平方インチでした。当時、光ディスクとしては、最も大容量だった DVD の記録密度が約 3 ギガビット／平方インチですから、100 ギガビット／平方インチを実現するには、30 倍以上のデータの高密度化を行う必要があったのです。

100 ギガビット／平方インチを実現するには、1 つのピットの長さを 70 ～ 170 ナノメートル、トラックピッチを 134 ナノメートルにしなければならませんでした。そしてそのためには、ピットの長さを 10 ナノメートル単位で刻み、ピットの位置もナノメートル単位で制御する必要があったのです。それが、同プロジェクトが「ナノメータ制御光ディスクシステムの研究開発」と命名されている所以です。しかしここで、光に関するある物理的な制約が立ちはだかりました。すなわち、狙ったレーザー光の大きさまで絞り込みたい反面、そのために操作するパラメーターがほとんど変更できない状態になっていたのです。

平行に入ってくるブルーレーザーの光を、レンズを使って絞り込み、スポットにするわけですが、スポットの直径（R）は、波長（ $\lambda$ ）とレンズの開口数（以下、NA）によって決まるということです。その関係は  $R = 1.22 \lambda / NA$  という式で表すことができます（図 1 参照）。

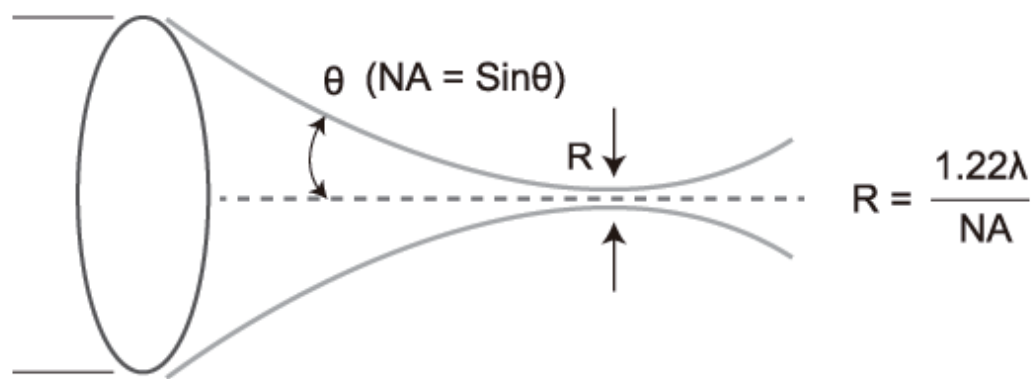


図 1：レンズにより絞られた光スポット

スポットの直径を短くすればするほど、小さいピットを読み取ることができ、記録密度を上げることができます。そして、記録密度を上げれば上げるほど記録容量は上がります。そこで、スポットの直径を短くしようと思うと、 $R = 1.22\lambda / NA$  の関係から、波長を短く、NA（角度  $\theta$ ）を大きくすればよいということになります。波長については、ようやく 400nm と波長の短いブルーレーザーが実用レベルに達したところで、NA を上げる必要がありました。

ところが、NA を上げると、いくつかの不都合が生じてしまうのです。まず、スポットがピンボケしやすくなります。そして、光ディスクの厚みのムラと、光ディスクの傾きに対する許容度が、急速に下がってしまうのです。要するに、スポットを小さくすればするほど、光ディスクの厚みのムラをなくし、記録／再生中の光ディスクの傾きを厳密にコントロールしなければならないのです。しかし、光ディスクの厚みのムラや傾きを全くなくすことは、製品化や実用性からは、非常に困難な条件です。

そこで、同プロジェクトでは、 $\lambda$  および NA の値を固定し、これにより決定されるスポットの直径で機能できるよう、記録するデータの位置を決めることで、問題を解決しました。まず、レンズの大きさや、光ディスクの傾きに関する許容範囲を考慮し、「 $NA = 0.85$ 」と設定しました。その結果、厚さ 1.2 ミリメートルの光ディスク中、深さ 0.1 ミリメートルの位置に、データを記録する層を持つてくるのがベストであるという結論に達しました。それを、統一規格として定めたのです。

そうして決まったのが、BD における標準規格として最も重要な「3 つの基本パラメーター」、すなわち、ブルーレーザーの波長（ $\lambda$ ）= 405 ナノメートル、レンズの開口数（NA）= 0.85、カバー層（記録する層の深さ）= 0.1 ミリメートルです。この規格を NEDO プロジェクト参加各者共通の‘軸’として、求められる機能を発揮できるよう課題解決を進めました。

