Anritsu
Advancing beyond

Application Note

AH15199B 広帯域リニアアンプを用いた
短距離用 56 Gbaud 高速光デバイス (SiPh, DML) 評価

目次

1 背景 3
2 インターフェース 3
3 シリコンフォトニクス(SiPh)市場 4
4 光デバイス評価構成 5
5 光デバイス評価項目 6
5.1 光変調振幅(PAM4: Outer OMA) 6
5.2 TDECQ 6
5.3 リニアリティ(R_{LM}) 7
6 光デバイス評価 8
7 結論 9

1 背景

AI/ML の普及により、拡大する光通信市場で、大容量通信方式として 400GbE が広く普及し始めていますが、さらなる大容量化への対応のため IEEE802.3 ETHERNET WORKING GROUP では、1 レーンあたりの伝送容量が 100 Gbps, 200 Gbps での標準化が進んでいます。AH15199B 広帯域リニアアンプは、200GbE/400GbE/800GbE/1.6TbE で標準化が進んでいる 200 Gbps/レーンおよび Coherent 変調の評価に対応した>100 Gbaud 超の評価に適しています。また、Data Center 内の短距離用で主流の 100Gbps/レーン（56 Gbaud)の光デバイス（SiPh/DML 変調器）の性能評価にも適しています。

本アプリケーションノートでは、短距離用 56Gbaud 高速光デバイス評価を中心にまとめてあります。中・長距離用 >100 Gbaud 高速光デバイス評価については、「AH15199B 広帯域リニアアンプを用いた高速光デバイス(EML, LN-MZM)評価」を合わせてご覧ください。

2 インターフェース

IEEE 802.3dj 800 Gb/s, 1.6 Tb/s イーサネット タスクフォースでは、中距離向け（500m～2 km）を高速化した 200 Gbps/レーンの標準化(IMDD 方式)を進めています。また、長距離用(10 km 以上)では、IEEE 802.3dj や OIF でコヒーレント方式の標準化が開始されており、1T 超の光伝送システムが加速しています。そのような中、Data Center 内の短距離用（50-100 m）に標準化されている 100 Gbps/レーン(IMDD 方式)では、光デバイス(SiPh/DML)による小型・低消費電力化の対応が必要とされています。

IEEE802.3 /OIF Standard

Interface Ethernet Standard	Signaling Rate	MMF		SMF					
		50m (VR)	100m (SR)	500m (DR)	2km (FR)	10km (LR)	20km (ER)	40km (ER)	80km (ZR)
200G	100Gb/s 200Gb/s	200GBASE-VR2	200GBASE-SR2	200GBASE-DR1	200GBASE-FR1				
	Coherent								
400G	100Gb/s 200Gb/s	400GBASE-VR4	400GBASE-SR4	400GBASE-DR4 400GBASE-DR2	400GBASE-FR4 400GBASE-DR4-2 400GBASE-DR2-2				
	DP-16QAM 59.8GBd								400ZR
800G	100Gb/s 200Gb/s	400GBASE-VR8	800GBASE-SR8	800GBASE-DR8 800GBASE-DR4 800GBASE-FR4-500	800GBASE-DR8-2 800GBASE-DR4-2 800GBASE-FR4	800GBASE-LR4			
	DP-16QAM 118.2Gbd 123.6Gbd 123.6Gbd					800GBASE-LR1 800LR	800GBASE-ER1-20	800GBASE-ER1	800ZR
1.6T	100Gb/s 200Gb/s			1.6TBASE-DR8	1.6TBASE-DR8-2				
	16QAM 112Gbd								1600ZR

IMDD 56 Gbaud PAM4

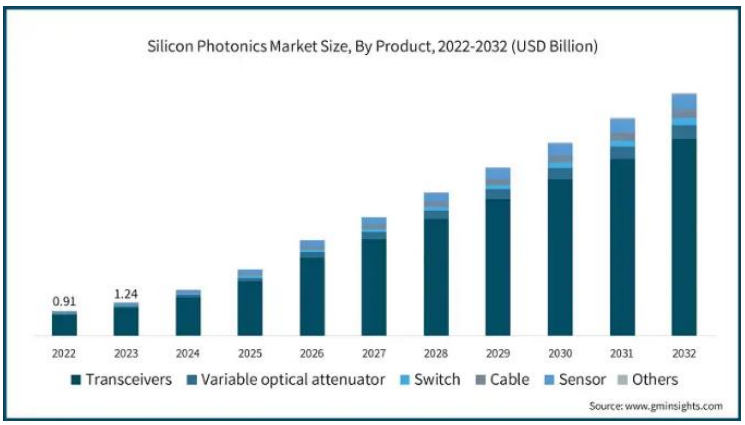
IMDD 118 Gbaud PAM4

Coherent 118-123 Gbaud PAM4

3　シリコンフォトニクス(SiPh)市場

世界のシリコンフォトニクス（SiPh）市場規模は、2023 年に 22 億 4000 万米ドルと評価されており、2024 年,26 億 9000 万米ドルから 2032 年までに 158 億 3000 万米ドル、CAGR 24.8 %で成長すると予測されています。

