



DỰA TRÊN TÁC PHẨM *THE PHYSICS AND TECHNOLOGY OF TENNIS* (CHƯƠNG 2)

KHOA HỌC VẬT LIỆU VỢT TENNIS: BÍ ẨN ĐẲNG SAU MARKETING

Giải mã Graphite, Mô-đun (Modulus),
Titanium và Vật liệu Áp điện (Piezoelectric).

Tại Sao Lại Là Graphite?

Toàn bộ những đột phá của vợt tennis hiện đại (Superovertime, Widebody, Superlight) đều bắt nguồn từ một vật liệu cốt lõi: Graphite Composite.

Kỷ Nguyên Gỗ



VẬT LIỆU GỐC: GỖ ĐẶC

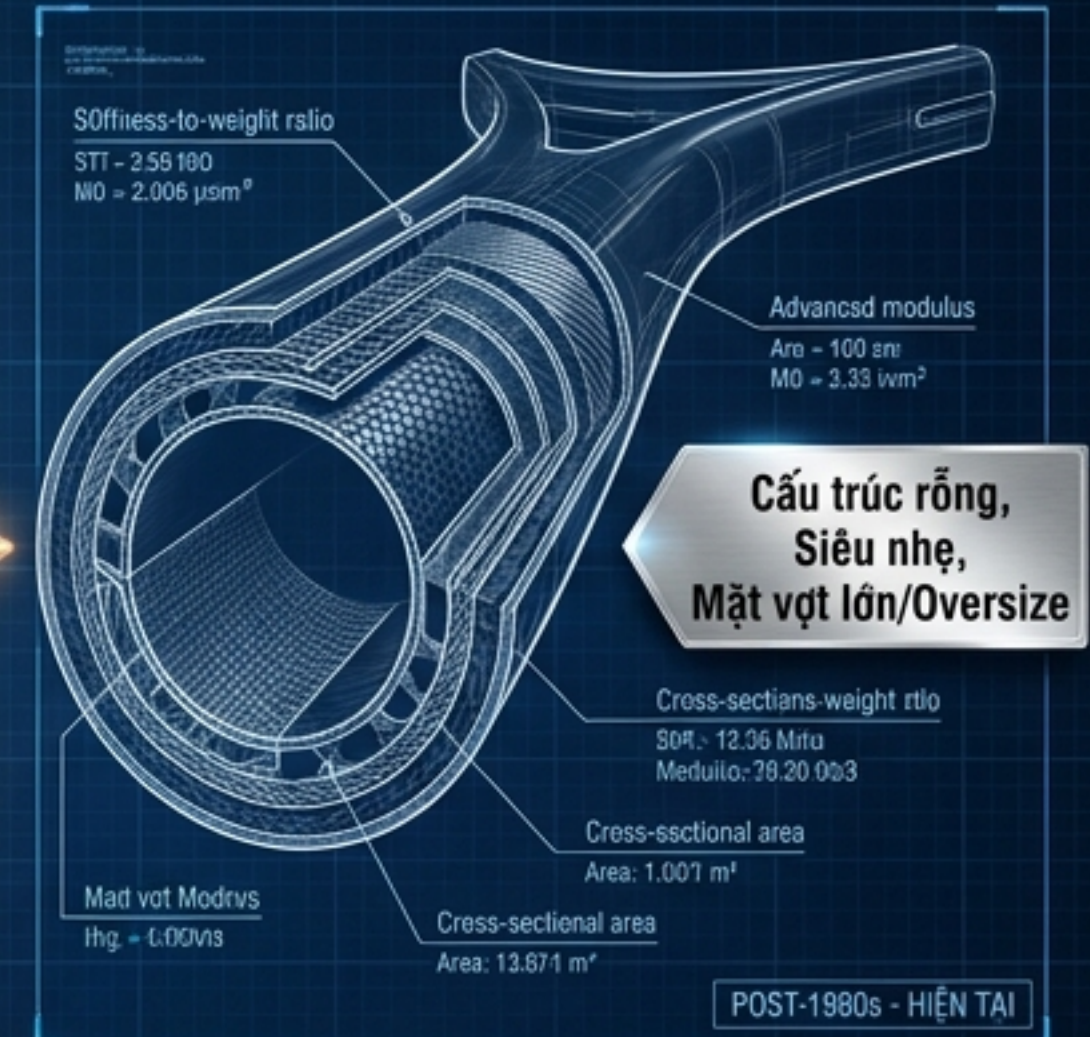


Kỷ Nguyên Kim Loại



VẬT LIỆU TRUNG GIAN: NHÔM

Kỷ Nguyên Graphite



VẬT LIỆU ĐỘT PHÁ: GRAPHITE COMPOSITE



Ưu điểm tuyệt đối: Graphite cho phép chế tạo các cấu trúc khung rỗng cứng cáp hơn nhưng lại nhẹ hơn rất nhiều so với gỗ đặc hay kim loại.

