

2013 年度 卒業論文
紫外線 LED の特性測定

甲南大学 理工学部 物理学科

宇宙粒子研究室

11061025 澤田 晃徳

～目次～

1. 目的

1-1 研究目的

1-2 CTA 計画とは

2. 装置特性

2-1 LED の発光原理

2-2 光電子増倍管

2-3 オシロスコープ

2-4 パルス・ジェネレータ

3. 実験方法

3-1 実験装置図

3-2 測定方法

3-3 使用 LED

4. 実験結果

5. まとめ

6. 今後の課題

7. 参考文献

8. 謝辞

1. 目的

1-1 研究目的

光電子増倍管の較正に、LED の光というのは欠かせないものである。本研究では、光電子増倍管に LED からのパルス発光による光を照射し、LED の特性を検査する。

特に、高速で反応する紫外線 LED を選定する。

本研究室の最終目標である宇宙線断層撮像装置の開発や CTA 計画に、本研究を役立てること。

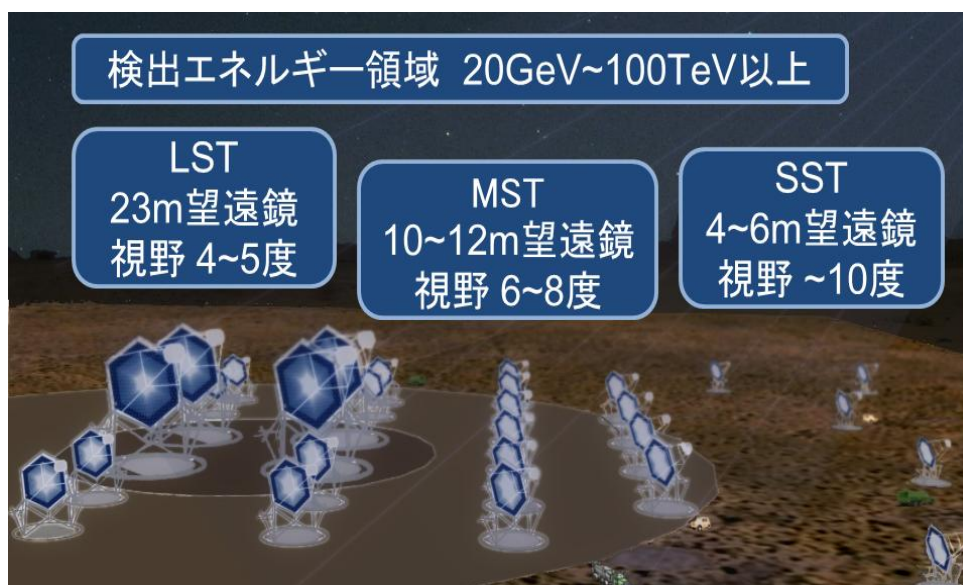


(左：光電子増倍管 右：LED)

1-2 CTA 計画とは

CTA 計画とは、大中小 3 種類の大きさの 100 台近いチェレンコフ望遠鏡を 3-10 km² の領域に敷き詰め、大規模な TeV ガンマ線天文台を南半球と北半球に建設し、高エネルギーガンマ線の検出感度をもう一桁向上し、より広い光子エネルギー領域を達成しようという計画である。

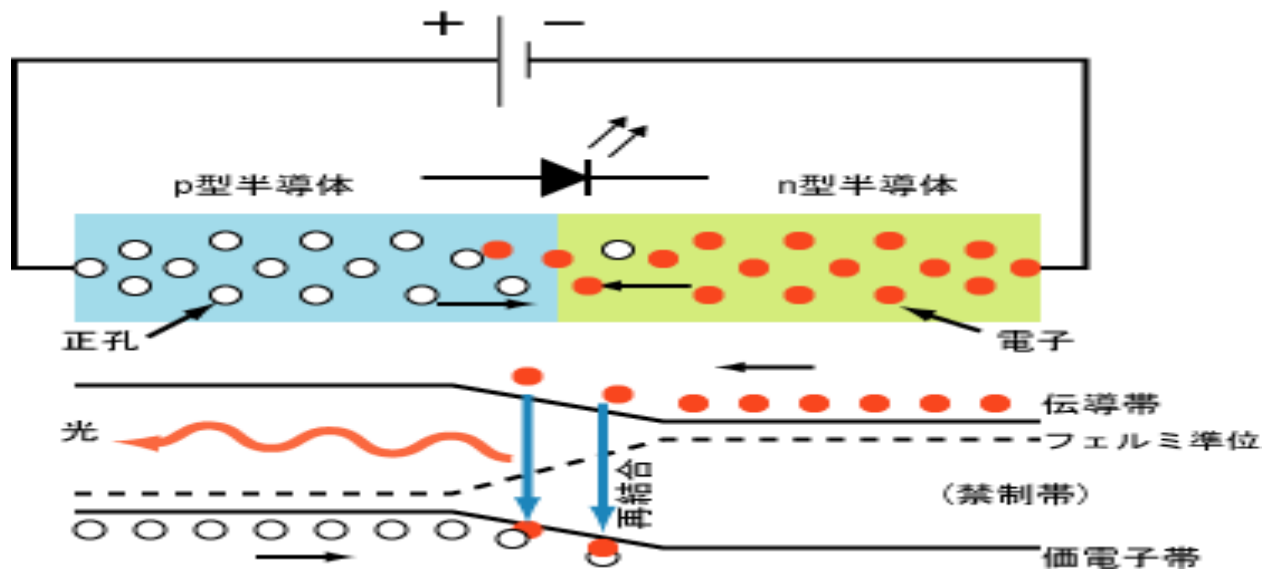
フェルミ衛星による高感度の GeV ガンマ線観測によって 新たな発見・展開が予想される中で、TeV ガンマ線望遠鏡の感度をさらに上げて、質のよいデータを供給し続けることが重要である。フェルミ衛星が稼働している期間内に CTA 計画が実現できたならば、フェルミ衛星のデータと合わせて 20 MeV から 100 TeV まで約 7 桁の広いエネルギー領域でのガンマ線スペクトルを得ることができる。



