

퀀텀닷에 관한 Peter Palomaki의 견해: 도전과제 및 가능성

퀀텀닷 기술은 빠르게 발전하고 있습니다. 퀀텀닷 기술의 도전과제 및 가능성은 해마다 달라지고 있습니다. 그래서 우리는 디스플레이 산업의 현재 발전 상황, 도전과제 및 기회에 대해 이해하기 위해 Palomaki Consulting의 창업주이자 수석 과학자이며, 퀀텀닷 분야의 전문 과학자로 국제적으로 인정 받고 있는 Peter Palomaki 박사에게 자문을 구하고자 합니다.

TV 시장에서 퀀텀닷 기술의 전망 및 소비자가 이 기술에 주목해야 하는 이유는 무엇입니까?

퀀텀닷 기술의 장점은 높은 효율성과 뛰어난 색감의 두 가지를 꼽을 수 있습니다. 현재 디스플레이 기술은 광원의 낭비가 심하지만, 퀀텀닷 디스플레이는 광효율이 높아 에너지를 더 효율적으로 사용할 수 있습니다. 동시에 QD 디스플레이는 자연색을 뛰어나게 표현함으로써 [더 높은 품질의 색상](#)을 구현합니다.

퀀텀닷 디스플레이는 보다 세밀하고 사실적인 색상표현을 통해 한층 더 몰입적인 시청 경험을 제공합니다.

퀀텀닷 디스플레이는 White-OLED와 어떤 차이가 있으며 장단점은 무엇입니까?

OLED는 매우 짙은 검은색을 구현하는 것으로 유명합니다. 따라서 정말로 짙은 검은색을 원한다면 OLED가 더 적합합니다. 반면 더 뛰어난 색상 표현을 원한다면 퀀텀닷이 더 나은 성능을 제공합니다.

또한 OLED는 대형 사이즈 제작에 어려움이 있으며 가격도 매우 비쌉니다. 동일한 사이즈의 디스플레이를 비교하면 퀀텀닷 기술은 제조비용 면에서 일반적으로 OLED보다 저렴합니다. 75인치급 OLED 패널은 가격은 상상 이상으로 비쌉니다. 바로 이런 이유로 OLED는 휴대전화 시장에서 잘 팔리는 반면, 대형 TV 및 디스플레이 부문에서는 퀀텀닷이 더 큰 성공을 거두고 있습니다.

소비자 시장에서 QD 적용을 가로막는 장애물은 무엇입니까?

본래 퀀텀닷이 가지고 있던 가장 큰 문제는 안정성이었습니다. 퀀텀닷은 공기에 노출되었을 때 급격하게 성능이 떨어지곤 했습니다. 디스플레이 내에서 퀀텀닷 입자는 고온, 높은 광플럭스 및 대기 노출 등의 까다로운 환경에 놓여 있게 됩니다. 이 모든 요소들은 퀀텀닷에 부적합한 환경이지요.

하지만 지난 5년 동안 QD는 이런 환경을 견딜 수 있도록 정밀하게 설계되었습니다. 덕분에 TV 후면에 퀀텀닷 필름을 붙이는 현재의 폼팩터(form factor: 제품의 구조화된 형태)를 갖추었고, 성능면에서 전혀 문제가 없는 수준까지 개선되었습니다. 하지만 업계가 성숙해지고 폼팩터가 개선되었지만, 안정성 문제는 언제든지 다시 생길 수 있습니다. 폼팩터에 따라 다른 방식으로 처리해야 할 수도 있습니다. 즉, 이는 퀀텀닷을 적용하는 모든 기업에서 고려하는 문제이며, 기업들은 퀀텀닷의 안정성을 지속적으로 개선하고 향상시키기 위해 지속적인 기술 개발을 하고 있습니다.

디스플레이 분야에서 새로운 기술과 관련된 비용 문제는 늘 존재하며, 퀀텀닷 역시 예외는 아닙니다. 퀀텀닷은 프리미엄 제품인 만큼 가격도 매우 높습니다.

하지만 TV내부의 퀀텀닷 필름의 가격은 낮아졌습니다. 퀀텀닷 필름은 몇 년 전에는 평방미터당 100달러의 비용이 들었지만 지금은 평방미터당 거의 30달러로 낮아졌습니다. 규모의 경제로 가격이 계속 떨어지고, 더 많은 사람들이 퀀텀닷 기술을 적용함에 따라, 가격 장벽은 앞으로 더욱더 낮아질 것입니다. 1,500달러나 2,000달러의 프리미엄 디스플레이에서만 사용되는 기술이 1,000달러 이하의 디스플레이에도 적용될 수 있게 될 것입니다.

QD 연구 개발 면에서 가장 흥미로운 내용과 그 이유는 무엇입니까?