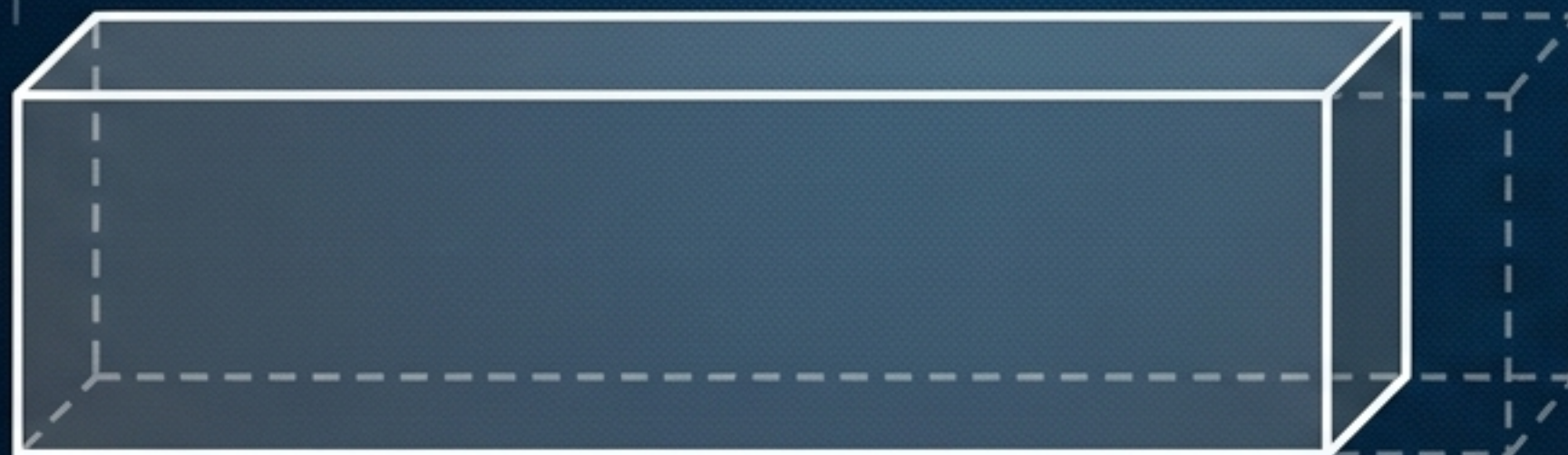
Biên dịch: Sky Tennis

Giải Mã “**Mô-đun**” (Modulus)

Mô-đun là thước đo độ cứng tĩnh (Stiffness) của vật liệu. Mô-đun càng cao, vật liệu càng chống lại sự biến dạng khi bị tác dụng lực.

$$\text{Mô-đun} = \frac{\text{Ứng suất (Stress)}}{\text{Biến dạng định mức (Strain)}}$$

Force/Lực



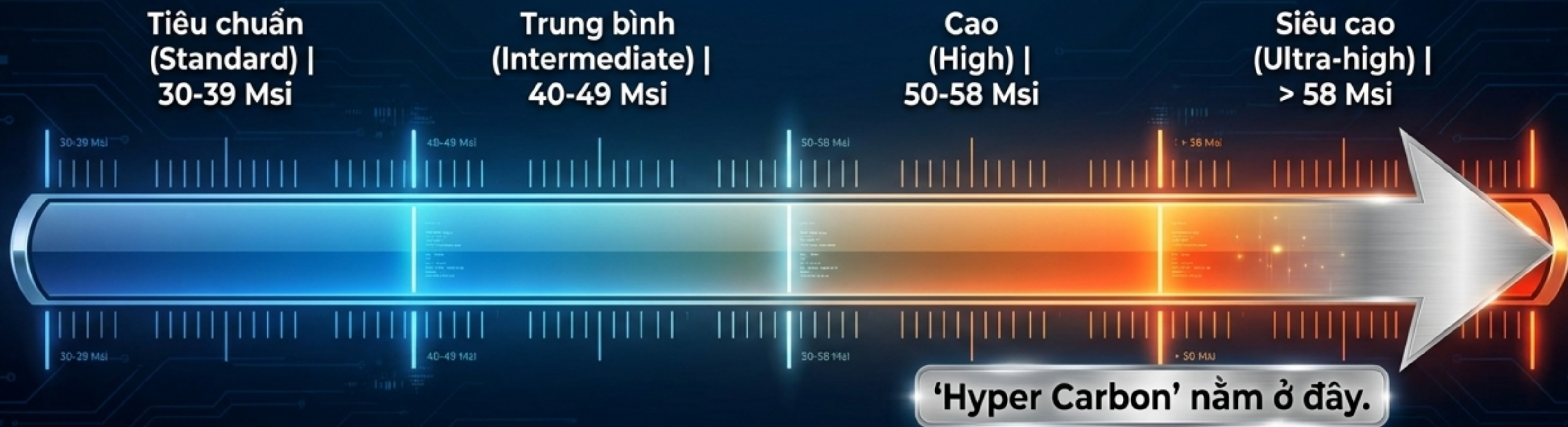
Elongation

Force/Lực



Trong ngành công nghiệp vợt, Tensile Modulus (Mô-đun độ bền kéo) là chỉ số được các nhà quảng cáo trích dẫn nhiều nhất.

Đừng Bị Lừa Bởi Từ ‘Hyper’



“Hyper Carbon” hay “GraphitExtreme” thực chất chỉ là tên thương mại cho danh mục vật liệu Ultra-high modulus (>58 Msi). Hoàn toàn không có cấp độ vật liệu khoa học nào mang tên “Hyper”.

Nghịch Lý: **Cứng Hơn Chưa Chắc Đã Tốt Hơn**

Vật liệu Mô-đun siêu cao cực kỳ cứng, nhưng lại giòn hơn và tốn ít năng lượng hơn để bẻ gãy.