(上：CTA 計画の望遠鏡配置図、下：フェルミ衛星)

2. 装置特性

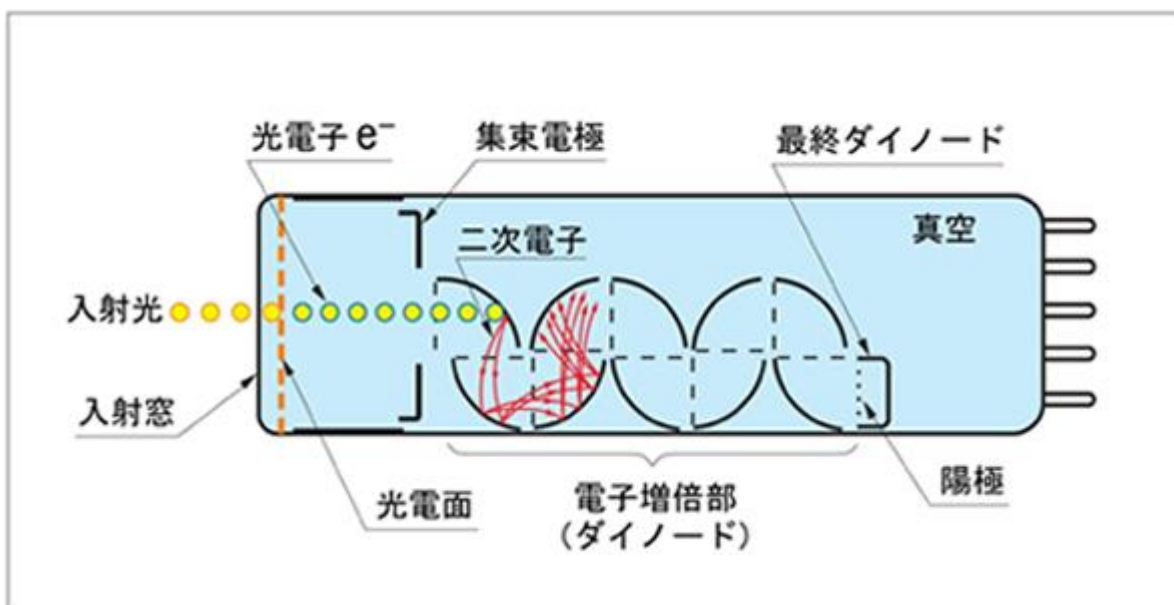
2-1 LED の発光原理



LED は、半導体を用いた pn 接合と言われる構造で作られている。半導体を結合した状態で電圧をかけると、p 型と n 型の半導体の中の正孔と電子が、正孔は電流の向きと同じ向きに、電子は逆向きに動き出す。これらは、違ったエネルギー帯（価電子帯と伝導帯）を流れ、pn 接合部付近で禁制帯を超えて再結合される。再結合時に、バンドギャップに相当するエネルギー、いわゆる余分なエネルギーが LED の光として放出される。放出される光の波長は、材料のバンドギャップによって決められ、これにより赤外線領域から可視光線領域、また紫外線領域まで様々な発光が得られる。

