UV の工業分野への応用展開[†]

専門会員 錦 織 宏 介^{*}

1. は じ め に

太陽光による「肌の日焼け」や「日光消毒」は、古くから経験的に利用されている。これは、太陽光に含まれる紫外放射の効用によることが確認され、これと共に紫外光源の研究開発が促進された。今や紫外放射は、殺菌のための手段のみならず、電気・電子製品、印刷物や自動車・家具製品などの各種工業製品の製造過程に利用され、ハイテク製品や材料の出現や工業製品の高品質化に大きく貢献している。また、紫外放射の化学作用性を利用して、自然環境意地のための各種浄化装置などの新しい応用が広まりつつある。

ここでは、紫外放射の工業分野への幅広い応用の中から代表的な例について紹介する。

2. 紫外放射について¹⁾²⁾

紫外放射は、波長の短い宇宙線から非常に長い電波に至

る電磁波の一部で、その波長が100nm～380nm の範囲を指す。紫外放射は、さらに波長によって物理的作用や化学的作用の他に、生物に対する生理作用が異なるため、CIE(国際照明委員会)によって可視光に遠い方から、100～280nm を UV-C、280～315nm を UV-B、315～400nm を UV-A の三種類に分類されている。紫外放射源として、その物理的・化学的特長や光源材料との親和性など製造上の要因から、水銀が利用されている。その発光スペクトルから、各々の波長域の特性を利用して、表1に示すように紫外放射は各種工業分野に応用されている。

3. 印刷・塗料・接着分野

工業面において最も紫外放射の応用の進んでいるのが、紫外硬化(以後 UV 硬化と記す)の分野である。UV 硬化の工業への応用は、1968年に西独のバイエル社で不飽和ポリエステル系の UV 塗料が開発され、パーティクルボードの目止めなど家具工業に採用された。1969年には米国で高圧

表1 紫外放射の作用効果と応用例

波長 nm	紫 外 放 射 (100～380nm)					可視放射
	UV-C		UV-B	UV-A		
	100	200	280	315	400	460
工 業 応 用	オゾン生成・陰イオン生成(脱臭、水処理、空気清浄)					
	表面洗浄：オゾン+UV (IC、液晶、合せガラス、蒸着前処理)					
	殺菌(表面・水・空気殺菌)					
	有機物分解(超純水)					
	光分解(ジアゾ複写)					
	光架橋、光重合(製版、塗料硬化、インキ乾燥)					
	光崩壊・退色(耐光試験)					
	光合成(ナイロン原料、化学物質)					
	ビタミンD生成(しいたけ、飼育)					

[†] Application of UV to Industries
^{*} (株)アイテック Kousuke Nishikori

水銀ランプ (80W/cm) 6 灯式の多色刷オフセットカートン印刷に工業応用がなされた。日本においては、1971年に UV 硬化インキとコーティング剤が実用化され金属印刷や紙器印刷に利用された。以後、オフ輪印刷やシール印刷などへ利用されるようになった。UV 硬化の工業分野は、印刷分野への応用が65%前後に達し、残りがコーティング、塗料や接着分野への応用である。

UV 硬化方は、従来のインキや塗料などに較べて、無溶剤系で、瞬時乾燥性であるなど表 2 に示す様な特長から、工業生産過程への応用範囲が日毎に拡大している。インキや塗料の多様化により、表 3 に示す様に樹脂の硬化は 200～450nm の紫外放射範囲において、水銀の発光を利用する高圧水銀ランプの他に各種金属の発光を利用したメタルハライドランプが適宜利用されている。

3-1. 印刷分野²⁾

表2 UV 硬化の特長

特 長	用 途 と 長 所
瞬間乾燥 熱がかからない 照射装置が小さい 省エネルギー 無公害 無臭	カルトン印刷時、スプレーパウダーが不要 プラスチック製品への印刷が可能 印刷後のオープンが不要または小型 排ガス処理が不要 溶剤蒸発の心配が無い 臭いを嫌う食品用品への印刷に適する。

