

CONFERENCE REPORT (1)

第 15 回半導体物理国際会議報告

小林 啓 介

日立製作所 中央研究所 〒 185 国分寺市東恋ヶ窪 1-280

(1981年2月23日受理)

Semiconductor Surfaces and Interfaces from "The 15th International Conference on the Physics of Semiconductors"

Keisuke L. I. Kobayashi

Central Research Laboratory, Hitachi Ltd., Kokubunji, Tokyo 185, Japan

(Received February 23, 1981)

About 30 papers concerning surfaces, interfaces, and lattices super were reported at the 15th International Conference on the Physics of Semiconductors held at Kyoto, September 1-5, 1980. These papers constitute about 15% of the total number of papers accepted by this conference. Trends in the papers in these fields are overviewed.

1980年9月1日～5日、京都国際会議場において標記の会議が開催された。本会議は半導体全般にわたる唯一の国際会議で2年毎に開かれる。会議全体については物理学会誌(36巻1号 p. 74)に報告が掲載されているので参照されたい。半導体表面、界面もテーマとして取上げられて来たが、最近この関連の論文数は回を重ねるにしたがって増加の傾向にある。今回の会議では、表面、界面および超格子が各々独立のセッションになり、これらの分野で招待論文、一般論文および read by title を合せ約 30 論文が採択された。これは全採択論文数の ~15% にあたり、アモルファス半導体、および深い不純物準位と並んで進歩の著しい、重要な分野となっていた。表面、界面に関しては、前回までは GaAs 等の化合物半導体に関するものが多かったが、今回は Si に関する発表の方が多くなっていた。超格子に関しては、GaAs-AlGaAs 系、GaSb-InAs 系について各々 Bell Lab. および IBM から招待講演および、一般講演があった。以下手短かにいくつかのトピックスについて紹介する。

1. 清浄表面の再配列

このテーマについて Chadi (Xerox Palo Alto) によるレビューがあった。彼は半導体の種々の表面再配列構

造についての現時点で理解されていることをまとめた上、最近の彼自身の仕事である Si(100)-2×1, Si(111)-7×7 を中心にして理論計算の紹介を行った。Si(100)-2×1 は従来 Si-Si 2 原子分子モデルが実験結果を良く説明することが知られていた。Chadi はこれに対し、非対称 2 原子分子配置 (4×2 構造となる) の方がエネルギー的により安定であることを示した。最近の実験結果もこの 4×2 構造を支持している。Si(111)-7×7 については現在に至るまでその構造が同定されていないが、Chadi は非対称 2 原子分子モデルの成功の余勢をかって新しいモデルを提出した。このモデルでは各々交互に正、負の電荷を持った 3 回対称の環状に表面原子が外へ出たり、内に入ったりしている。

Si(111)-7×7 については本会議では、この他に分子研のグループより Ino (東北大) の vacancy モデルに基づくクラスター計算が提出された。一方実験的には Xerox-Palo Alto のグループおよび Orsay グループより光電子分光の結果が報告された。この両グループはともに表面準位が半導体的であり、その角度、偏光依存性が Si(111)-2×1 の場合に類似することを見出した。この結果は Chadi モデルを支持する。しかし D. Eastman (IBM) 等は前回の本会議に金属端を示す表面準位が 7×7 表面で観測されると報告しているのでもまだ実験的にも

不明の要素が残っている。7×7 構造を得るためには Si 基板を高温でフラッシュするのが通常のやり方であるが、その際に入るスリップ・ライン等が実験結果に影響を及ぼしている可能性もあるように思える。さらに慎重な実験の積重ねが必要であろう。なお、この Si(111)-7×7 構造についてのインフォーマルな討論会が開催され、Ino (東北大) と Chadi を中心に活発な議論がかわされた。この再配列については理論、実験ともにまだかなりの努力が必要であることは衆目の一致するところであろう。