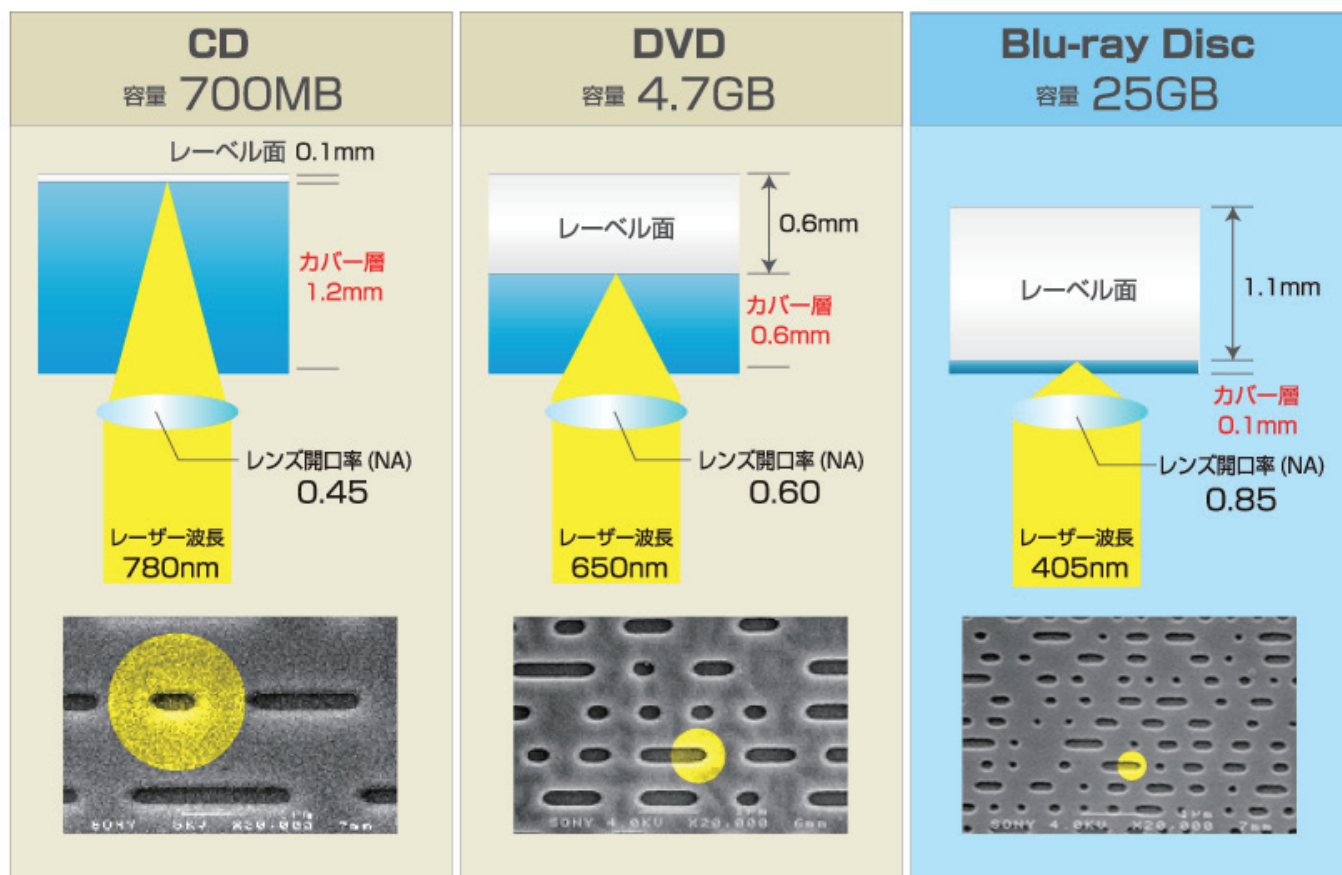


図2 CD,DVD,BD

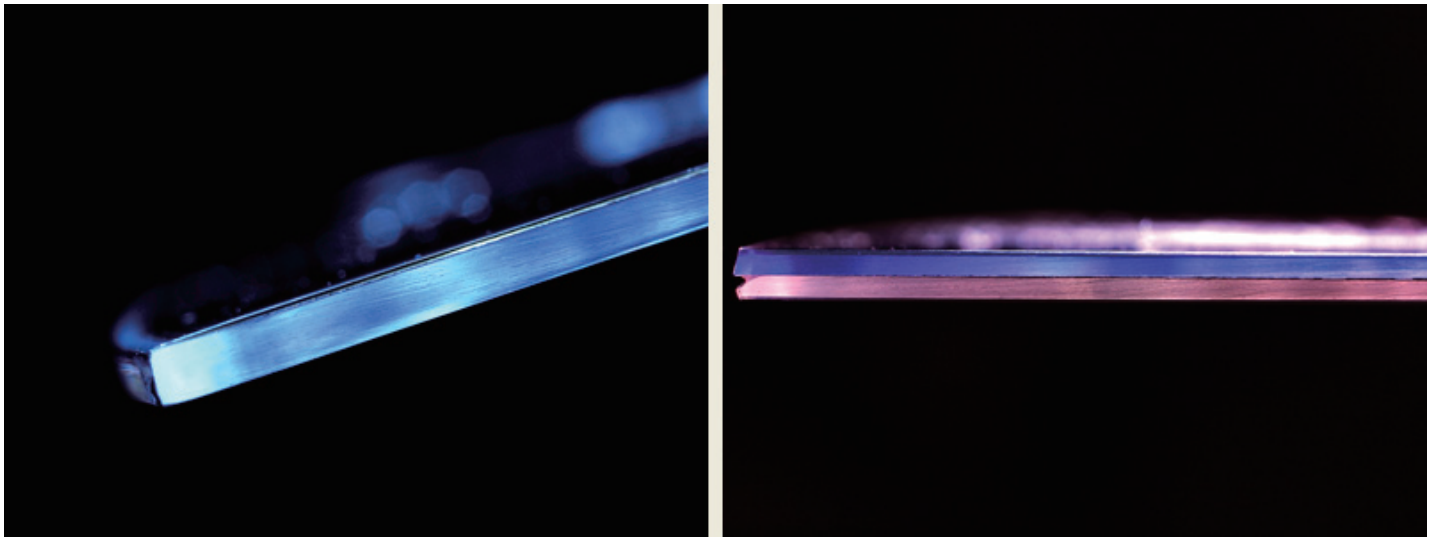
図2では、CD、DVD、BDのディスク断面と光学系の違いを表しています。CD、DVD、BDとなればなるほどNA（角度 $\theta$ ）が大きくなっており、レンズと焦点を結ぶ位置との距離が縮まっているのが分かります。BDのカバー層0.1ミリメートルに対し、CDのカバー層は1.2ミリメートル、DVDのカバー層は0.6ミリメートルとなっています。