表3 光源の波長域と応用性

主 波 長 域	用 途
254nm,365nm	トップコートやハードコート用の クリア塗料の表面硬化
350nm～400nm	多色印刷、電子部品マーキング 接着、着色コーティング
400nm～450nm	木工用エナメル塗料用で 厚膜硬化

図1 金属印刷機械 UV 装置

図2 スクリーン印刷用 UV 装置基本構成例

印刷に利用される UV 硬化システムは、印刷機またはコーターに組み込む方式と別置方式に大別される。被照射物の温度特性によって、コールドミラーや熱線カットフィルターを利用してシステムが構成されている。

図 1, 2 に印刷機組み込み方式の金属印刷用 UV 硬化システム例とスクリーン印刷用の UV 硬化システムの基本構成例を示す。

3-2. 塗装・接着分野³⁾⁵⁾

UV 硬化システムの基本は、前記の印刷用と同じである。応用例は、多様化を極めているが風防、自動車用部品、メ

ガネレンズや OA 機器部品などのプラスチック類のハードコーティングや飲料用缶の外表面、鋼管の防錆、照明器具類、セメント系素材の家具や木質系素材の家具などの表面コーティングに利用されている。図 3, 4 に幅木や回り縁などの木工の造作材のコーティングとして 3 Kw メタルハライドランプを応用した細物全周塗装用装置例と座卓の天板や花ビン台などの高級塗料用として赤外放射ランプとケミカルランプと紫外放射ランプを備えた高級塗装用 UV 硬化システム例を示す。

図3 細物全周塗装用 UV 装置例

図4 高級塗装用 UV 装置例

4. 半導体分野

今や半導体は「産業の米」として不動の地位を確立している。半導体の集積度合によって IC や LSI と呼ばれメモリーの高容量化は、1M ビット DRAM が今や 64 ビット DRAM へ、さらに高容量へと開発が行われている。この発展は、シリコン基板上に必要な素材の形成とそのための洗浄処理そして素子や回路のパターンの転写技術リソグラフィと微細加工技術を中心とする製造技術によって支えられている。この工程の中に、紫外放射が大きく貢献している。

4-1. 光 DVD⁶⁾⁷⁾

半導体の性格の基礎を植え付けるためのウエハ上への Si や P や Al などの各種のエピタキシャル技術は、加熱法による方式が多く利用されている。最近、パッシベーション形成の低温化技術の一環として、 $\text{SiH}_4\text{-NH}_3$ 系に水銀の 254nm をリアクター外部から照射して窒化シリコン膜を形成させる方式が研究開発されている。これらの技術開発によって、チップのプリント基板への直接実装が期待されている。

4-2. 光洗浄⁸⁾⁹⁾

半導体素子や液晶素子などの特性に影響を及ぼす極微細な表面不純物を除去する方法として、液体を使用することなく紫外放射とオゾンによる乾式状態で行うことが実用化されている。これは、光洗浄または UV オゾン洗浄などと呼ばれ精密洗浄の一つとして位置付けられている。この原理は、185nm の紫外放射により励起酸素原子を発生させ

図5 光洗浄装置構成例

る。生成された励起酸素原子と 185nm と 254nm の紫外放射は、相乗作用により有機成分を酸化分解する。この洗浄達成度は、洗浄面上の接触角や水蒸気付着テストやオージェ電子分光法などで評価される。図 5 に洗浄装置の例を示す。

この光洗浄は、後述のリソグラフィの工程において不要となったレジスト除去の工程で紫外放射とオゾンとによって洗浄除去に利用される。この工程は光アッシングとも言われている。

また、洗浄の他の応用としてプラスチックの表面改質によりメッキ性や塗装性の改善の利用がある。

4-3. リソグラフィ¹⁰⁾¹¹⁾

リソグラフィは、表 4 の様にウエハプロセスにおいてレジストプロセスとエッチングプロセスに分けられる。

先ず図 6 に示す様にシリコン基板 (ウエハ) 上に回路の原画像を転写するレジストプロセスにおいて、高容量化が進むにつれてウエハ上の最少パターンの寸法は、4 K ビッ