Wiki 参照

2-2 光電子増倍管

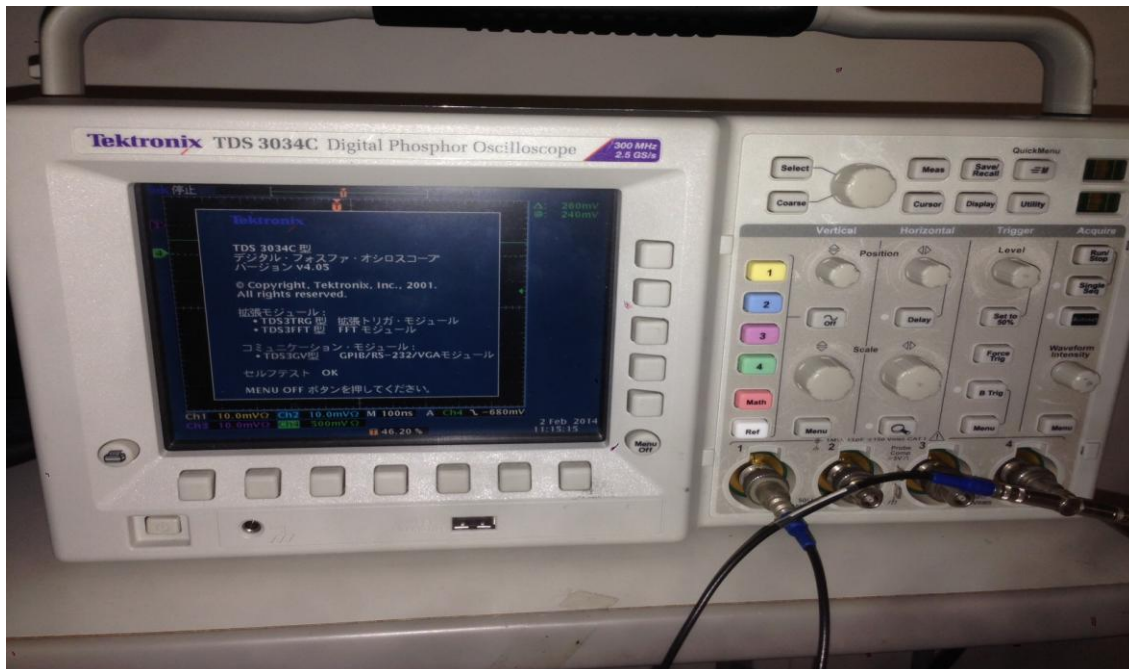


入射窓から入射した光子のエネルギーは光電陰極から光電子をたたき出し、その光電子は集束電極により効率よく導かれるとともに、加速電圧によりエネルギーを与えられて電子増倍部の第一ダイノードに衝突する。その結果、一個の光電子は数個の二次電子をたたき出し、それらは第二ダイノードに入って、さらに増倍される。これを繰り返して、最終的には数十万倍から数千万倍にもなって陽極に到達し、信号電流として外部に取り出される。本研究では、光電子増倍管に 1500V の高圧電源を印加した。

Wiki 参照

図 : <http://www2.hama-med.ac.jp/w1b/derm/35JSPP/optionaltour.html> 参照

2-3 オシロスコープ



オシロスコープとは、時間の経過とともに電気信号（電圧）が変化していく様子をリアルタイムでブラウン管に描かせ、目には見えない電気信号の変化していく様子を観測できるようにした波形測定器である。縦軸は電圧を、横軸は時間を表している。