디스플레이 기술 및 퀀텀닷의 구현 측면에서 퀀텀닷의 장점을 더욱 향상시킬 수 있는 많은 발전이 있습니다. 내용은 다음과 같습니다.

컬러 필터

QLED는 현재 백라이트 유닛 내에서 퀀텀닷 필름을 사용합니다. 디스플레이 효율성을 향상시키기 위해 연구자들은 이 QD 레이어를 스크린 전면에 가져와, 퀀텀닷을 기존 컬러 필터의 대체제로 사용하는 방안을 모색 중입니다. 이러한 폼팩터가 구현되면 잠재적으로 효율성을 2.5배 향상시킬 수 있습니다.

효율성이 향상되면, 퀀텀닷은 뛰어난 색상 구현이라는 본래의 장점에 시야각 향상이라는 추가적 이점을 더할 수 있습니다. 이러한 개발이 이루어지면 시야각 측면에서 현재 OLED가 갖고 있는 우위를 무너뜨릴 수 있습니다. 이 경우, 빛은 디스플레이 전면의 퀀텀닷 층에서 모든 방향으로 방출되기 때문입니다.

하지만 이를 구현하기 위해서는 넘어야 할 과제가 있습니다. 디스플레이 내의 편광관이 재설계되어야 한다는 점입니다. 또한 퀀텀닷 층은 뛰어난 색품질을 유지하기 위해 청색광이 새어나가는 것을 방지하고 흡수성을 높여야 합니다. 하지만 이러한 잠재적 장애물에도 불구하고, 이 기술은 발전을 이루어 향후 몇 년 내에 디스플레이에 적용될 것입니다.

퀀텀닷 온칩

사람들이 연구하고 있는 또 다른 구현 방법은 퀀텀닷 온칩입니다. 이것은 퀀텀닷을 LED 위에 직접 배치하는 것입니다. 이를 위해서는 까다로운 환경에서 살아남을 수 있도록 설계된 퀀텀닷이 필요한데, 이는 아직 디스플레이용으로 상용화되지 않았습니다.

그러나 이 분야에서 진전이 있습니다. 최초의 상업용 퀀텀닷 온칩이 지난해 [Lumileds](#)에 의해 출시되었습니다. 이는 초록색이 아닌 빨간색 퀀텀닷만 필요로 하는 조명이었으나, 실용적인 접근법이라는 사실을 보여줍니다.

이론상으로는 이미 퀀텀닷을 탑재한 LED 칩을 구매할 수 있습니다. 그런 다음 원하는 만큼의 초록, 파랑, 빨강 픽셀을 배열하면 됩니다. 이것이 실현된다면 대형 LED 사이니지 설치자 및 제작자가 쉽게 구현할 수 있을 것입니다.

QD기술을 대체할 만한 도전자는 무엇이라고 생각합니까?

퀀텀닷의 경쟁자는 형광체와 OLED입니다.

형광체

전통적인 LCD TV는 형광체를 사용했습니다. 일반적으로 YAG 형광체는 넓은 흰색 방사체입니다. 그런 다음 백색광에 컬러필터를 적용하여 빨강, 초록, 파랑을 만듭니다. 이러한 형광체는 저렴하고 매우 안정적이지만 퀀텀닷과 같은 수준의 효율성 및 색 품질을 제공하지는 못합니다. 일부 형광체는 좀 더 폭을 좁히는 방식으로 진보했습니다. 예컨대 GE의 KSF/PFS 형광체는 다양한 디스플레이 전반에 적용되었습니다. 오늘날의 기술인 QD는 형광체와 오랫동안 경쟁할 것입니다.

OLED

하이엔드 기술인 OLED는 퀀텀닷의 주요 경쟁자입니다. OLED의 한 가지 장점은 굴절성 재료나 스크린 등에 이용가능하다는 점입니다. 이는 현재 LCD의 퀀텀닷에서는 불가능한 기능입니다.

하지만 사람들이 기술을 서로 비교한다 해도, 각각의 기술은 자신만의 역할을 맡고 있습니다. OLED는 작은 영역에, 퀀텀닷은 넓은 영역에 장점이 있습니다. 현재 나는 그 둘을 경쟁 기술이라기보다는 보완 기술로 보고 있습니다.

두 기술의 통합에 대한 이야기도 있습니다. OLED 백라이트 유닛과 전면이 퀀텀닷 컬러 필터를 결합하는 방식도 가능성이 있습니다. 이는 하나의 장치에 두 가지 기술을 장점을 제공할 것입니다. 즉, OLED의 짙은 검은색과 퀀텀닷의 뛰어난 색상을 동시에 갖추는 것이지요.