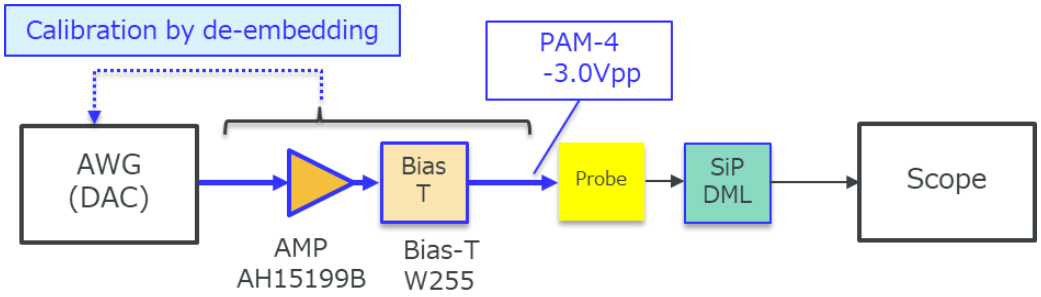
シリコン基板と光学デバイスを組み合わせることでより高速で信頼性が高く、コスト効率の高いデータ転送が可能になり、光通信デバイスの小型化、低消費電力化に期待されています。



Source: GMI Silicon Photonics Market Global Forecast (2024-2032)

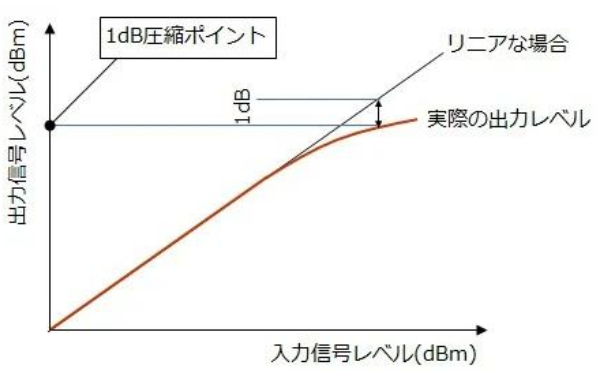
4　光デバイス評価構成

被試験デバイス（DUT）をテストする際の課題の 1 つは、信号源の波形品質の確認です。 そのため、ケーブル等外部機器の周波数特性(Loss)が信号歪に与える影響を、事前に AWG(DAC)のディエンベデッド機能により補正（校正）しておく必要があります。



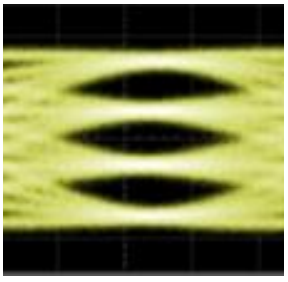
IMDD 光デバイス(SiPh, DML)評価構成例

小型・低コスト対応が要求される短距離用光デバイス（SiPh, DML）をテストするために、信号源は高出力で、被測定物(DUT)の目標性能に対して良好な波形品質であることが重要です。例えば、56 Gbaud で使用される SiPh/DML 変調器では、ドライブ信号として 3.0 Vpp 程度の高振幅が必要となる場合があります。AH15199B 広帯域リニアアンプは-6 dB で 130 GHz 以上の広帯域、P1dB 特性は 15 dBm 程度あります。56 Gbaud PAM4 信号の信号源を構成する場合、3.0 Vpp までの大振幅を出力することができます。その上、TDECQ=0.84 dB, R_{LM}=0.947(@Vout=3.1 Vpp)と良好な波形品質を実現しており、基準となる信号源として最適です。



アンプの入力レベル vs 出力レベル

56 Gbaud PAM4 Waveform
Vout=3.1 Vpp



光デバイス評価項目

5.1 光変調振幅(PAM4: Outer OMA)

レーザー光源によって生成された 2 つの光パワーレベルの差を測定します。NRZ 信号の場合、光源が「オン」のときは高レベル「1」、光源が「オフ」のときは低レベル「0」です。このパラメータは、消光比が高くない場合の信号変調の有効性を判断するのに役立ちます。PAM4 信号の場合、光源が「オン」の時は高信号レベル「3」と見なします。