Độ cứng
(Stiffness/Modulus)



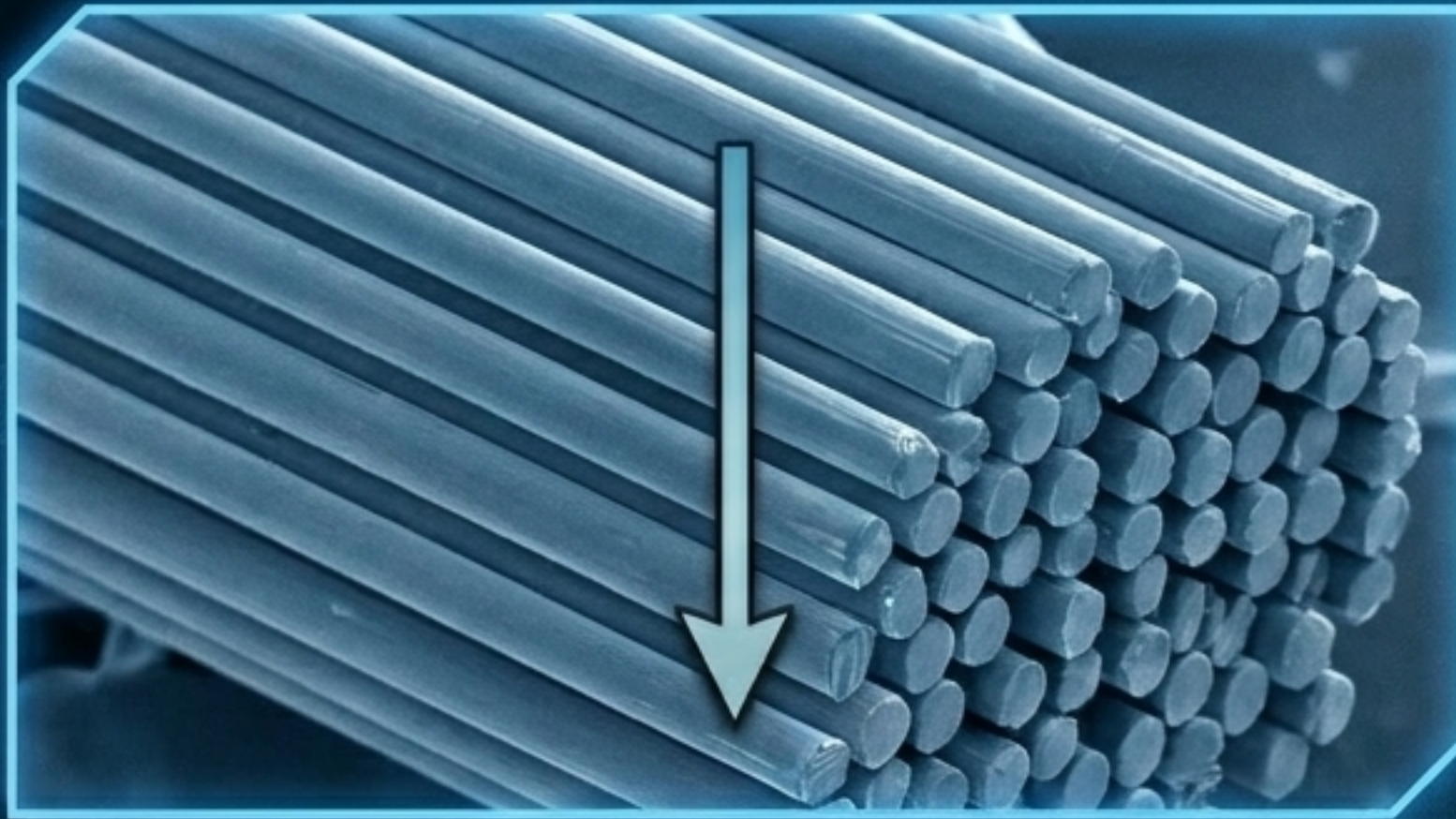
Độ bền chịu lực
(Strength)



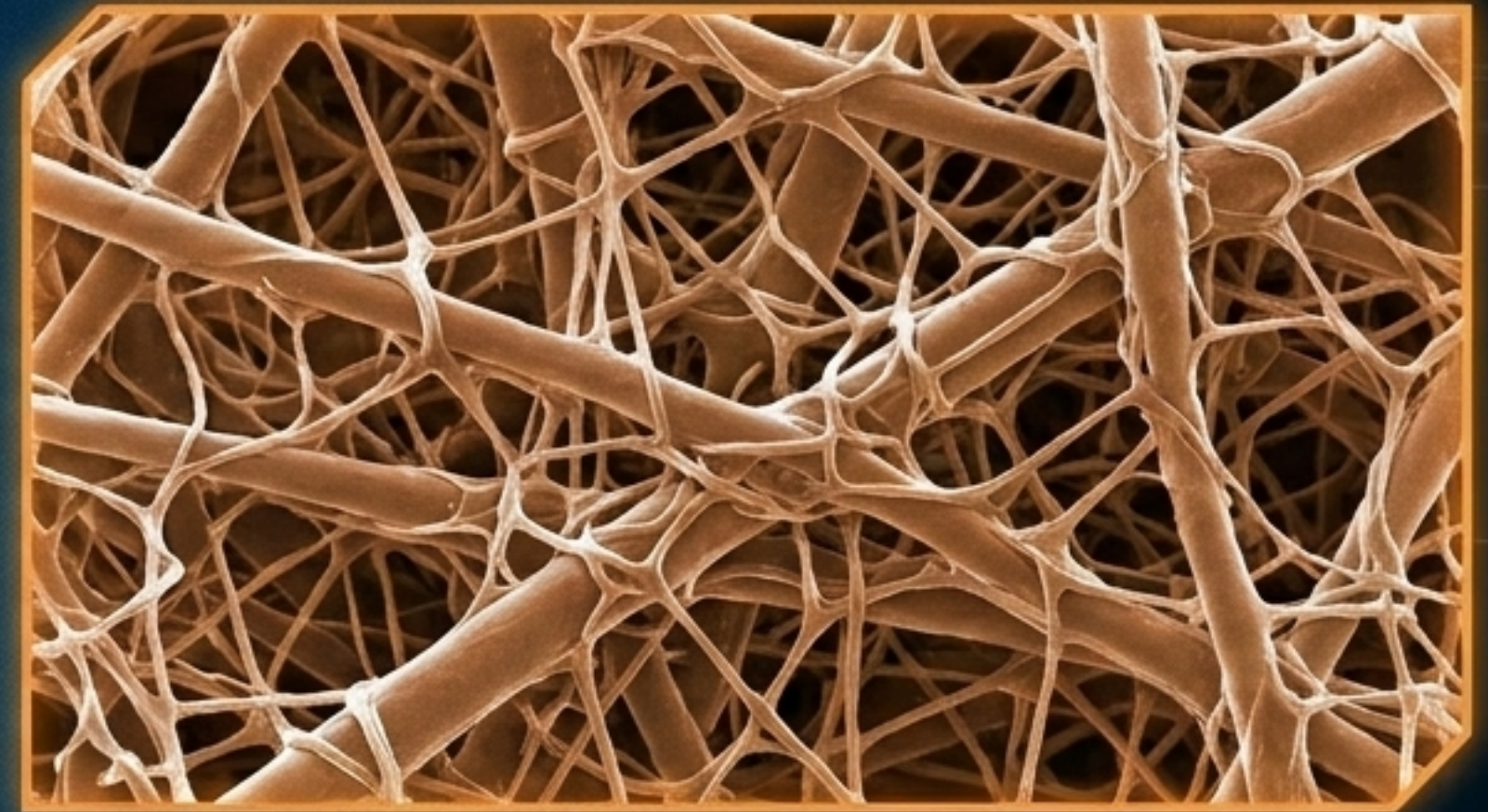
Bí quyết của kỹ sư: Vợt càng nhẹ, càng cần vật liệu Độ cứng cao. Nhưng để vợt không bị gãy vỡ, nhà sản xuất bắt buộc phải pha trộn nhiều cấp độ Mô-đun khác nhau.