プロジェクトで、ナノメータ制御光メモリ技術グループのリーダーを務めていた元ソニーの金子正彦さんは、「当初、カバー層をどの位置に持ってくるか、議論が分かれまして。しかし、NEDOのプロジェクトによって、最初の段階で3つの基本パラメーターがきちんと定められたお陰で、業界全体としての軸足がずれることなく、確信を持って研究開発を進めることができました」と振り返ります。

それが、早期にBDを製品化できた最大の要因であると西谷さんも口を揃えます。この3つの基本パラメーターは、今やBDにおける世界標準となっています。かくして、この3つの基本パラメーターをベースに、プロジェクトが推進されていきました。

当時、この基本パラメーターで用いるのに適したレンズを製造できたのは、ソニーだけでした。そこで、ソニーが同プロジェクトの参加企業にレンズを提供し、各社はそれを使って、基本パラメーターの検証や光ディスクに関する様々な技術の開発を行いました。

金子さんは言います。「非常にチャレンジングな目標設定で、最初は、とても出来ないと思いました」しかしこう続けます。「最初から『必ずできる』という目標であれば、ナショナルプロジェクトとして色々な企業が参加する必要はありません。お互いの強みを活かし、知恵や技術を出し合い、参加企業が総力を結集すればどうにかなるのではないかと思えたからこそ頑張ることができ、BD という成果を出すことができたのだと思います。」



BD（左）と DVD（右）の断面構造

## 光ディスクのマスター作製工程

プロジェクトの中で、ソニーが中心となって研究開発を進めたのは、光ディスクのマスター（原盤）の作製工程でした。（図3 参照）

マスターの作製工程は、まず、シリコンウエハの上にレジストをコーティングし、「回転ステージ型電子ビーム描画装置」という装置を使って、ピットパターンを描画していきます。次に、ドライエッチング（RIE=Reactive Ion Etching）と呼ばれる方法を使って、シリコンウエハにピットパターンをエッチングしていきます。

ドライエッチングとは、活性ガスを使ってエッチングする方法です。レジストがシリコンウエハの表面に残っている部分はエッチングされずに残ります。次に、レジストを除去し、シリコンウエハの上に 300 ミクロンの厚みでニッケルメッキを施し、そのニッケルをシリコンから剥がします。



ドライエッチング装置（左）とエッチングの終わったウエハ

その剥がしたニッケルの薄板が、“スタンパー”と呼ばれるものになります。シリコンウエハとスタンパーはちょうど凹凸が真逆の関係になっています。スタンパーに溶けたプラスチックを流し、固めることによって、同じピットパターン（複製）を何枚でも製造できるというわけです。