本研究では、1ch に光電子増倍管からの信号を、4ch に LED のパルス波を表示するようにした。

<http://www.cqpub.co.jp/column/books/2001a/11891osiro/> 参照

2-4 パルス・ジェネレータ



パルス・ジェネレータとは、パルスを発生させる装置である。

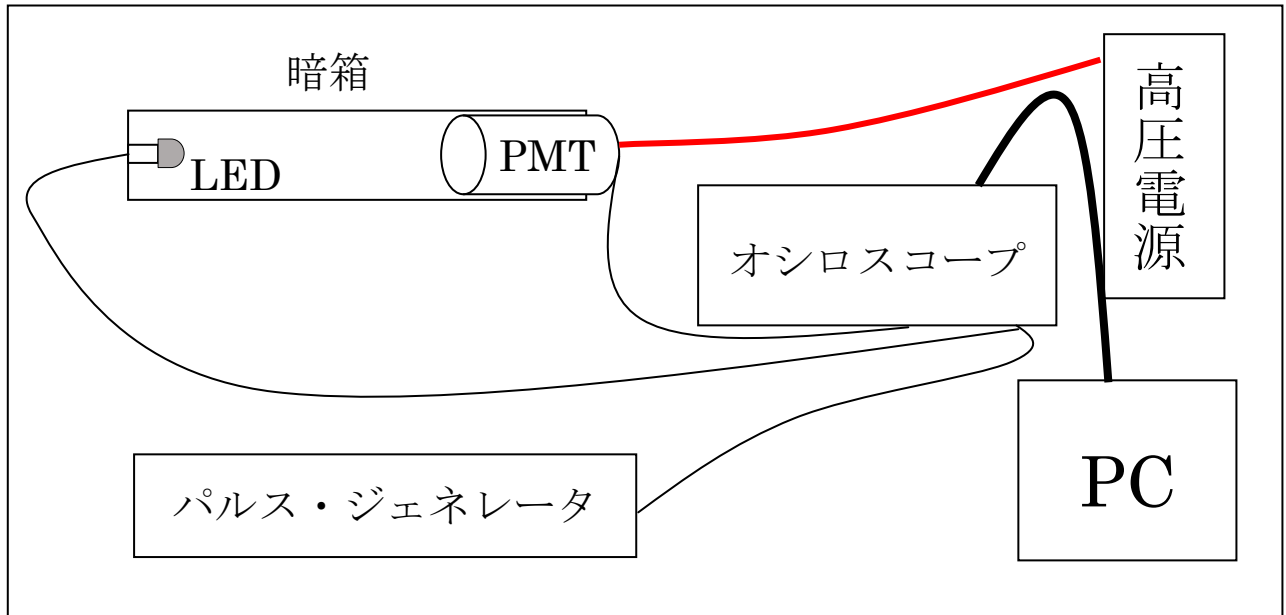
パルスとは、非常に継続時間の短い、すなわち短い時間だけ流れる電流。一般に波高率（波高値と実効値の比）の大きい波形が多数繰り返される信号電流をさす。

Wiki 参照

<http://kotobank.jp/word/%E3%83%91%E3%83%AB%E3%82%B9> 参照

3. 実験方法

3-1. 実験装置図



円筒に光電子増倍管と LED を入れて、オシロスコープの 1ch に光電子増倍管を、4ch に LED とパルス・ジェネレータをつないで、光電子増倍管に高圧電源 1500V を印加する。そして、暗箱に暗幕をかけて遮光をしっかりとした上で実験を開始する。

3-2 実験方法

- ① 3-1 の図のように、実験装置を準備する。
- ② パルス・ジェネレータからパルス波を送り、LED を発光させる。
- ③ 読み取った波形をオシロスコープで確認し、光電子増倍管からの信号が 10mV を示すように、パルス波を調節する。
- ④ ①～③まで完了したら、PC を操作して LED からの信号を 2000event とる。
- ⑤ 2000event とり終わったら、そのデータを解析し平均を取る。
- ⑥ 以上を多数の LED に対して行い、最も反応速度の速い LED を特定する。

3 - 3 使用 LED

LED	個数(単価)	順方向電圧(V)
LED3UV-400-30	1 個(359 円)	4
LED5UV-400-30	1 個(292 円)	4
NSHU550A	1 個(500 円)	4
NSPB310A	1 個(250 円)	4
NSPB300A	1 個(223 円)	4
NSPBF50S	1 個(272 円)	4
SL903BCE	1 個(224 円)	4.5
SLA560BC4T3F	5 個(273 円)	3.2
SLA580BC4T3F	5 個(141 円)	3.2
UV3TZ-390-15	2 個(186 円)	3.8
UV3TZ-390-30	2 個(172 円)	3.8
UV3TZ-395-15	2 個(252 円)	3.8
UV3TZ-395-30	2 個(186 円)	3.8
UV3TZ-405-15	2 個(186 円)	3.8
UV5TZ-390-15	2 個(186 円)	3.8
UV5TZ-390-30	2 個(186 円)	3.8
UV5TZ-395-15	2 個(186 円)	3.8
UV5TZ-395-30	2 個(186 円)	3.8
UV5TZ-400-15	2 個(186 円)	3.8
UV5TZ-400-30	2 個(186 円)	3.8
UV5TZ-405-15	2 個(186 円)	3.8
UV5TZ-405-30	2 個(186 円)	3.8