Sự Thật Của 'Composite': Sợi Phải Đi Cùng Nhựa (Resin)

Đằng sau sợi Carbon là "Ma trận" nhựa liên kết.



Dị hướng / Anisotropic - Chỉ chịu lực một chiều

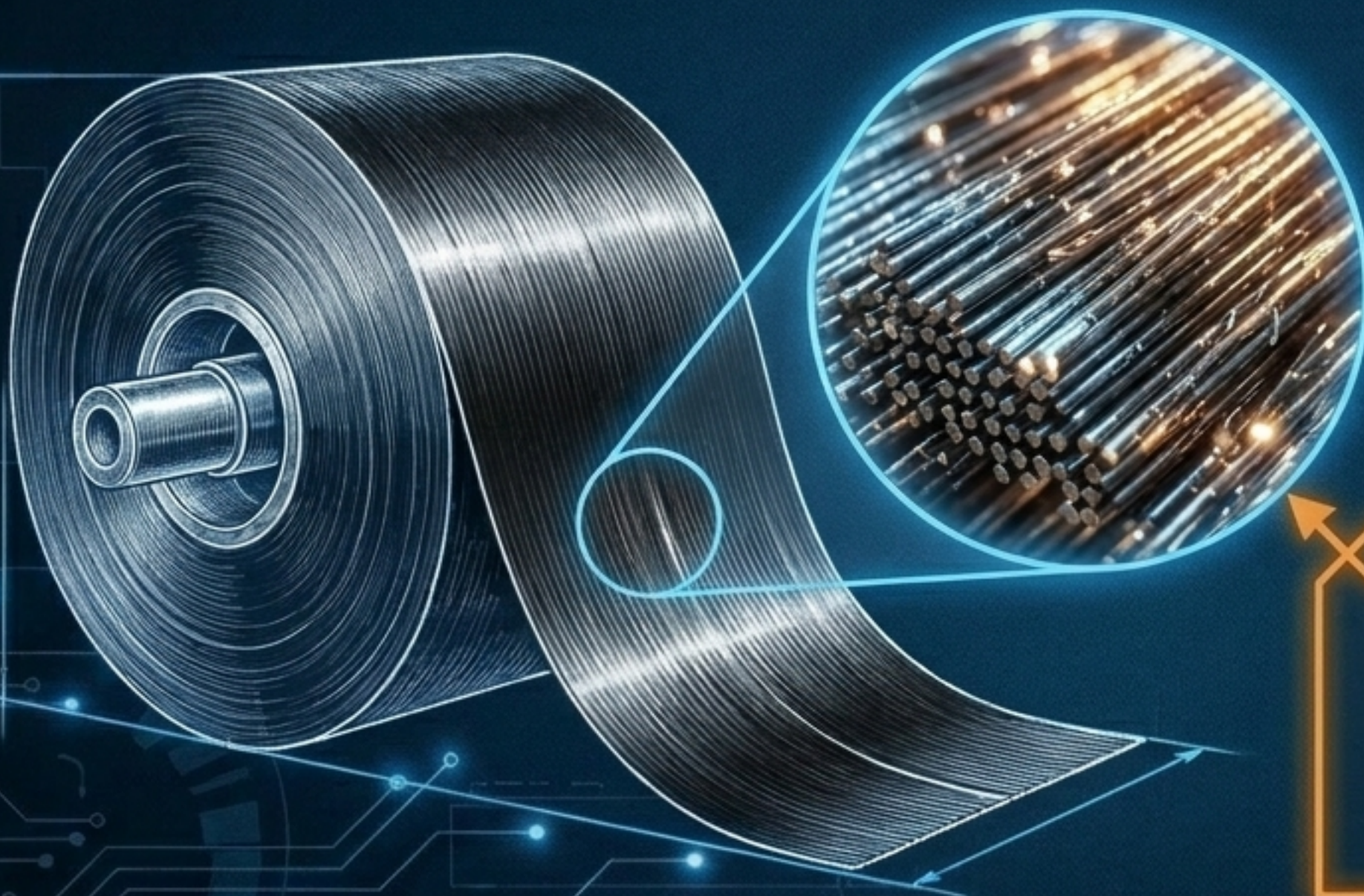


Đẳng hướng / Isotropic - Chịu lực mọi hướng

- **Nhựa nhiệt rắn (Thermosetting/Epoxy):** Cứng lại dưới nhiệt độ cao, tạo cấu trúc liên kết chéo. Ứng dụng: Làm Khung vợt.
- **Nhựa nhiệt dẻo (Thermoplastic):** Mềm dẻo, phân tử trượt lên nhau. Ứng dụng: Dây đàn vợt (Strings).

Prepreg: Trạng Thái 'Ngủ Đông' Của Vật Liệu