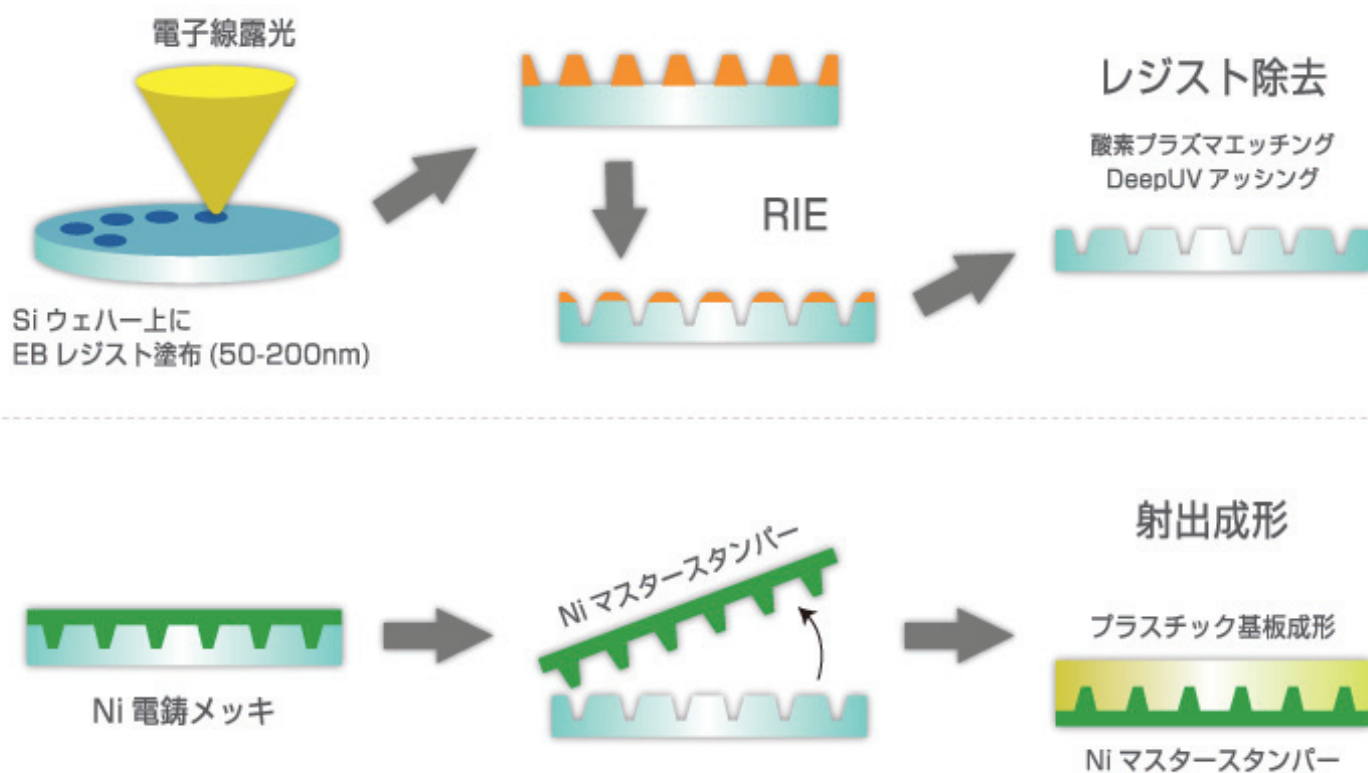


図 3

# NEDO の支援を活用してナノメータ制御技術確立

コアデバイス開発本部の古木基裕さんはこう語ります。「スタンパーを作製するには、まず、ナノメートルレベルでピットパターンを描画できる“超精密ピット描画技術”が不可欠でした。そのため、回転ステージ型電子ビーム描画装置を NEDO のプロジェクトの中で開発し、提供していただきました。これがなかったら、スタンパーを短期間で作製することはできなかったと思います」