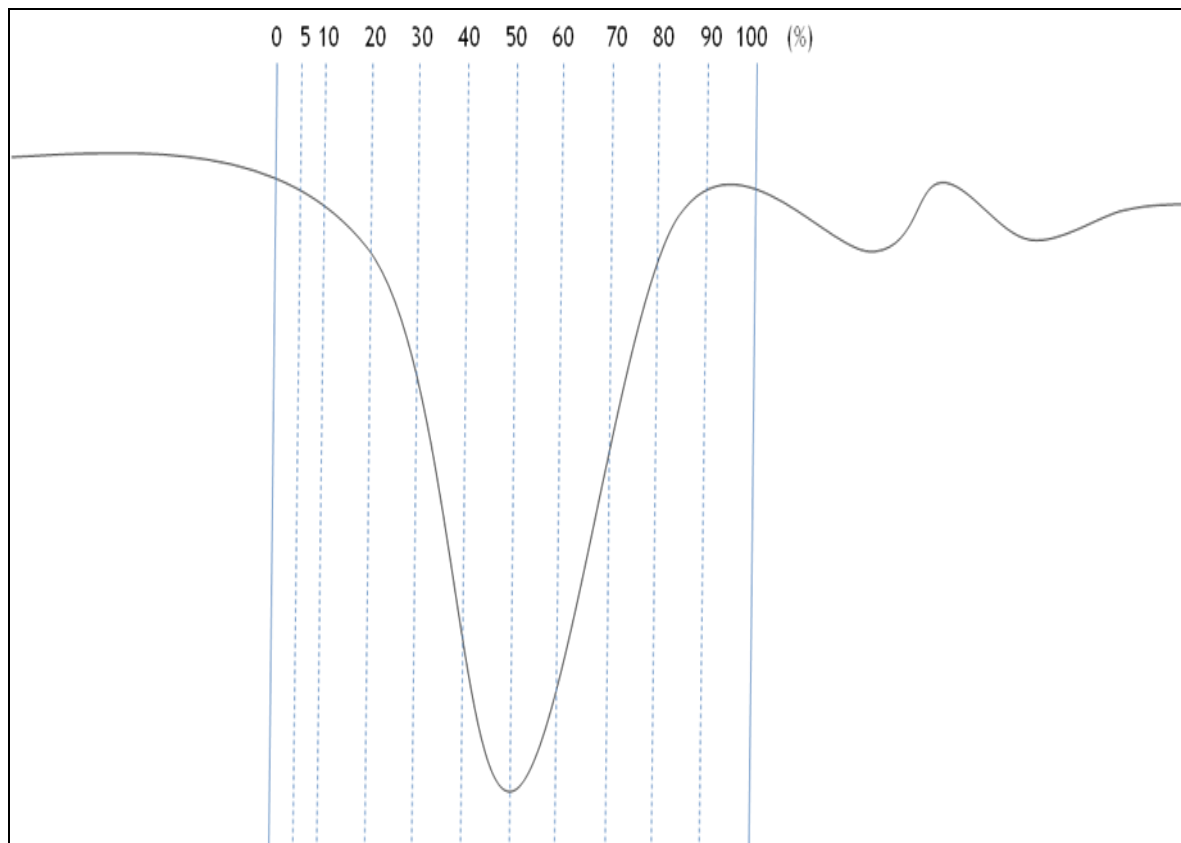
4. 実験結果

測定データ(使用LED名)	Peak	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
130927p1(SLA580BC4T3F)	297	290	292	293	294	295	295	296	297
130927p2	297	290	291	293	294	295	295	296	297
130927p3	297	289	291	292	293	294	295	296	297
130927p4	296	287	289	291	292	293	294	295	296
131024p1(NSPBF50S)	328	324	326	327	328	329	330	331	332
131024p2	328	325	326	327	328	329	330	331	332
131024p3	329	324	326	327	328	329	330	331	332
131024p4	300	296	297	299	300	301	302	303	304
131025p1	399	390	391	393	393	394	395	395	396
131107p1	327	322	323	324	325	325	326	326	327
131107p3(NSHU550A)	211	203	205	206	207	208	209	210	211
131107p4(NSPBF50S)	215	207	210	212	215	217	219	222	224
131108p1(UV3TZ-390-30)	192	185	187	188	189	190	190	191	192
131108p2(UV5TZ-400-15)	210	203	205	206	207	208	208	209	210
131129p1(UV3TZ-395-30)	231	224	226	227	228	229	230	231	232
131129p2(UV3TZ-395-15)	275	267	269	270	272	272	273	274	275
131129p3(260027)	271	263	265	267	268	268	269	270	271
131205p2(SLA560BC4T3F)	268	260	262	263	264	265	266	267	268
131212p1(SL903BCE)	251	240	245	250	254	258	263	268	273
131213p1(NSPB300A)	237	230	233	235	237	238	240	243	245
131213p2(UV5TZ-395-30)	230	224	225	227	227	228	229	230	231
131219p1(NSPB310A)	234	226	229	232	234	236	238	241	243
131219p2(UV5TZ-400-30)	230	223	225	226	227	228	229	229	230
131220p1(UV5TZ-405-15)	231	224	226	227	228	229	230	231	231
131220p2(UV3TZ-390-15)	257	250	252	253	254	255	256	256	257
131220p3(UV5TZ-390-15)	257	250	252	253	254	255	256	257	257
131220p4(UV5TZ-405-30)	258	251	253	254	255	256	256	257	258
140109p1(UV5TZ-395-15)	261	254	256	257	258	259	260	261	262
140109p2(UV5TZ-390-30)	258	251	253	254	255	256	257	258	259
140109p3(UV5TZ-390-30)	257	250	252	253	254	255	256	257	257
140109p4(260028)	257	250	252	253	254	255	256	257	257
140109p5(UV3TZ-405-15)	258	251	253	254	255	256	257	257	258