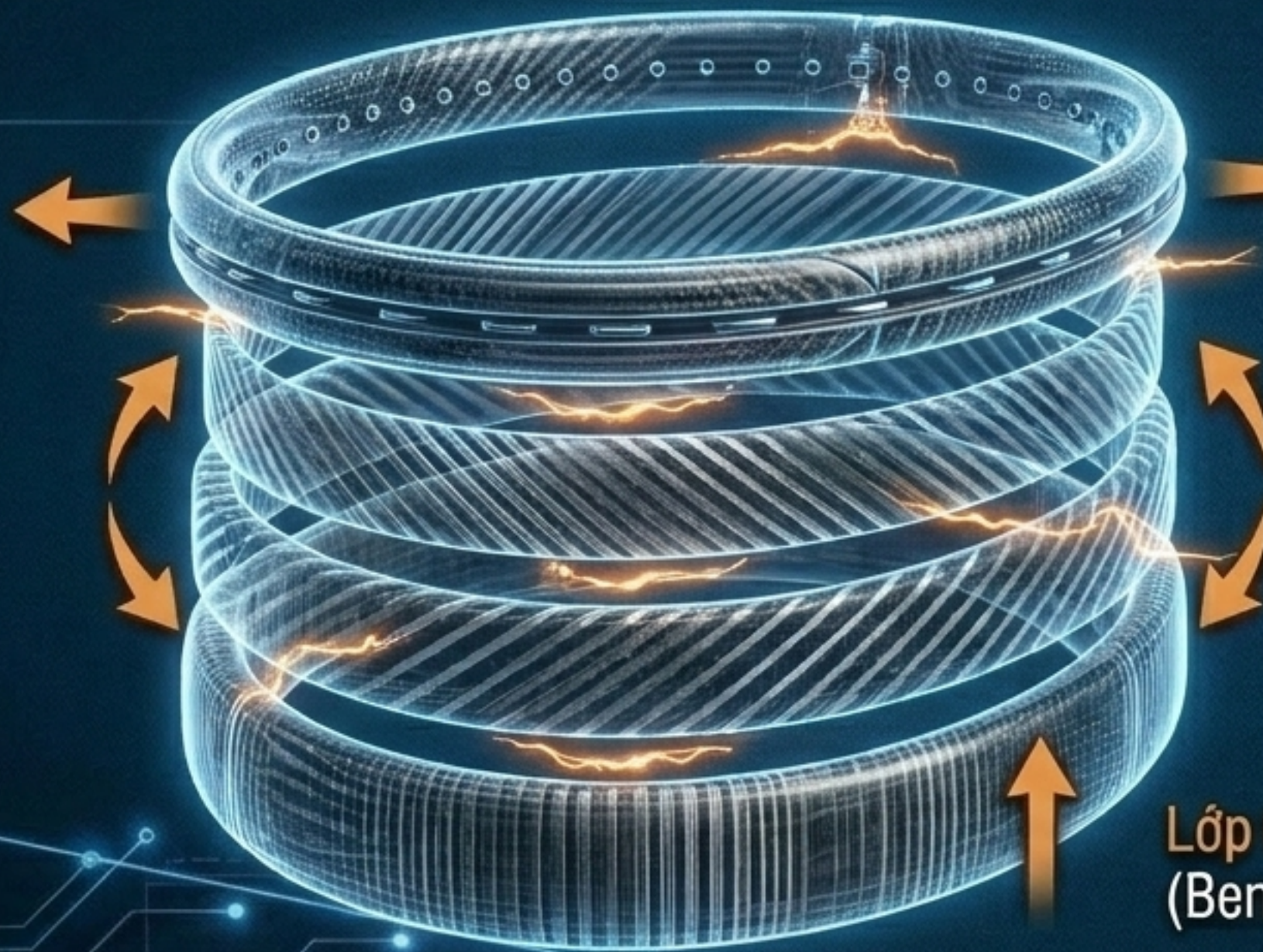
Prepreg (Sợi tấm nhựa sẵn) là các tấm băng chứa hàng ngàn sợi carbon đơn hướng, đã tẩm epoxy nhưng chưa được đóng rắn (cured) hoàn toàn.



Chúng phải được bảo quản lạnh (refrigerated) liên tục để epoxy không bị cứng lại ở nhiệt độ phòng trước khi đưa vào khuôn đúc vệt.

Kỹ Thuật Xếp Lớp (Racquet Lay-up): Nghệ Thuật Của Các Góc Độ

Sợi carbon cực cứng theo chiều dọc, nhưng mất đi 80% độ cứng nếu lực tác động lệch 45° , và mất 100% ở 90° .



Lớp 90° (Ngang): Gia cố vành vợt để chịu sức kéo của dây đàn.