表4 ウェハプロセスにおける
リソグラフィ技術区分

ト DRAM で約 $8\mu\text{m}$ から 4 M ビット DRAM で $0.8\mu\text{m}$ に微細化している。さらに微細化は進み、16K ビット化に伴って紫外放射は、短波長化が要求され水銀の g 線 (436nm) から i 線 (365nm)、さらに 64M ビットでは $0.4\mu\text{m}$ 、256K ビットでは $0.2\mu\text{m}$ の最少パターン寸法への露光技術の対応が求められている。この要求に対して、エキシマレーザ光の実用化が進みつつある。KrF レーザ光の 248nm を ArF レーザ光の 193nm 紫外放射を利用することにより、高解像度とより深い焦点深度の達成が図られる。今後の超高容量化には、電子ビームの利用が見込まれている。

5. 食品・医用衛生分野

紫外放射の最も古典的でポピュラーな特性を利用した応用分野である。これは、波長 254nm の紫外放射によって細菌の細胞の中の核酸 (DNA) を構成する蛋白質を化学変化させ、細菌の生命活性を低減・停止させることを応用するものである。この分野への紫外線の利用は、最も効果的な紫外放射のための研究と石英ガラスの加工技術の向上により、従来の紫外透過性特殊ガラス製殺菌ランプよりも高出力型の紫外ランプの開発により性能と品質が向上し、応用範囲が拡大している。

5-1. 食品分野¹²⁾¹⁹⁾

今日、食品はグルメ指向や食品添加物制限のトレンドから、品質の維持に苦労が多い。食品の味や風味など素材の特性を変化させ易い加熱殺菌やとくに健康に影響が心配される殺菌剤や防腐剤の使用への代替に紫外放射による殺菌

図6 フォトリソグラフィ工程例

表5 高出力紫外放射装置例

製造業者	I 社	B 社	U 社	G 社
装置名	高出力表面殺菌装置 GHS 430125	紫外殺菌装置 UV-C13	紫外強力殺菌装置UL 2	高出力紫外表面殺菌装置
高出力殺菌ランプ	<p>GHL 400</p>	<p>X 2-450V-O</p>	<p>L 500U</p>
照射器	<p>GE4301</p> <p>照射窓面積 800×100mm</p>	<p>GUI13-70</p> <p>700×90</p>	<p>ULH450</p> <p>490×86</p>	<p>LHP 5000</p> <p>500×85</p>
カタログ 他による 最大殺菌 線 照 度	窓面 100~110mW/cm ²	窓面 200mW/cm ² (数cmで100mW/cm ²)	窓面 80mW/cm ²	(2 cmで最大64mW/cm ²)

表6 高出力殺菌装置の実施例

殺菌対象物および 殺菌対象菌	設 置 例	機 種
<p>1. 飲料用容器の王冠</p> <p>●大腸菌 ●枯草菌 ●ビール酵母菌 など</p>	<p>●コンベアスピード=20m/min ●照射時間=2.5sec ●照射照度=100mw/cm²</p>	400W×5灯用/2台
<p>2. 飲料用缶のフタ</p> <p>●大腸菌 ●枯草菌 ●ビール酵母菌 など</p>	<p>●スピード=8m/min ●照射時間=3sec</p>	200W×3灯用/2台
<p>3. ポリ容器入薬液</p> <p>●B. stear- athermophilus</p>		400W×10灯

が注目されている。これは、紫外放射が「熱」を伴わない「冷殺菌」として、また、被照射物にほとんど質的な影響を与えないことによるものである。

さらに紫外放射殺菌の利用は、食品自身への殺菌の他に、食品を収納するための容器、たとえば、プラスチック製トレイ、缶、紙容器、ビンなどへの殺菌が、加熱することなく濡らすことなく行えることから重要視されている。