45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
297	298	299	300	301	302	303	304	306	309	313	42
298	299	299	300	301	303	304	306	308	312	319	0
297	298	299	300	301	302	303	305	307	310	315	0
297	298	299	299	300	302	303	304	306	309	314	0
333	334	336	338	339	341	343	346	351	361	379	33
333	334	335	337	338	340	343	346	350	358	374	18
333	334	336	337	339	341	343	345	349	356	367	4
305	306	307	309	311	313	315	318	322	329	344	0
396	396	397	397	397	398	398	398	399	399	399	0
327	327	328	328	329	330	330	331	332	334	339	0
212	213	214	215	216	217	218	220	222	226	237	0
227	230	233	237	241	246	252	260	270	286	313	0
193	193	194	195	196	197	199	201	203	206	219	0
211	211	212	213	214	215	217	219	221	224	236	0
232	233	234	235	236	237	239	241	243	246	257	0
276	277	277	278	279	281	282	284	286	290	301	0
271	272	273	274	275	276	278	279	282	285	297	0
269	270	271	272	274	275	277	279	282	287	296	0
278	284	291	298	306	315	325	336	348	362	379	0
247	250	252	256	260	264	269	277	288	301	327	0
231	232	233	234	235	236	237	239	241	244	257	0
246	249	253	257	262	267	274	284	295	313	340	0
231	232	233	233	234	235	237	239	241	244	256	0
232	233	234	234	235	237	238	240	242	245	257	0
258	259	259	260	261	262	264	266	268	271	283	0
258	259	260	261	262	263	264	266	268	271	284	0
259	259	260	261	262	263	264	266	268	271	284	0
262	263	264	265	266	267	269	271	273	276	289	0
259	260	261	262	263	264	266	268	270	273	286	0
258	259	260	261	262	263	265	266	269	272	285	1
258	259	260	261	262	263	264	266	268	271	284	1
259	260	260	261	262	263	265	267	269	272	284	0

立ち上がりの速さ	立ち下がりの速さ	全体の速さ	単価 (円)	準方向電圧 (V)
3.2	2.4	5.6	141	3.2
3.6	2.8	6.4	141	3.2
3.6	2.8	6.4	141	3.2
4.4	2.4	6.8	141	3.2
4.0	4.8	8.8	272	4
3.6	4.8	8.4	272	4
4.0	4.4	8.4	272	4
4.0	4.8	8.8	272	4
2.4	0.8	3.2	272	4
2.0	1.6	3.6	272	4
4.0	2.8	6.8	500	4
9.2	12.0	21.2	272	4
3.2	3.2	6.4	172	3.8
3.2	3.2	6.4	186	3.8
3.6	3.2	6.8	186	3.8
4.0	2.8	6.8	252	3.8
3.6	2.8	6.4	359	4
4.0	3.6	7.6	273	4
17.6	20.8	38.4	224	4.5
8.0	10.8	18.8	223	4
3.2	2.8	6	186	3.8
9.2	14.0	23.2	250	4
3.6	2.8	6.4	186	3.8
3.6	2.8	6.4	186	3.8
3.6	2.8	6.4	172	3.8
3.6	2.8	6.4	186	3.8
3.2	2.8	6	186	3.8
3.6	3.2	6.8	186	3.8
3.6	3.2	6.8	186	3.8
3.6	2.8	6.4	186	3.8
3.6	2.8	6.4	292	4
3.6	2.8	6.4	186	3.8

以下に立ち上がりの速さ、立ち下がり速さ、全体の速さの計算方法を記しておく。



立ち上がりの速さ・立ち下がり速さ・全体の速さは、それぞれ上の図より

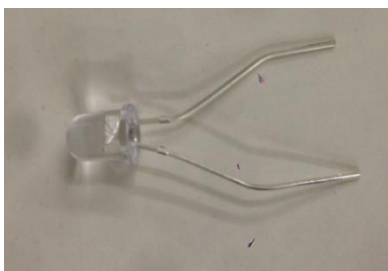
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{立ち上がりの速さ} : (50\% - 5\%) * (20/50) \\ \text{立ち下がり速さ} : (80\% - 50\%) * (20/50) \\ \text{全体の速さ} : (80\% - 5\%) * (20/50) \end{array} \right.$$

