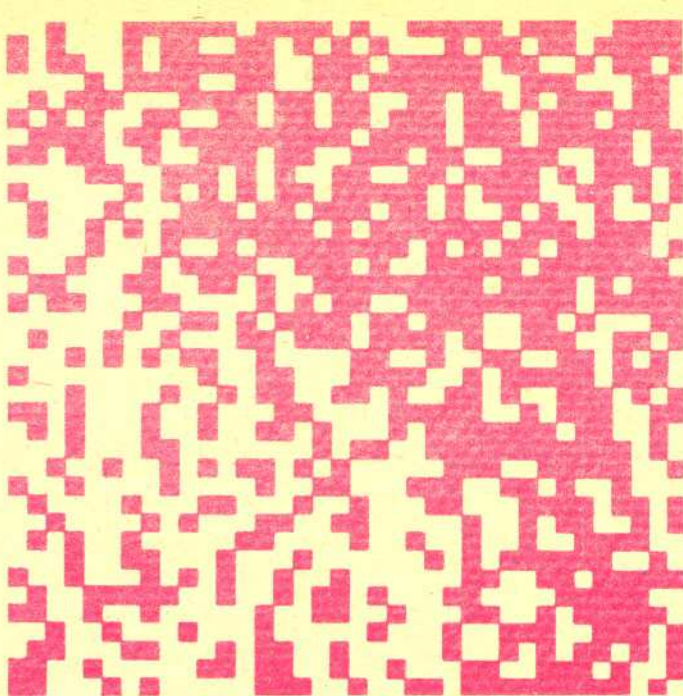


Wprawdzie fizyka ciała stałego, a fizyka półprzewodników w szczególności, ma bardzo ściśle związki z praktycznym zastosowaniem, lecz nie stroni też od fantastycznych pomysłów dążących do poprawienia natury i wymyślenia takich tworów, których natura sama nie wytworzyła. Taką ideą było budowanie supersieci krystalicznych. Idea polega na periodycznym układaniu warstw monokrystalicznych dwu różnych materiałów tak, że oprócz periodyczności ułożenia atomów w każdej z warstw pojawia się nowa periodyczność ułożenia kolejnych warstw o określonej stałej grubości. Ta nowa periodyczność została nazwana supersiecią. Supersieci w sposób istotny zmieniają własności ośrodka. Zmieniają się własności dynamiczne swobodnych elektronów i dziur, inaczej wyglądają stany elektronowe domieszek wprowadzanych do warstw tworzących supersieć. Okazało się, że na nowo spojrzeć trzeba było na takie pojęcia jak drgania sieci. Pojawia się od razu pytanie — które, jeśli każda z warstw ma inne drgania własne. A jakie są drgania supersieci? Takie same pytania mogą dotyczyć innych pobudzeń kolektywnych, a mianowicie plazmy swobodnych elektronów lub dziur. Pojawienie się supersieci wymagało stworzenia praktycznie nowej fizyki ciała stałego, opisującej te struktury. Konieczność istotnych modyfikacji staje się oczywista, nawet dla niespecjalisty w tej dziedzinie, jeśli przypomnieć, jak wielką rolę w opisie zjawisk w ciałach stałych ma symetria sieci. Do chwili obecnej zrozumieliśmy bardzo wiele zbadanych własności supersieci, ale coraz to nowe fakty doświadczalne wymagają pełnego opisu teoretycznego. Idea supersieci mogła zostać praktycznie zrealizowana dzięki stworzeniu zupełnie nowej techniki wzrostu kryształów, tzw. epitaksji wiązką molekularną. Idea tej metody polega na układaniu warstwy atomów, jeden na drugim przy stałej kontroli „jakości” ułożenia oraz składu chemicznego w przypadku związków półprzewodnikowych. W warunkach bardzo wysokiej próżni wytwarza się wiązki molekularne składników i obserwując wzrost kryształu steruje się natężeniami poszczególnych wiązek. Można zatem ułożyć np. 500 warstw jednego kryształu, a następnie z innego źródła molekularnego 100 warstw innego kryształu. Powtarzając tę procedurę wielokrotnie uzyskuje się supersieć. Obecnie można wytwarzać supersieć również innymi metodami, mniej kosztownymi i pracochłonnymi niż epitaksja wiązką molekularną (MBE), chociaż jakość kryształów otrzymywanych metodą MBE jest ciągle najlepsza.