実際の応用として、食品自身への紫外放射照射は、特に食品の素材の特長を維持する必要から和菓子、ひじきや蒲鉾などの殺菌に殺菌ランプ GL-15や GL-30が使用されている。最近では石英製の高出力型紫外ランプによって、従来の殺菌ランプに比べ約20倍の高紫外放射出力により、従来よりも短時間の殺菌処理が可能になっている。殺菌装置からの紫外放射の高出力化は、従来よりも照射距離の長い大型で深底容器に、また、より信頼性の高い殺菌が可能になり生産性も向上する効果をもたらしている。表5に各社の高出力紫外放射装置の一覧を示す。これらの殺菌装置による各種容器類への表面殺菌の実施例を表6に示す。この様に容器表面のみならず紫外透過性フィルムや材料で覆われた容器内の封入物に対しても有効である。従って、食品分野以外にも医薬品や化粧品分野などにも利用されている。さらに、紫外放射の特長を利用して、飲料水やミネラルウォーター、食品加工用水などの用水の殺菌が実用化されている。殺菌装置は、用水を流しながら殺菌処理を行えることから流水殺菌装置とも呼ばれ、紫外線ランプの種類と本数により各種の機種が用意されている。図7に殺菌装置の外観を示す。他の応用例として、生カキや養殖養魚用水の循環殺菌処理が行われている。この流水殺菌装置は、化粧品や薬品用水、半導体製造用の超純水用水の殺菌にも応用されている。

図7 流水殺菌装置の例

今後のための紫外放射源の探求が続けられている。一つの方法として、紫外放射効率を犠牲にしながらも、その量を活用する方法として発光管内の水銀蒸気圧を高くした高圧水銀ランプの紫外放射部分を利用した殺菌装置が実用化されている。図8、9にその表面殺菌装置や流水殺菌装置

図8 高容量流水殺菌装置

照射ユニット
図9 製品表面照射殺菌装置

例を示す。

5-2, 医用・衛生分野¹²⁾¹³⁾¹⁷⁾

最も一般的な応用として、食品工場、惣菜工場、医薬品工場や食堂、食品倉庫などの生産分野や不特定多数の人々が集まる劇場・映画館、病院待合室や協会などの公共的空間における室内空気への殺菌がある。室内空気からの空中落下菌の制御は、地味ながら衛生上大切な要素である。このための器具として、一般用の他に防湿型やクリーンルーム用など使用条件と使用環境により各種が用意されている。特に、紫外放射面の殺菌性を高めるために高ワットの殺菌ランプを使用した器具がある。たとえば、室内に作業者の有無によって紫外放射照射方向を可変できる図10の様な殺菌器具が、食品工場などに利用されている。

図10 回転式空気殺菌灯

特に病院など医療現場においては、病原菌の制御は重要な課題であり、前述の待合室の他に、手術室の殺菌や図11に示す様なベッドの殺菌のための殺菌灯が用意されている。最近、社会問題化している HIV ウィルスや院内感染で問題化している MRSA は、紫外放射に弱いので紫外放射

図11 病院用紫外放射寝具消毒装置

の応用が非常に期待される。

今後の殺菌は、被照射物が材質的に形状的に多様化の方向にあるため、光学系の改良やオゾンとの併用の実用化を必要とするであろう。

6. 環境分野²⁰⁾²¹⁾

最近の自然環境への関心の高まりの中で、紫外放射とオゾンまたは酸化剤を応用した装置が実用化されつつある。図12に示す浄化装置は、波長254nmの紫外放射により、池や湖沼などのアオコの発生を抑制する。これは、紫外放射の殺菌作用と同様に殺藻作用によりアオコが増殖抑制・死滅し、かつ、紫外放射とオゾンの化学作用により水中のBODやCODを低減させる。

図12 光酸化分解式浄化装置

また、半導体や化学工場などからの排水中の有機化合物を紫外放射と酸化剤の相乗作用により分解する応用が実用化されている。さらに河川や地下水の汚染が懸念されているゴルフ場の排水中の農薬を排出基準値以下に低減するための図13の様なシステムが実用化されている。

今後、この分野は、ダイオキシン、有機塩素溶剤やフロ

図13 ゴルフ場散布農薬処理システム

ンガスなど広範な用水や溶液や大気など多岐にわたる汚染対策技術開発が進められている。本格的な実用化が間近いものと思われる。

7. 耐候試験機分野^{22)~25)}

合成樹脂は、日常生活用品や各種工業製品に多種多様に利用され、現代に必須の材料である。これらの樹脂製品は耐熱性や耐候（光）性や機械的強度など物理・化学性質によって利用目的毎に材質の選択が行われ、常に安定した品質の維持と共に品質の改善が行われている。他方、新素材の開発と用途開発が行われている中で建築用の各種の塗装板、プラスチック板や家具内装材や自動車など車両の塗料、内装材などは、樹脂の耐久性とくに耐候（光）性は、重要な要素である。