5.2 TDECQ

TDECQ (Transmitter Dispersion and Eye Closure Quaternary)は、ターゲット SER(Symbol Error Rate) を達成するために DUT（送信機）に追加されるノイズ量（ノイズマージン）と、理想的な送信機に追加されるノイズ量（ノイズマージン）の比率であり、dB で表されます。TDECQ 値が低いほど、DUT 送信機は優れています。NRZ 信号とは異なり、PAM4 変調を備えた光トランシーバの場合、隣接する振幅レベル間の差が非常に小さいため、マスクマージンテストは適していません。そのため、以下に示すように、通常のマスクマージンテストに代わる TDECQ が規格化されました。

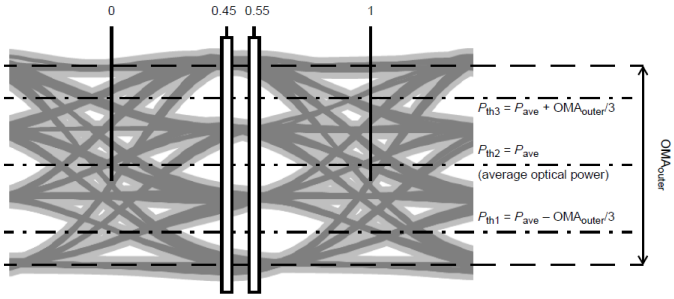


Illustration of TDECQ Measurement

Source: IEEE802.3-2022

$$R = \sqrt{\sigma_G^2 + \sigma_S^2}$$

$$TDECQ = 10\log_{10}\left(\frac{OMA_{outer}}{6} \times \frac{1}{Q_t R}\right)$$

R:　RMS noise,

Qt:　グレイコード化された PAM4 の BER およびターゲット SER と一致 (=3.414)

5.3 リニアリティ(RLM)

PAM 信号を評価する指標のもう 1 つの重要なパラメータとして、アイ比率または RLM（Ratio Level Mismatch: レベルの不一致の比率）があります。これは、伝送チャネルを通過した後の波形が、より理想（R_{LM} ≧ 0.95）に近い信号源であるかどうかを確認する指標です。以下に、RLM 評価を理解しやすいように、理想的な EYE 開口の PAM4 信号と非線形な EYE 開口の PAM4 信号での リニアリティ評価比較例を以下に示します。

$$V_{min} = \frac{V_0 + V_3}{2}$$

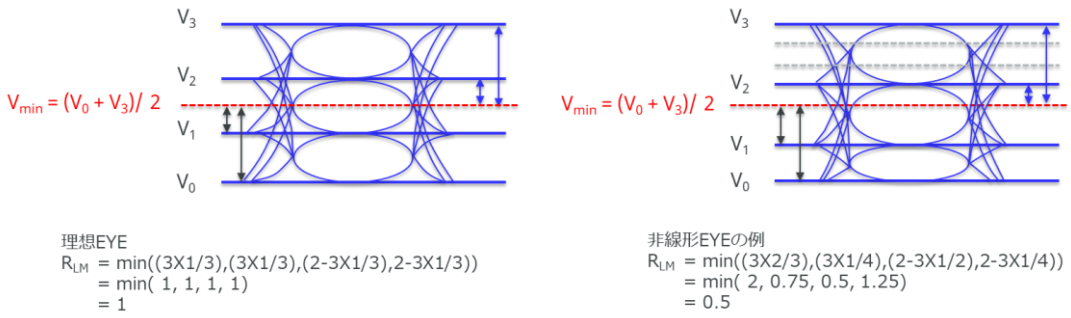
,

$$ES1 = \frac{V_1 - V_{min}}{V_0 - V_{min}}$$

,

$$ES2 = \frac{V_2 - V_{min}}{V_3 - V_{min}}$$

$$R_{LM} = \min\left((3 \times ES1), (3 \times ES2), (2 - 3 \times ES1), (2 - 3 \times ES2)\right)$$



リニアリティ(RLM) 評価例

5　光デバイス評価

IEEE802.3 規格では、Figure 124.-2a の例(400GBASE-DR4-2)に示すように、TDECQ の許容値を各 Outer OMA 条件に合わせて規定されており、各条件での確認が必要です。

以下に、広帯域リニアアンプを使用した 56 Gbaud PAM4 の出力波形（2.2 Vpp, 3.1 Vpp）を参考に載せてあります。

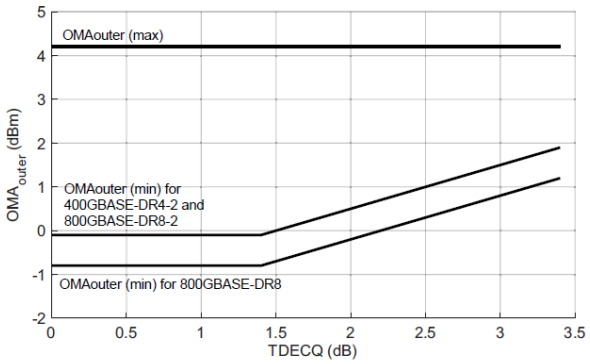
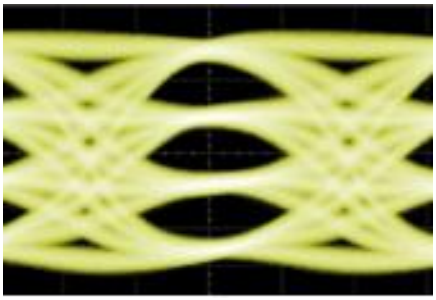