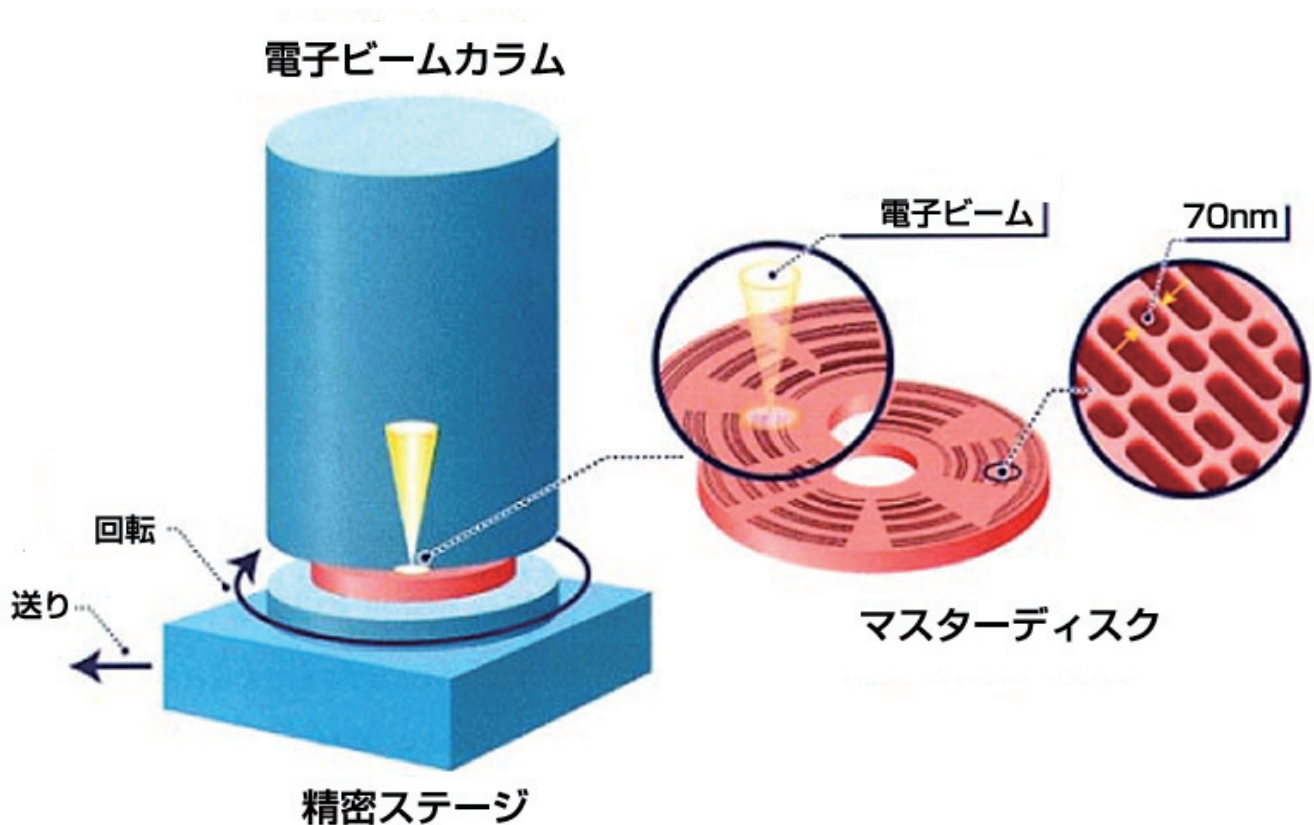


図 4：回転ステージ型電子線描画装置の概念図

回転ステージ型電子ビーム描画装置は、1.5 ～ 2 ナノメートルという精度でピット加工が可能な点が最大の特徴です。また、きちんとピットパターンが描画できているかどうかを評価する必要もありました。そのための評価装置として、NEDO のプロジェクトでは、“超精密ピット計測技術”を搭載した「レジストパターン計測用 AFM 装置」も開発しました。

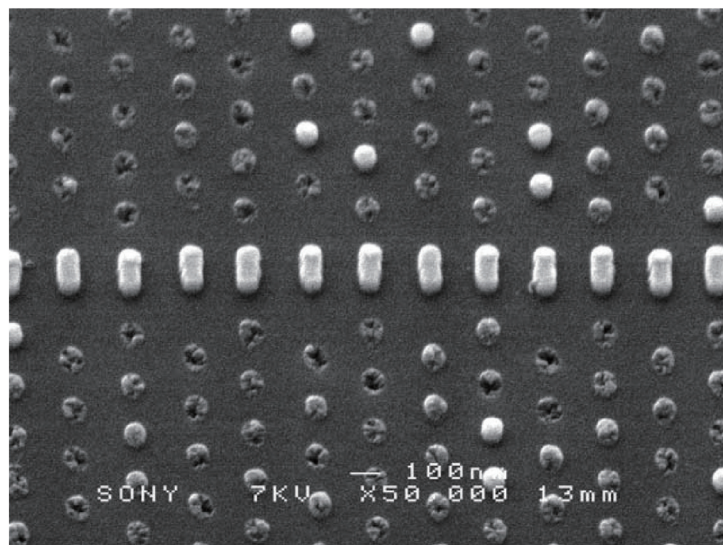
「アスペクト比の高い形状の場合、既存装置では深さや側壁角度などを正確に測定することはできませんでしたが、この AFM 装置を用いることで可能になりました。」と古木さんは説明します。

この装置はレジストパターンだけでなく、マスターからレプリカに至るまでマスターの全製造工程で活躍しました。ソニーは、NEDO のプロジェクトを通して開発された、これらの高精度なナノメータ制御装置を使うことで、見事、100 ギガビット／平方インチという記録密度のレプリカディスクの作製に成功したのです。

# プロジェクト終了目前に難題発生！

しかしながら、すべてが、順風満帆に進んだわけではありませんでした。それは、2002 年 6 月、プロジェクトも最終段階に入り、第 4 コーナーを回ったところで起こりました。

シリコンウエハからスタンパーを作製し、装置を使ってパターンを計測してみたところ、スタンパーのピットが、いくつもなくなっていることに気付いたのです。シリコンウエハからスタンパーを剥がす際、シリコンウエハの穴からニッケルがうまく外れず、取れてしまう「ピットもげ」現象が多発したのです。



ピットもげの状態

金子さんは説明します。「実験ではシリコンよりも安価なガラス基板を使っていたのですが、最終段階に入り、実際にシリコンウエハを使って作製してみたところ、このような事態が発生してしまったのです」

CD や DVD では経験したことがない出来事でした。その原因は、ドライエッチングの際、ピットの穴が、縦方向に、細く直角にエッチングされていることでした。

そこで、古木さんは、穴に傾斜を付けることにしました。その結果、ピットもげを回避することに成功。どうにか、第 4 コーナーを曲がり切ることができました。

「最後の最後まで気を抜けないのが、このプロジェクトの醍醐味でしたね」。古木さんは笑います。

ドライエッチングでは、活性ガスを使ってシリコンウエハに、20～80ナノメートルの深さで転写しています。ソニーは、ピットの側面に傾斜をつけるため、活性ガスの調整を行いました。吹きつけるガスの種類や圧力、速度、時間を変えていき、最適な条件を見つけていったのです。