### „Dwuwymiarowy” gaz elektronowy

Mniej więcej w tym samym okresie, kiedy rozwijała się fizyka supersieci, intensywnie badano struktury wytwarzane na powierzchni półprzewodników, a składające się z cienkiej warstwy izolatora i metalu. Powstaje w ten sposób „kanapka” (półprzewodnik, izolator, metal) zwana strukturą MIS (bądź MOS — kiedy izolatorem jest tlenek). Po przyłożeniu różnicy potencjałów między metal i półprzewodnik w pobliżu powierzchni półprzewodnika powstaje bardzo cienka warstwa inwersyjna (typu  $n$  na materiale typu  $p$  bądź warstwa typu  $p$  na materiale typu  $n$ ). W warstwie tej, której grubość jest rzędu kilkudziesięciu stałych sieci, ruch elektronów w kierunku prostopadłym do powierzchni warstwy jest skwantowany. W warstwie tej mogą się poruszać tylko takie elektrony, dla których grubość warstwy jest całkowitą wielokrotnością połowki długości fali de Broglie’a. Uzyskuje się w takiej warstwie gaz elektronowy „dwuwymiarowy”. Dwuwymiarowość polega na tym, że ruch elektronów jest swobodny w płaszczyźnie warstwy inwersyjnej (dwa wymiary) oraz skwantowany w kierunku prostopadłym do warstwy. Własności dwuwymiarowego gazu elektronowego są niesłychanie interesujące, a możliwość zwiększania koncentracji elektronów w warstwie przez zmianę potencjału przyłożonego między półprzewodnik i metal otworzyła nową dziedzinę badań.

Szczególnie interesujące okazały się badania z użyciem silnego pola magnetycznego skierowanego prostopadle do warstwy. Pole magnetyczne powoduje kwantyzację ruchu elektronu w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku pola magnetycznego. Ponieważ w kierunku prostopadłym do warstwy (zatem w kierunku pola magnetycznego) ruch elektronów jest skwantowany ze względu na wymiar warstwy, uzyskuje się stany elektronowe w pełni skwantowane. Jest to dotąd unikalna możliwość uzyskiwania pełnej kwantyzacji. Dwuwymiarowy gaz elektronowy w silnych polach magnetycznych wykazuje szereg zaskakujących i nie do końca zrozumiałych jeszcze własności. Obserwuje się tzw. kwantowy efekt Halla, który pozwala wyznaczyć uniwersalną stałą fizyki  $e/h$  ( $e$  — ładunek elektronu,  $h$  — stała Plancka) z dokładnością do siedmiu cyfr znaczących. W ekstremalnie silnych polach magnetycznych kwantowy efekt Halla wykazuje tzw. ułamkowe osobliwości, co prawdopodobnie związane jest z tworzeniem się dwuwymiarowych układów elektronowych, o których coraz częściej mówi się jako o kolejnym nowym stanie skupienia materii. Okazuje się, że fizyka supersieci oraz problemy dwuwymiarowego gazu elektronowego są silnie powiązane. Zarówno układy z supersieciami, jak i własności dwuwymiarowego gazu elektronowego mogą mieć zastosowanie w elektronice ciała stałego. Prawdopodobnie praktyczne wykorzystanie tych struktur półprzewodnikowych będzie stanowiło kolejny etap rozwoju elektroniki półprzewodnikowej, która rozpoczęła się od kryształkowych radioodbiorników przed ponad pół wiekiem.