これらの合成樹脂の耐候（光）性寿命を予測する手段として、カーボンアークによる紫外放射と可視放射に対する耐久性試験法が知られている。最近は、より使用条件に近い光の質（分光特性）や光源の安定性などの観点から、試験用蛍光灯や太陽光の分光特性に近いキセノンランプを用いた耐候（光）性試験機が実用化されている。耐候性試験機の例を図14に示す。耐候性試験は、屋外暴露試験との相関性により早い評価結果を得るための促進性の両面が求め続けられている。この様なニーズにより、図15に示す

図14 キセノンアークランプ式耐候（光）性試験機

図15 各種耐候試験機の分光分布特性例

様に200nm～400nmの波長域を効果的に放射する特殊なメタルハライドランプを利用した超促進型の試験機が実用化されている。

現在なお試験用材料の劣化要因と試験条件の研究が継続され、塗膜用劣化試験機として300nm～360nmの放射を得る様に、光源とフィルターを選択することによって屋外暴露試験に良い相関性の結果を得た報告がある。この様に今後とも、相関性と促進性を両立させ精度の高い促進耐候試験機の研究開発が行われよう。

他方、プラスチックの耐光性試験についての国際規格化がISO（国際標準化機構）のIEC（国際電気標準会議）によって進められている。信頼性のある試験方法の探求と国際化が求められている。

8. お わ り に

紫外放射は、非常に多岐にわたる工業分野へ応用され貢

献している。日常生活の中で、ごく当然のごとく使用または見る自動車、めがね、雑誌のグラビアまた各種食料品の安全・衛生などにいとまがない。とりわけ日本の先端産業を支える電子産業や新素材開発に必須の技術となっている。

今回は、この様に多くの工業分野への応用の中から、ほんの一部を紹介したに過ぎない。これを機会に皆様方の紫外放射へ興味を抱いて頂ければ幸いである。

参 考 文 献

- 1) 照明学会：放射の応用（I），照明教室61，P4（'85）
- 2) 全日本スクリーン印刷共同組合連合会：活路開拓ビジョン事業報告書2月，P13—33（'91）
- 3) 高橋幸久ほか：塗装技術30—9，PP78—82（'91）
- 4) 桐山義行：塗装技術30—9，PP83—87（'91）
- 5) 石川幸宏：塗装技術30—9，PP88—91（'91）
- 6) 照明学会：光化学産業用光源研究調査委員会報告書3月（'91）20
- 7) 前田和夫：最新LSIプロセス技術，P211—229（'83）
- 8) 照明学会：光化学産業用光源研究調査委員会報告書3月（'91）21
- 9) 安達伸雄：第115回三秀セミナー，P63—69（'90）
- 10) 前田和夫：最新LSIプロセス技術，P249—229（'83）
- 11) 照明学会：光化学産業用光源研究調査委員会報告書3月，P16—18（'91）
- 12) 芝崎 勲：殺菌除菌応用ハンドブック（'85）146
- 13) 岩崎電気(株)カタログ
- 14) 三好和彦ほか：照明学会東京支部大会4月，P12—15（'91）
- 15) 小倉和雄ほか：電気評論7月，P829—833（'91）
- 16) 森口政明ほか：防菌防カビ19—10，P534（'91）
- 17) 石井啓夫ほか：食品の衛生管理（'83）
- 18) 荏原インフィルコ(株)カタログ
- 19) 岩崎電気(株)カタログ
- 20) 錦織宏介：用水の廃水33—11，PP897—904（'91）
- 21) 錦織宏介：電熱62，P35—42（'92）
- 22) スガ試験機(株)カタログ
- 23) 木島芳雄：プラスチックエージ NOV.，P143—150（'87）
- 24) 小山陽一ほか：マテリアルライフ第1回研究発表会2月，P65（'90）
- 25) 樋口秀臣：マテリアルライフ1—2，PP78—81（'89）