오늘날 QD의 가치사슬을 살펴보았을 때, 가까운 장래에 예상되는 어려움은 어떤 점이 있습니까?

비용 문제는 여전히 풀어야 할 과제입니다. 최종 사용자는 가격이 계속 하락하기를 원합니다.

또 다른 어려움은 규모입니다. 현재와 미래의 수요를 충족시킬 능력은 충분하지만, 제조해야 할 퀀텀닷의 양은 적용되는 폼팩터에 따라 달라질 것입니다.

LED 상에 퀀텀닷을 직접 배치하는 폼팩터가 전면적으로 채택된다면 퀀텀닷 재료는 거의 필요하지 않을 것이며, 퀀텀닷의 적용이 증가한다 하더라도 실제 사용량은 감소할 수 있습니다.

퀀텀닷 컬러 필터의 경우, 농축된 퀀텀닷이 필요합니다. 이러한 방법은 리소그래피 공정(lithography process) 때문에 상당한 낭비를 초래할 수 있습니다. 그러나 잉크젯 인쇄 등의 인쇄 기법을 통해, 낭비되는 양을 줄일 가능성도 있습니다.

1년 전에 비해 QD에 대해 새롭게 알게 된 점은 무엇입니까?

커뮤니티를 통해 퀀텀닷 온칩이 실제로 가능하다는 것을 알게 되었습니다. 사람들은 LED 상에 퀀텀닷을 장착하는 방식이 상용화되기는 힘들 것이라고 생각했지만, 조명에서 그 기술이 이루어짐에 따라 새로운 희망을 갖게 되었습니다.

디스플레이에 QD를 구현하기 위한 다양한 옵션이 좀 더 명확해졌습니다. 아마 1년 전에 사람들에게 네 가지 구현 전략을 물었다면 대답을 듣지 못했을 것입니다. 하지만 지금은 필름, QD 컬러 필터, QD 온칩 및 전자 발광 QD방식이 있습니다. 이제 QD를 구현할 수 있는 다양한 방식들에 대한 이해가 높아진 것입니다.

디스플레이 기술의 미래에 대한 비전은 무엇입니까?

5년에서 10년 이내에 대부분의 기존 디스플레이는 퀀텀닷 제품으로 통합될 것입니다. 구현 방법은 디스플레이의 품질 및 가격대에 따라 다양할 것입니다.

가격이 저렴한 디스플레이에는 아마 현재의 고급형 디스플레이에 제공 중인 필름이 사용될 것입니다. 하이엔드 디스플레이는 QD 컬러 필터 또는 전자 발광 QD를 사용하도록 업그레이드 될 것입니다.

디스플레이 분야에서 퀀텀닷 기술이 지속적으로 적용될 것입니다. 퀀텀닷 기술은 TV와 모니터를 넘어서서 대형 사이니지 및 잠재적으로 모바일 시장을 포함한 다른 디스플레이 분야로 확대될 것입니다.

앞으로 퀀텀닷은 확장되고 다양하게 적용될 것입니다. 퀀텀닷의 논쟁의 여지가 없을 정도로 그 이점이 너무나 뚜렷하기 때문입니다.

퀀텀닷을 배우기 위해 참고할만한 자료가 있습니까?

저는 정기적으로 학술 문헌을 읽습니다. 학술 문헌은 업계에서 더 많은 것을 배우고자 하는 사람에게 매우 유용한 자료입니다.

로스앤젤레스에는 SID(정보 디스플레이 학회)가 개최하는 [디스플레이 위크\(Display Week\)](#)와 같은 교육적인 컨퍼런스가 있습니다. 지난 몇 년 동안 퀀텀닷은 학회에서 큰 비중을 차지했지요. 또 캘리포니아에서는 이틀에 걸쳐 퀀텀닷 포럼(Quantum Dots Forum)이 개최됩니다. 저는 그곳에 갈 때마다 끊임없이 뭔가를 배워 오지요.

저는 퀀텀닷과 나노기술에 관한 글을 쓰는 블로그를 가지고 있으며, 삼성 디스플레이 PID포털을 지속적으로 방문합니다. 그 사이트에는 퀀텀닷에 관한 유용한 기초 자료들이 많아서 전문적인 기술이 없는 사람들도 이해하기 쉽습니다.

이 글은 퀀텀닷을 조명하는 세 편의 시리즈 중 첫 편입니다. 뉴스레터에 가입해서 *Part II: 퀀텀닷 구현의 진화, Part II: MicroLED 및 퀀텀닷을 읽어보세요.*

*Peter Palomaki*의 블로그를 방문하고 [LinkedIn](#)에서 그를 팔로우하세요.

자세한 내용은 [퀀텀닷에 대한 기술백서](#)를 참조하세요.