Lớp góc chéo: Tối ưu hóa tính chống xoắn (Torsional stiffness).

Lớp 0° (Dọc): Tăng độ cứng chịu uốn (Bending stiffness).

Sự Thật Về Titanium: **Kép Phụ Bị Thổi Phồng**

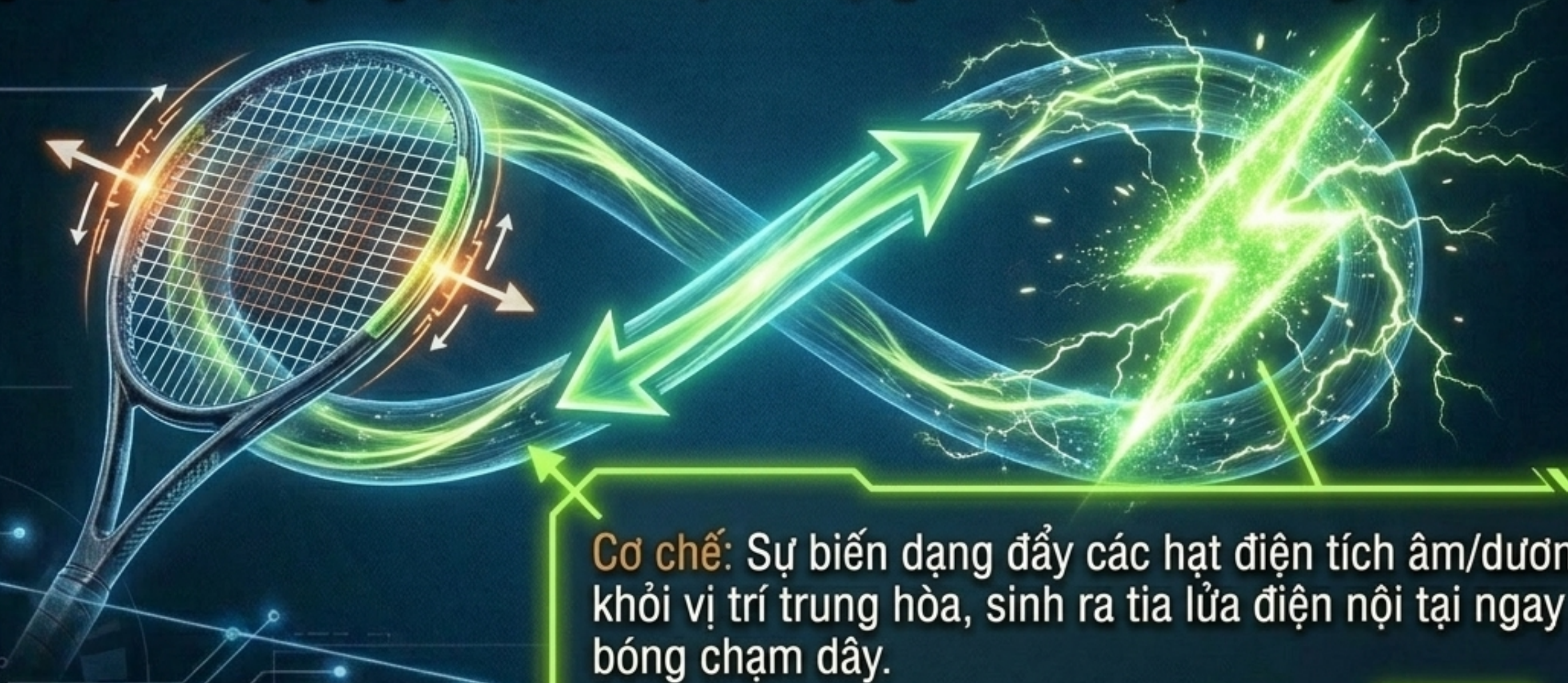
Trong Golf, Titanium là vật liệu cấu trúc chính. Nhưng trong Tennis, Graphite mới là ngôi sao.



Vai trò thực sự: Người ta thêm một lượng cực nhỏ **sợi Titanium** (đăng hướng) xen kẽ vào graphite để giảm bớt lớp carbon 90° cần thiết. Nó giúp tiết kiệm trọng lượng ở chạc ba và vai vợt. Vợt nhẹ là nhờ Graphite, không phải nhờ Titanium!

Bước Tiến Vào Vật Liệu **Áp Điện (Piezoelectric)**

Vật liệu Áp điện có khả năng chuyển hóa hai chiều kỳ diệu: Tạo ra dòng điện khi bị uốn cong do lực tác động. Ngược lại, nó sẽ tự biến dạng nếu được truyền dòng điện.