スタンパー装置とウエハからスタンパーをはがすところ

## ライフエレクトロニクス分野にも生かされるナノメータ制御技術

金子さんは、NEDOの「ナノメータ制御光ディスクシステムの研究開発」プロジェクトをこう振り返ります。「製造工程、評価／計測などすべての工程や場面において、ナノメートルレベルで制御できなければなりませんでした。それは、とても1社だけでできるものではありません。まさに、総力の結集だったと思いますね」

山本さんも振り返ります。「『放送方式の変更は60年に1回』と言われる中、BSデジタルハイビジョン放送の開始という歴史の一場面を目前に控え、それに大きく寄与できる製品の研究開発に携わることができたというのは、技術者冥利に尽きます」

実際、プロジェクトの成果は、BDの実用化に不可欠な主要技術として、光ディスクの高機能化に大きく貢献しました。2008年には、ソニーをはじめプロジェクト参加企業によるBDドライブの世界市場のシェアは90%に及びました。現在も、BDドライブの販売台数は右肩上がりであり、世界規模で2011年には5000万台、2012年には6000万台の販売台数が見込まれるに至っています。

その一方で、ソニーは、2002年のプロジェクト終了後、同プロジェクトで培ったナノメータ制御技術を基にライフエレクトロニクス分野にも活動の場を広げています。

現在、コアデバイス開発本部で、ライフエレクトロニクスを担当している古木さんは、「微細加工されたプラスチックチップを用いて、細胞・DNA などを含む微量液体を診断目的で測定解析するラボオンチップという技術に、光ディスクの光学検出技術やマスター製造技術を活かすことがまさに可能です。」といいます。

ソニーが、同プロジェクトを通して培った技術や知識はこれからのハイビジョン映像時代を牽引していくとともに、ライフエレクトロニクス分野をはじめ、さまざまな分野で、大いに生かされていくことでしょう。（取材時期 2010 年 9 月～11 月）

#### <関連プロジェクト>

- ・ナノメータ制御光ディスクシステムの研究開発（1998 ～ 2002 年度）

[http://www.nedo.go.jp/activities/houkokusyo/denshi/h14jigo\\_nano.pdf](http://www.nedo.go.jp/activities/houkokusyo/denshi/h14jigo_nano.pdf)

CD も DVD も BD もすべてデータを記録している層の面積は同じです。それにも関わらず、記録容量が増えているというのは、どういうことなのでしょう。これは、“記録密度”が増えていることを表しています。つまり、単位面積あたりに記録できるデータ量を増やしているということです。

光ディスクでは、ディスクに刻んだ“ピット”と呼ばれる“穴”に半導体の光レーザーを当て、反射したレーザー光から、ピットのパターンをデジタル信号として読み取り、映像や音楽などに変換して再生しています。そのため、同じ面積により多くのピットを描画していくためには、ピットの長さやトラック間の距離（トラックピッチ）を小さくしていく必要があります。トラックピッチとは、レコード盤でいうところの溝と溝との間の距離のことです。溝と溝との距離を狭めて記録密度を上げるためには、溝幅自体も狭めなければなりません。また、溝幅を狭めるとレコード針の太さも細くする必要があります。このように、すべてを微細化しなければならないのです。

実際、図 A のように、CD では、最小のピット長が 0.83 ミクロン、トラックピッチは 1.6 ミクロン、DVD では、最小のピット長が 0.40 ミクロン、トラックピッチは 0.74 ミクロンですが、BD では、最小のピット長が 0.15 ミクロン、トラックピッチは 0.32 ミクロンと、CD や DVD に比べてピットの大きさもトラックピッチも、非常に小さくなっているのが分かります。