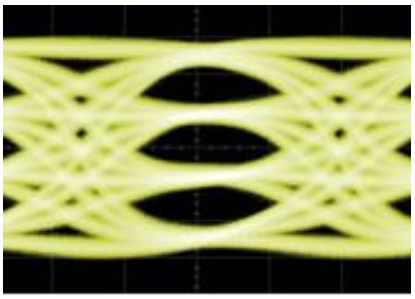
Figure 124–2a—OMAouter (max) and OMAouter (min) versus TDECQ for 400GBASE-DR4-2, 800GBASE-DR8, and 800GBASE-DR8-2

V_{out}=2.2 Vpp



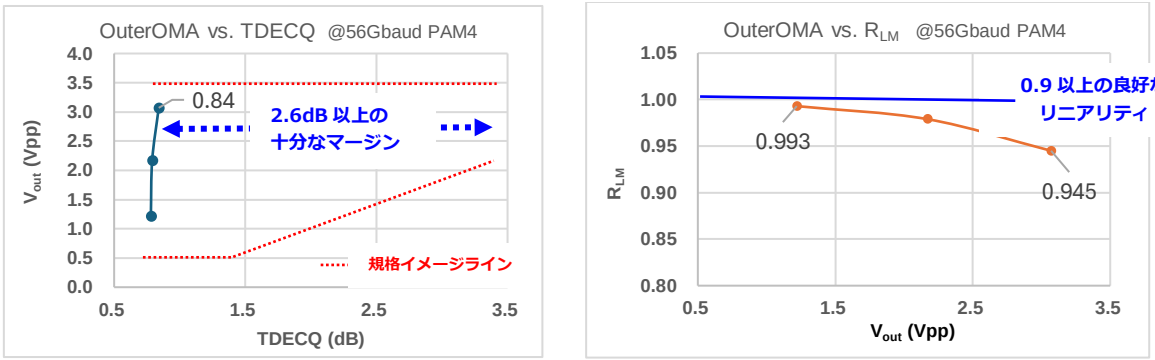
V_{in}=0.35 Vpp, R_{LM}=0.979, TDECQ=0.69 dB

V_{out}=3.1 Vpp



V_{in}=0.50 Vpp, R_{LM}=0.945, TECQ=0.84 dB

56 Gbaud PAM4 Waveform



Outer OMA vs. TDECQ/R_{LM}　Example (@56Gbaud PAM4)

これらの信号源を使用した時の光デバイスの TDECQ の評価時のマージンイメージを前頁に載せておきます。使用するデータレートでの規程を満足することは当然のこと、各出力条件で十分なマージンを維持することが、デジタル通信の信頼性の観点から非常に重要となります。

6 結論

光デバイスの評価には、さまざまの評価項目がありますが、それぞれ求められる測定項目や評価の複雑さが異なります。また、適応規格や他の製品との相互接続試験（適合テスト）をする必要もあります。アンリツは、56 Gbaud で 3.1 Vpp の高出力が可能で、SiPh/DML のような光デバイスの性能評価にも適している広帯域リニアアンプを提供しています。

今後もアンリツは、常に最新測定ソリューションをお客様に提供していきます。

Anritsu Advancing beyond

アンリツ株式会社

センシング&デバイスカンパニー　営業部
https://www.anritsu.com/sensing-devices

〒243-8555 神奈川県厚木市恩名5-1-1
TEL 046-296-6783 FAX 046-225-8390

お問合せURL
https://www.anritsu.com/ja-jp/sensing-devices/contact-us

ご使用の前に「UFEDデバイス取扱い上の注意点」をお読みください。
https://www.anritsu.com/ja-jp/sensing-devices/guide/electrondevices-handling

■本製品を輸外に持ち出すときは、外国為替および外国貿易法の規定により、日本国政府の輸出許可または役務取引許可が必要になる場合があります。また、米国の輸出管理規則により、日本からの再輸出には米国商務省の許可が必要となる場合がありますので、必ず弊社の営業担当までご連絡ください。
■記載事項はお断りなしに変更することがあります。

2025. 3. 12, No. D-AH15199B_1-J-F-1