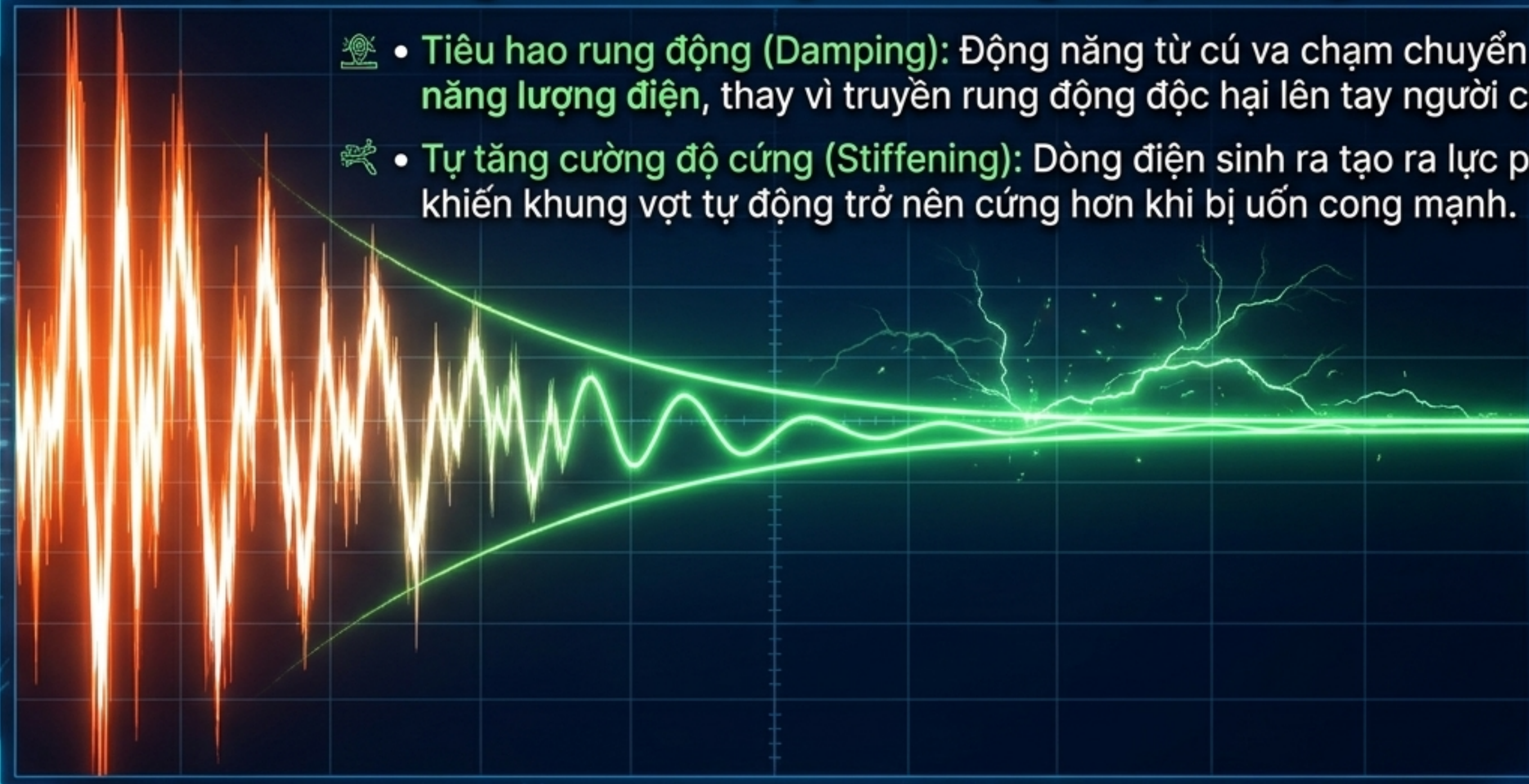


Cơ chế: Sự biến dạng đẩy các hạt điện tích âm/dương lệch khỏi vị trí trung hòa, sinh ra tia lửa điện nội tại ngay khi bóng chạm dây.

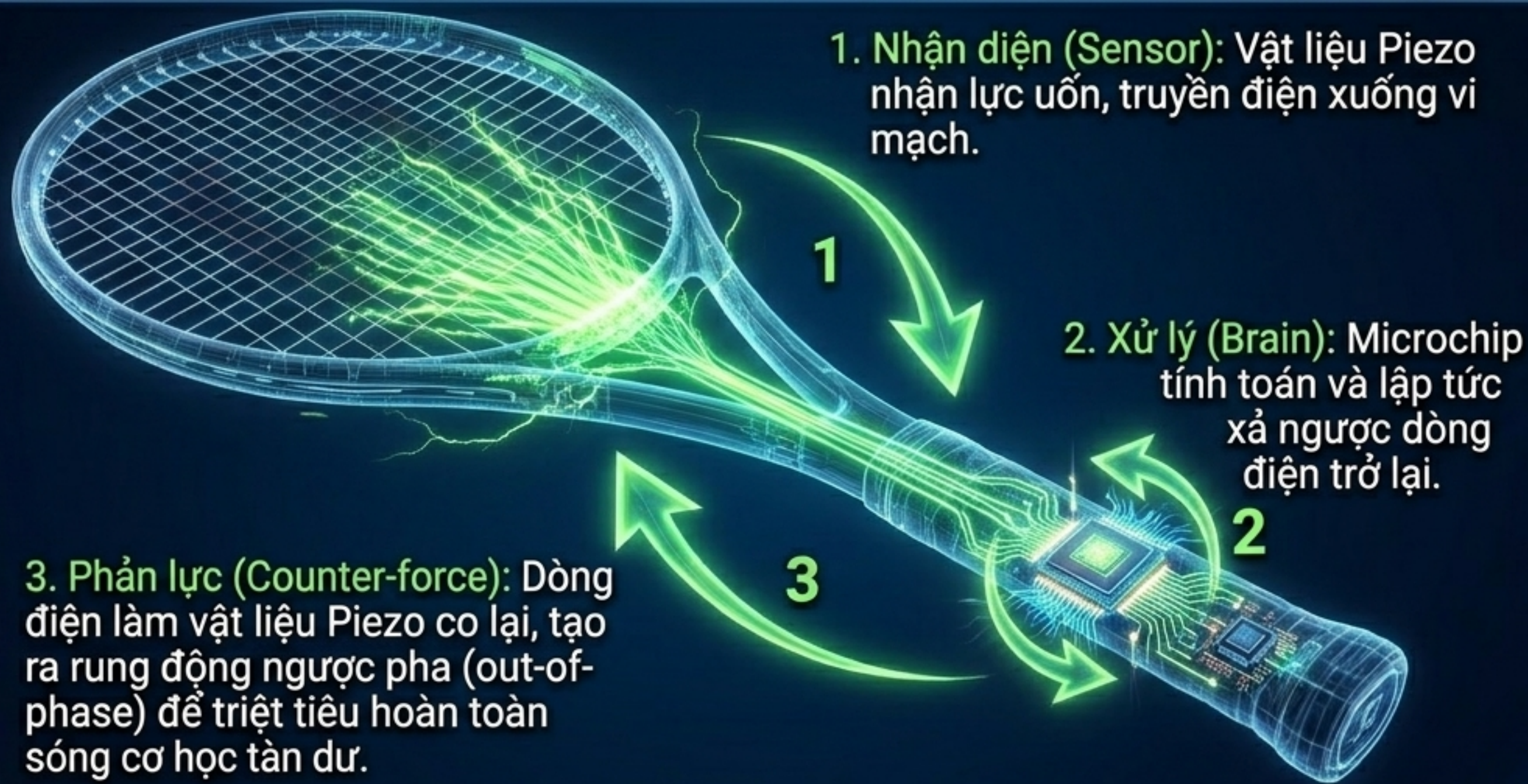
Hai Lợi Ích Của Hệ Thống **Piezo Thụ Động**