で計算されている。

使用した LED の中で、立ち上がり、立ち下がり、全体の速さが

- ① 最も速いもの
 - ② 最も遅いもの
 - ③ 速かったが、生産中止になってしまったもの
- の 3 つをピックアップしてみる。

①



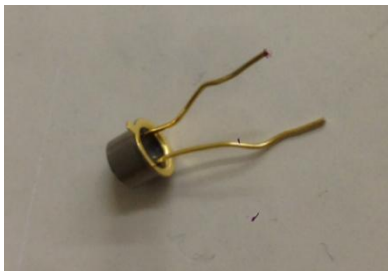
名称：UV5TZ-395-30、波長：395nm、単価：186 円、順方向電圧：4V
立ち上がりの速さ：3.2s、立ち下がりの速さ：2.8ns、全体の速さ：6ns

②



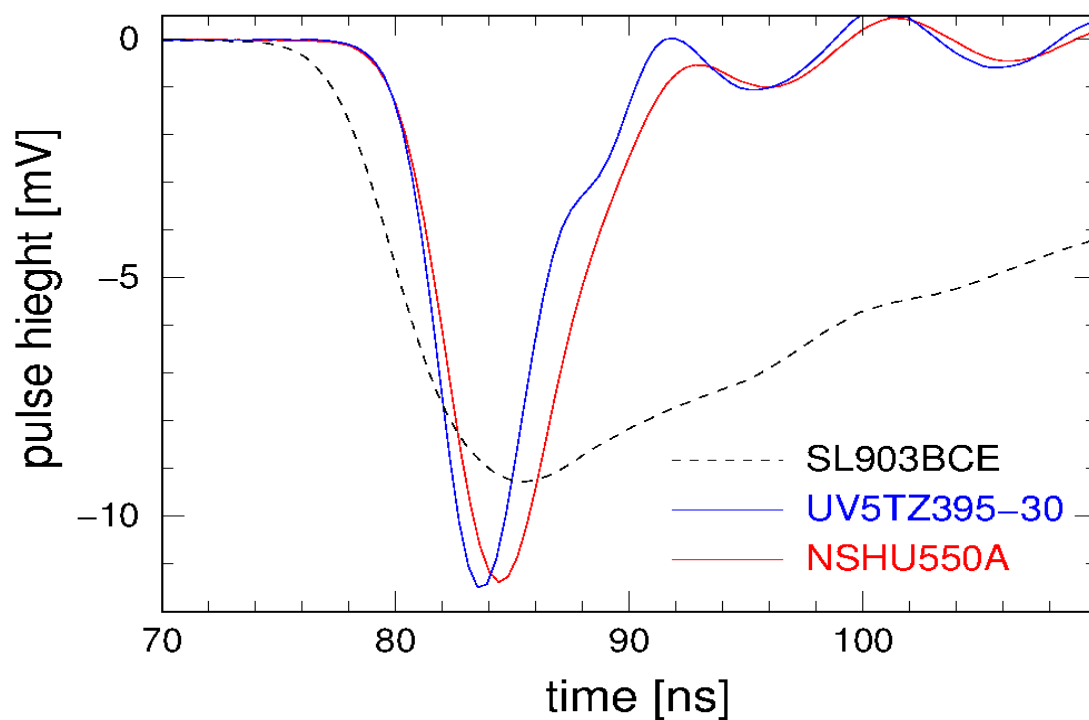
名称：SL903BCE、波長：430nm、単価：224 円、順方向電圧：4.5V
立ち上がりの速さ：17.6ns、立ち下がりの速さ：20.8ns、全体の速さ：38.4ns