2. 金属-半導体界面

金属-化合物半導体界面におけるショットキーバリア出現機構の新しいモデルが Spicer (Stanford Univ) によって報告された。彼のグループでは長年光電子分光法によって GaAs, GaSb, InP 等と各種金属界面の研究を積重ねて来たが、その結果、フェルミ準位の位置は金属の種類によらず半導体の種類で決まることが明らかになった。しかもこのフェルミ準位の安定化はわずかに単原子層以下の被覆量で起る。この事実から Spicer は、金属原子が半導体表面に吸着されるときに放出する熱が半導体側に高密度のフォノンを発生させ、その結果、空格子等の欠陥が発生し、半導体構成原子の金属膜中への拡散が誘起されると考えた。このように考えるとフェルミ準位は半導体内の界面付近での量子欠陥のつくるギャップ内準位に安定化されることになり、金属種に寄らないという実験事実をうまく説明できる。このモデルに対応して Nishida (金沢工大) により各種界面欠陥準位の理論計算が発表された。この界面欠陥モデルは非常に現実的な印象を与える仮説であるが、その正当性はさらに多くの系統的研究によって試されねばならない。また界面欠陥を直接とらえる実験も必要であろう。この方向の研究は今後深い不純物の問題とも絡んでくるものと予想される。一方、化合物半導体と金属の界面における化学反応と拡散現象を精力的に調べその化学的傾向を理解しようとする試みが Brillson 等 (Xerox-Webster) によって続けられている。彼等は今回の会議では光電子分光法によって界面での拡散がわずかに 10 Å 程度の中間層によって大きく影響される現象を報告した。GaAs(110) 面に 40 Å 厚の Au を蒸着した表面での表面敏感な内殻からのエミッションスペクトル (脱出深さが極小になるところで測定する) における Ga3d/As3d 強度比は ~1/10 程度であるが、この系の界面に 10 Å 厚の Al 層を介在させるとこの比は ~6.5 になる。これは Al-As 結合が強いいため As がトラップされ (Chemical trapping) さらにこの結合が負の dipole をつくり、As の外への拡散を

さまたげるためと説明している。彼等は各半導体と Au との界面に Al の他に In, Zn, Ti などの薄膜を介在させ、界面反応と拡散を制御し、ショットキーバリア形式との関係を化学結合の性質とその強さによって論じた。この研究は界面の性質を数原子層の薄膜によって制御しようという積極的な考えが明瞭に認められ極めて興味深い。

Si-金属界面については Al, および遷移金属、貴金属との界面に関する光電子分光およびオージェ電子分光実験が 4 件 (Xerox-Palo Alto, 日立=DESY, 阪大, Milano=Modena) あった。Al-Si については界面での Al-Si 結合の性質とフェルミ準位の安定化、遷移金属、貴金属との界面については低温におけるシリサイド形成が調べられた。さらに Pd とアモルファスおよび多結晶シリコンとの界面におけるシリサイド形成のラマン散乱による観測 (Tsai, Xerox-Palo Alto) の報告がアモルファスのセッションでなされた。これらのテーマについても今後さらに発展が予想される。

3. ヘテロ接合

半導体-半導体ヘテロ接合界面については実験の報告がなく、Ge-GaAs 界面についての理論が 2 件 (Dortmund=Lige, Xerox-Palo Alto) 発表された。これらの計算によると、単原子層 Ge 被覆によって界面電子構造はほぼ確定するようであるので、今後詳しい実験が待たれる。

4. 超格子

MBE による化合物半導体超格子については、いまだ IBM, Bell Lab. 両グループの寡占体制ゆるがずであった。各々から Chang および Störmer が出て各々のグループの一連の仕事のレビューを行った。IBM は InAs-GaSb 系を対象にしている。この系では GaSb の価電子帯の頂が InAs の伝導体の底よりも高いエネルギーに来るために超格子の周期を調節することによって電子と正孔が別の層に分離されて同時に存在する一種の半金属相を実現できることが特徴である。一方 Bell Lab. グループは GaAs-(AlGaAs) 系でのモジュレーション・ドーピングが売りものである。この系では AlGaAs 層に不純物をドーブするとイオン化してキャリアーはドーブしていない GaAs 層に移動し、閉込められる。したがって GaAs 層内のキャリアーはイオン化不純物の散乱ポテンシャルをほとんど感じない。このため易動度の大きい 2 次元電子ガスとなる。両グループとも、種々の物性実験手段を駆使してこれらの超格子のエキゾチックな諸特性を示す報告を行った。現在 MBE は世界的に

新しい発展の時期に入りつつあるので、今後は IBM, Bell Lab. 以外からの半導体物理の分野における研究も増加すると思われる。

上記の諸分野は初めに述べた如く半導体物理の中で近年著しく発展しつつあるが、今回の会議ではいくつかのはっきりした進歩の方向が現われているように見えた。すなわち、理論的には表面、界面の電子構造の計算手法がそろってきたことがあげられる。上ではふれなかったが、プレナリーセッションにおける M. L. Cohen (Univ. California) による彼のグループの経験的擬ポテンシャル法に基づくバルクおよび表面および界面の様々な計算の成功はより多様な応用への期待をいだかせるに充分で

あった（現実には、彼のグループのように膨大な計算をこなせるところは、他にほとんどない様であるが）、その一方で、より簡便な方法が実用的精度で使えるようになりつつあるように見える。実験的には超高真空技術、MBE 法が非常に手軽に試料作成技術として用いられるようになっていることである。MBE と光電子分光法（および他の電子分光法）との組合せは界面研究の必須手段として益々広く使われるようになるだろう。今回の会議での報告された光電子分光実験の大半はシンクロトロン放射を光源に用いたものであった。シンクロトロン放射専用のストレージリングの数は急増しており今後この傾向は益々強くなるだろう。