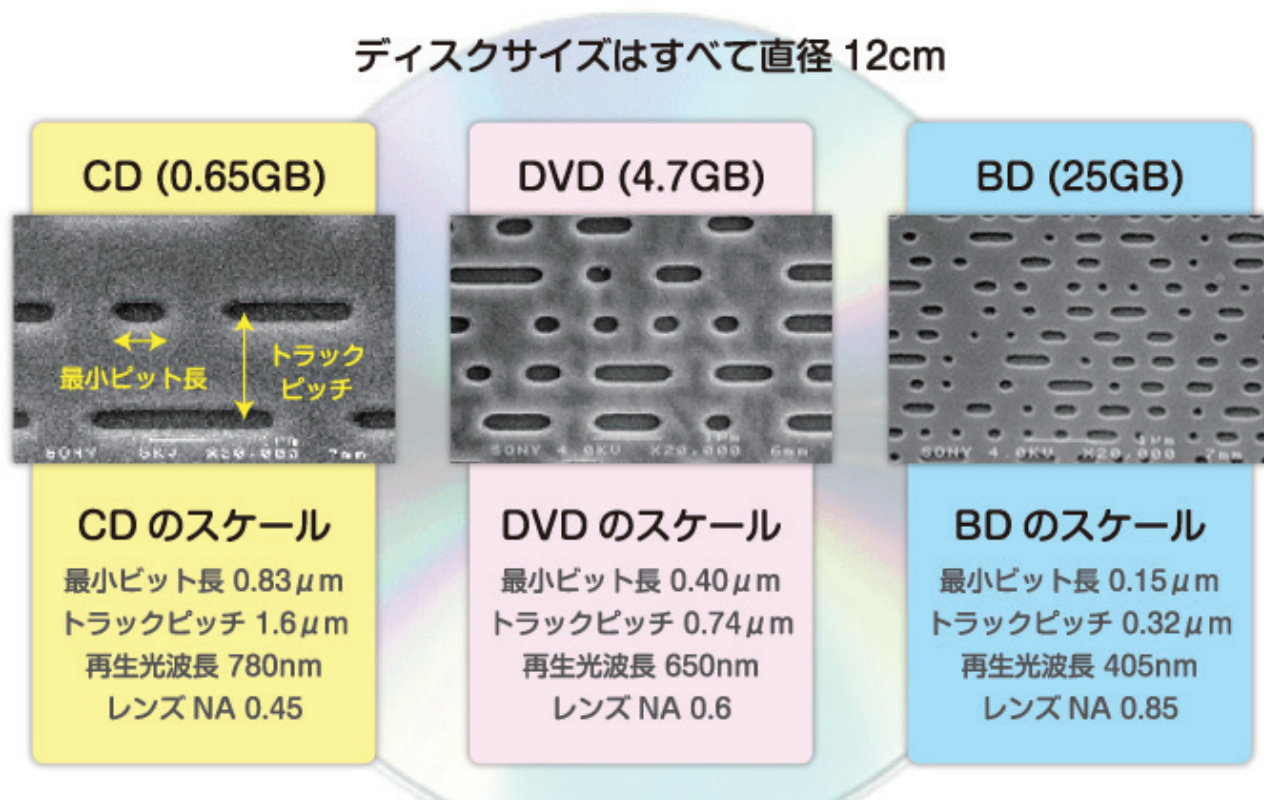


図 A : 光ディスクの高密度化 (= 大容量化)

しかし、単にピットの大きさやトラックピッチを小さくしても、それを読み取る光レーザーの“スポット”が大きければ、複数のピットのデジタル信号を同時に受信してしまうことになり、うまく信号処理できません。そこで、必要になってくるのが、波長の短い光レーザーです。波長が短ければ短いほどスポットの大きさは小さくできるからです。BD で、ブルーレーザーが使われているのは、そのためなのです。

図 B のように、CD では、波長 780 ナノメートルの赤外線レーザーが使われています。スポットの直径は 1.7 ミクロンです。また、DVD では、波長 650 ナノメートルの赤色レーザーが使われています。スポットの直径は 1.1 ミクロンです。CD も DVD も、それぞれ使われている光レーザーのスポットの直径に適したピット長、トラックピッチになっています。