③

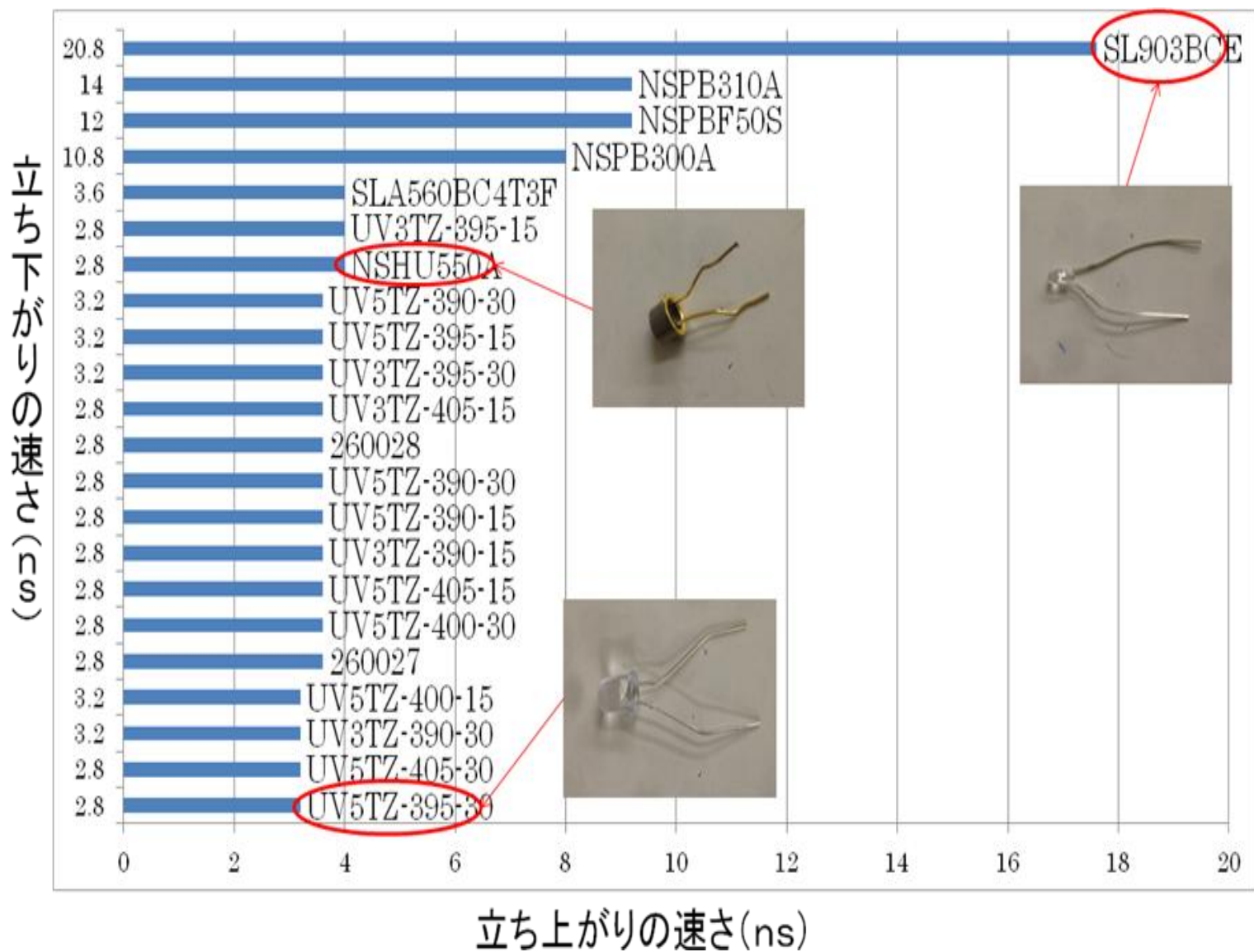


名称：NSHU550A、波長：375nm、単価：500 円、順方向電圧：3.8V
立ち上がりの速さ：4ns、立ち下がりの速さ：2.8ns、全体の速さ：6.8ns

上記の 3 つの LED の波形を解析して、比較したものが下の図になる。



図を見て分かる通り、UV5TZ-395-30 は一番反応速度が速い。しかし一番安定した形をしているのは NSHU550A である。



縦軸に立ち下がり（ns）の速さ、横軸に立ち上がり（ns）の速さをとってグラフにすると、上図のようになる。

赤い丸で囲んでいる LED は、

- ・一番反応速度の速い LED (UV5TZ-395-30)
- ・一番反応速度の遅い LED (SL903BCE)
- ・生産中止となった日亜化学の LED (NSHU550A)

の 3 種類である。

5. まとめ

本研究で、生産中止となった日亜化学の NSHU550A という LED の後継となる、NSHU550A よりも安価で反応速度の速い UV3TZ-395-30 という LED を、選定することができた。

しかし、その速さが何と関連しているのかの法則性を調べることは出来なかった。

6. 今後の課題

今後の課題として、

- ・ LED の反応速度は、何と関連しているかの法則を見つけ出すこと。
 - ・ 速さだけではなく、安定性も兼ね備えた LED を見つけ出し、光電子増倍管の較正をより正確に行えるようにすること。
- が、今後の課題として挙げられる。

7. 参考文献

Wikipedia

コトバンク : <http://kotobank.jp/word/%E3%83%91%E3%83%AB%E3%82%B9>

オシロスコープ入門 (著作・制作 田中新治) :

<http://www.cqpub.co.jp/column/books/2001a/11891osiro/>

第 35 回日本光医学・光性物学会 :

<http://www2.hama-med.ac.jp/w1b/derm/35JSPP/optionaltour.html>

8. 謝辞

本研究にあたり、先生方に忙しい中お時間を割いていただきながら適切なご指導を頂き、また大学院生の方や同期の皆の協力もあり、本研究に臨むことができました。皆様には大変ご迷惑をおかけしたと思いますが、この場を借りて御礼申し上げたいと思います。本当にありがとうございました。