Vợt Piezo “thông minh” vì nó tương tác thích ứng với lực tác động:

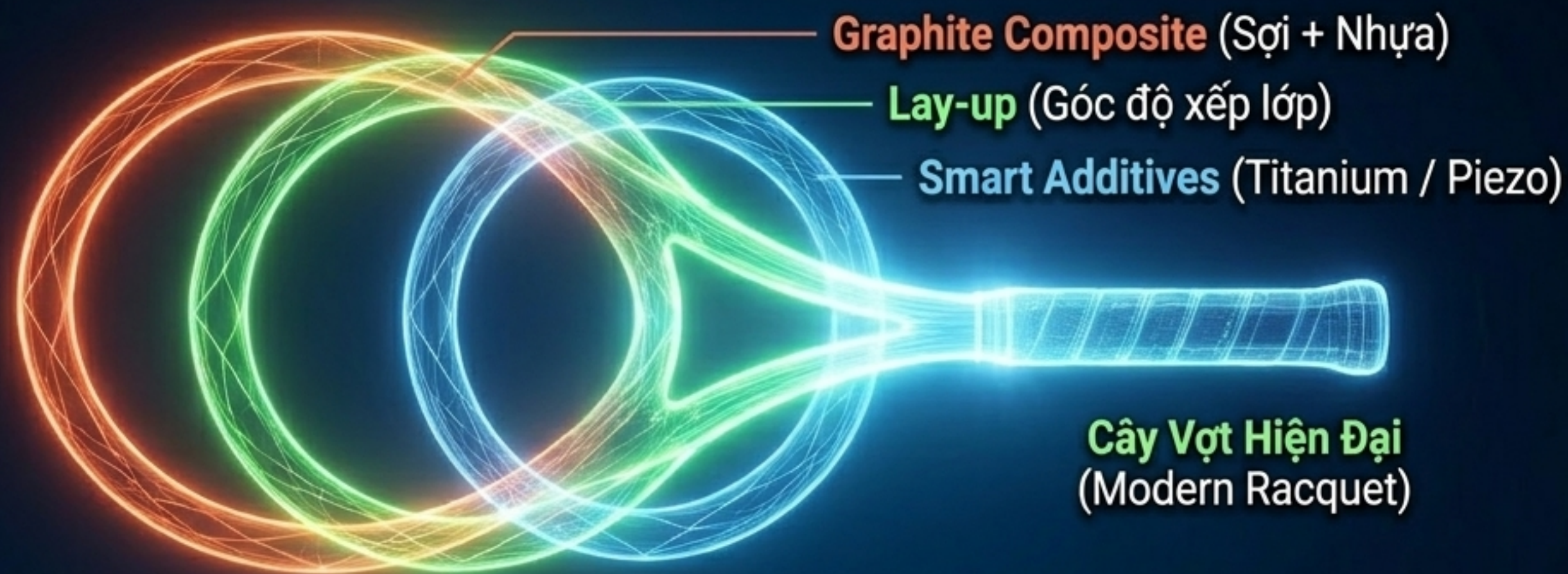
- 💡 • **Tiêu hao rung động (Damping):** Động năng từ cú va chạm chuyển thành **năng lượng điện**, thay vì truyền rung động độc hại lên tay người chơi.
- 🏸 • **Tự tăng cường độ cứng (Stiffening):** Dòng điện sinh ra tạo ra lực phục hồi, khiến khung vợt tự động trở nên cứng hơn khi bị uốn cong mạnh.



Hệ Thống Điện Tử Chủ Động (Tốc Độ Ánh Sáng)



Công Thức Hoàn Chỉnh **Của Kỹ Sư**



Không có một vật liệu đơn lẻ nào tự tạo nên một cây vợt tốt. Sức mạnh và trọng lượng đến từ Graphite Composite. Tính linh hoạt và độ cứng được tinh chỉnh qua nghệ thuật **Xếp lớp (Lay-up)**. Và hiệu suất giới hạn được phá vỡ bởi Piezo / Titanium.

**Đừng mua những thuật ngữ marketing đơn lẻ.
Hãy mua sự kết hợp kỹ thuật tinh tế đằng sau nó.**



**“Vật liệu tốt nhất không nằm ở tên gọi bóng
bầy, mà nằm ở cách các nguyên lý vật lý
phục vụ cú đánh của bạn.”**

– Rod Cross

Dựa trên tác phẩm: *The Physics and Technology of Tennis*
(Howard Brody, Rod Cross & Crawford Lindsey).