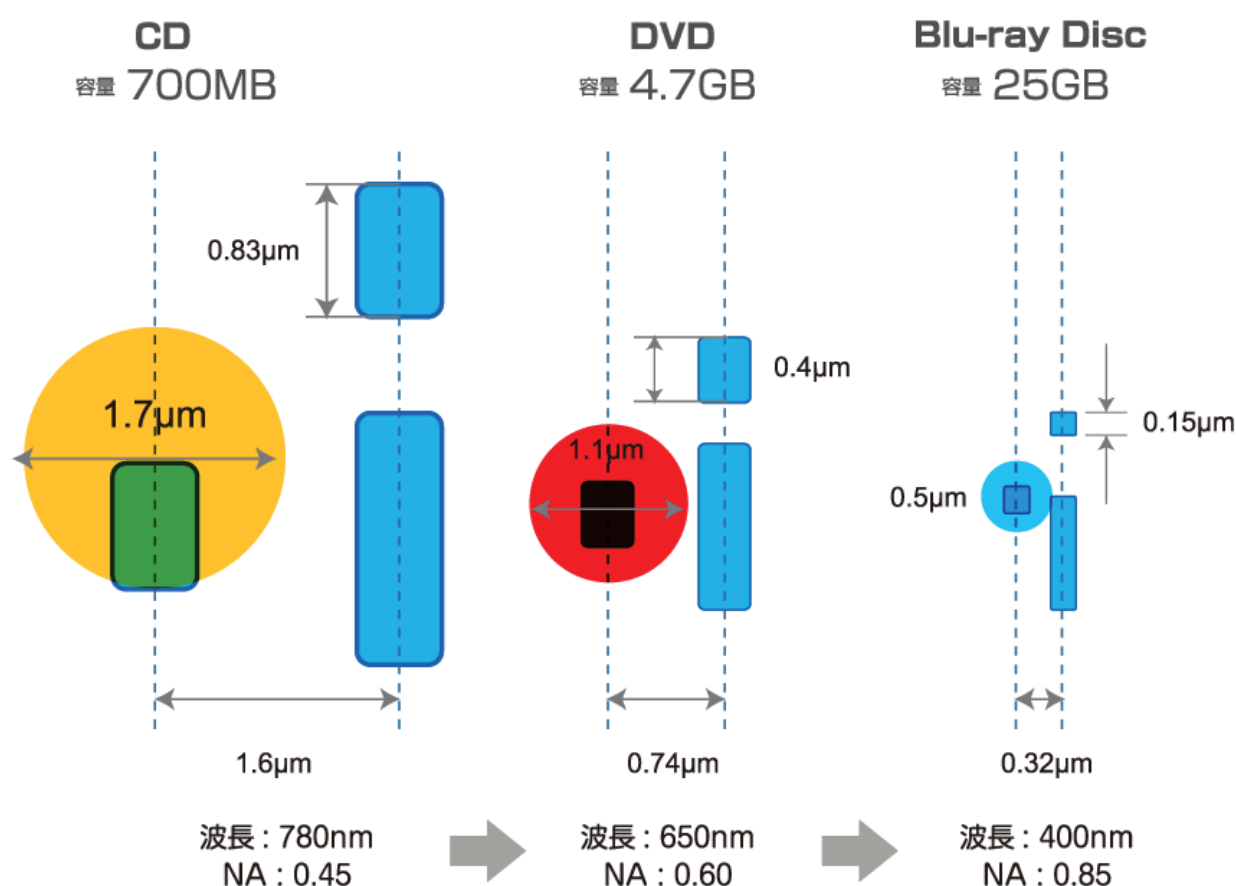


図 B : 光スポット径とピットサイズ

それに対し、BD で使われているブルーレーザーの波長は 400 ナノメートル、光スポットの直径は 0.5 ミクロンです。その結果、BD では、最小のピット長を 0.15 ミクロン、トラックピッチを 0.32 ミクロンにすることができ、記録容量を大幅に拡大することができているのです。

つまり、同じ面積の光ディスクで、データの記録容量を上げていくためには、ピットとスポットの両方を小さくしていく必要があり、ピットとスポットは切っても切り離せない関係にあるということなのです。

# 開発者の 横顔



「記録メディアとレーザーの専門家が集結」

## 記録メディアの歩みとともに

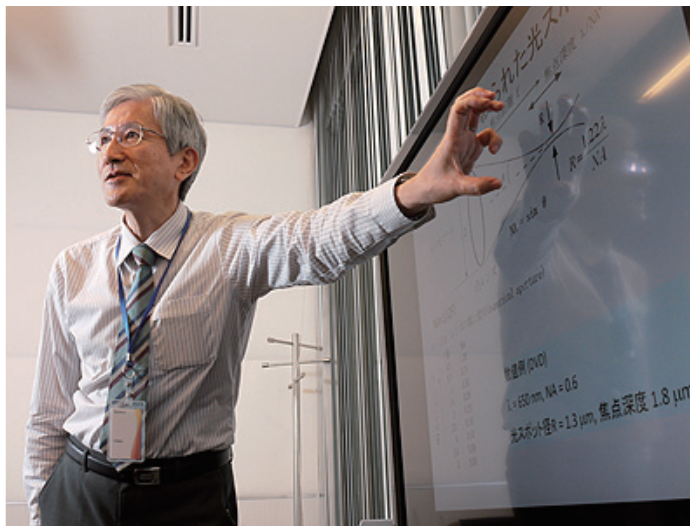
2001 年度後半から 2002 年度にかけてプロジェクトのリーダー的役割を務めた西谷清さんが入社後、最初に手掛けたのは家庭用ビデオの「ベータマックス」でした。「入社当初はテレビ番組の録画需要があるのかも分かりませんでした、お客様の反応から記録メディアは役に立つと確信しました」その後、8mm ビデオ、DVD の商品化にも注力しました。今回のプロジェクトでは磁気メディアを離れ、光ディスクの開発を担当、また、研究リーダーとして会社の枠を超え、チーム毎の目標設定や調整にも尽力しました。

## 磁気メディア一筋

金子正彦さんが入社後、最初に配属されたのは中央研究所でした。そこでは、磁気テープの磁性体の研究に没頭しました。その後は光磁気ディスク（MO）の開発を担当するなど長年にわたり、ソニーの記録メディアに携わってきました。「今回のプロジェクトでは、グループリーダーとして担当した企業間の予算配分に苦慮しましたが、色々な企業の技術者の方々と話をすることで、自分の知識や技術の幅を広げることができました」



西谷さん



金子さん

# レーザーの可能性に挑む

学生時代はヘリウムネオンレーザーの研究をしていた山本眞伸さん。入社後もレーザー関連製品一筋で研究開発に携わってきました。「学生時代から数えて、レーザーとの付き合いはかれこれ 40 年。入社当初はレーザーディスクを担当。その後、CD、DVD、BD と、ソニーの光ストレージの歴史とともに歩んできました。ブルーレイディスクは、レーザー光技術者としての集大成。レーザーの可能性を極限まで引き出すことができたと自負しています」

## 光ディスク技術の応用に取り組む

光ディスクのマスター作製工程で、微細加工の技術者として活躍した古木基裕さん。学生時代はレーザー分光を専攻していました。「今回のプロジェクトでは、ナノメーター制御ドライエッチング（RIE）という、技術に携わることができ、多くのノウハウを溜めることができました。2007 年からは光ディスクの応用展開ということで、ライフエレクトロニクスに携わっています」



山本さん



古木さん