

# 理研ニュース

理化学研究所

## —電子波干渉デバイスと単電子デバイス—

### 21世紀のエレクトロニクスデバイス

0.1ミクロン以下の極限の小さなエレクトロニクスデバイスでは、もはや電子の性質は統計平均として記述出来なくなり、1個1個の電子の性質が重要となる。最近その性質を利用した、従来のエレクトロニクスとは原理を全く異にする21世紀を担うと考えられる新しいエレクトロニクスが登場しつつある。すなわち、電子波干渉デバイスと単電子デバイスである。

半導体集積回路の集積度の最近の発展は目を見張るものがある。現在では1チップ(約1cm<sup>2</sup>)当たり、16メガビットの集積回路が市場に出荷されつつあり、64メガあるいは256メガビットの素子が既に研究、試作され、やがては1ギガビットあるいはそれ以上の集積度をいかにして達成するかが議論されつつある。計算機、ロボット、飛行機等の産業機器は言うに及ばず、電気炊飯器等家庭で見かける種々の装置にもすでに多くの半導体集積回路が組み込まれており、いかに我々の日常生活がそれらの恩恵を受けているかは議論の余地はない。しかし今後この半導体集積回路の集積度がどこまで進むかは、専門家の間でもそれほどはっきりしているわけではない。素子が小さくなればなるほどそれを達成する為の技術的困難さはもとより、

そこで発生する熱やあるいは半導体を制御するために必要な不純物の濃度の場所的な揺らぎ等、原理的に従来素子の動作原理ではその寸法の微小化に限界があると一般的には考えられている。また、寸法をミクロンからサブミクロンさらにナノメートルとどんどん小さくして行ったとき、そこで起こる現象が寸法の大きかった場合に起こる現象と果たして同じであるかどうかという、本質的な疑問もある。

半導体のデバイスが基本的には電子を媒介としてその機能を引き出していることを考えると、従来のデバイスは電子をあたかも電荷を運ぶ集団として考え、その通り易さを制御する事により、素子としての機能を付与してきた。電子は粒子としての性質があると同時に波としての性質があるこ



とは良く知られていることであるが、素子の寸法がこの波の波長(ドブロイ波長、 $\sim 100$ オングストローム程度)に近づくと電子はもはや粒子としてよりも波としての性質を顕著に現し、従来の半導体素子の概念では記述出来なくなる。最近、この電子を波としてとらえ、電子の波の干渉をあたかも光の波の干渉の様に制御して新しいデバイスを作ろうとする電子波エレクトロニクスという概念が登場しつつある。

図1は電子波の干渉を制御することによる新しい素子の概念図を示す。図1において、左の細線Iより中央のリングに入った電子波はあたかも光のマーツェンダ干渉計の様に上下のリング1、2に分かれて伝搬するが、上のリングに伝わる電子波と下のリングを伝わる電子波の位相を電界や磁場等、何らかの方法で制御する事ができれば右側の細線からでてくる電子波の振幅を制御する事ができる。すなわち、上のリングを伝搬する波の位相を $1/2$ 遅らせることにより、上のリングを伝搬する電子波と下のリングを伝搬してくる電子波とはF点でお互いに打ち消しあい、右側の細線にはでてこなくなる。図2は実際に製作した電子波干渉デバイスの写真である。また図3は磁場を用いて電子波の位相を制御した場合の電子波の干渉の様子を示す。電子波の干渉により、電子波干渉リングの実効的な抵抗が周期的に磁場の強度に対して規則正しく振動しているのがわかる。このような電子波の干渉効果を利用したデバイスが実現すると、たとえば、従来の方法で全加算機ロジック回路を製作すると25~35個のトランジスタが必要なところを2個の電子波干渉回路でその機能をもたせることも可能となる。

また、最近注目されている現象にクーロンブロッケード効果がある。今、図4に示す様に、0.1ミクロンあるいはそれ以下の極微の小さな島(ドット)がトンネル接合を通して外部回路に接合されている場合を考える。このような微小な系で1個の電子がトンネル接合を通して、ソースから島に移ったとする。電子の移動により電子による島の充電エネルギーがその温度での熱エネルギーより十分大きいと次の電子は充電エネルギーのためにブ

ックされてその島に移れなくなってしまう。この現象をクーロンブロッケード効果と呼ぶ。このクーロンブロッケード効果のため、島に移った1個の電子が図の右側の電極(ドレイン)に移って初め

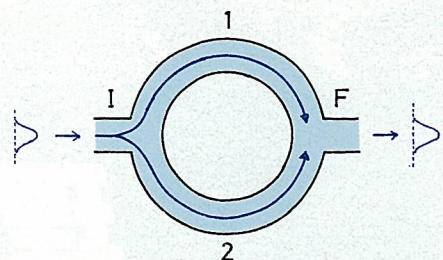
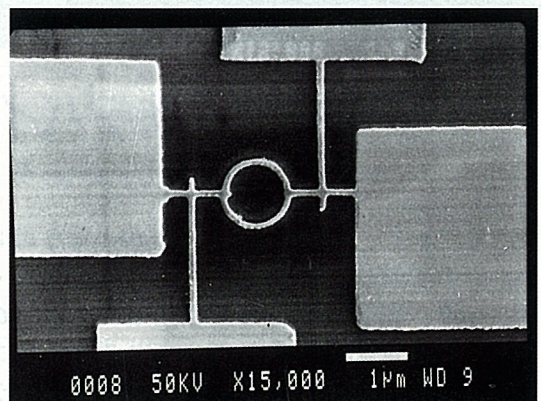


図1 電子波干渉デバイスの概念図



Ni small Ring  
diameter  $1\mu\text{m}$   
width  $0.1\mu\text{m}$

図2 実際に製作した電子波干渉デバイスの例

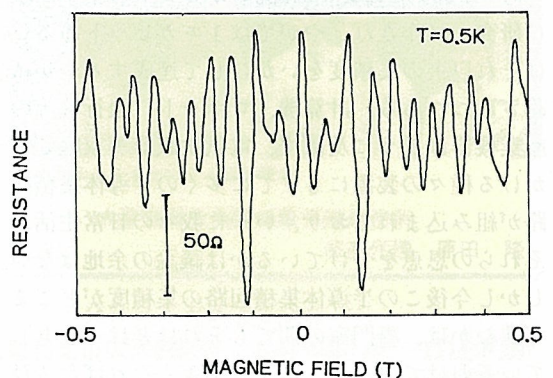


図3 電子波干渉による磁場による周期的な抵抗の変化



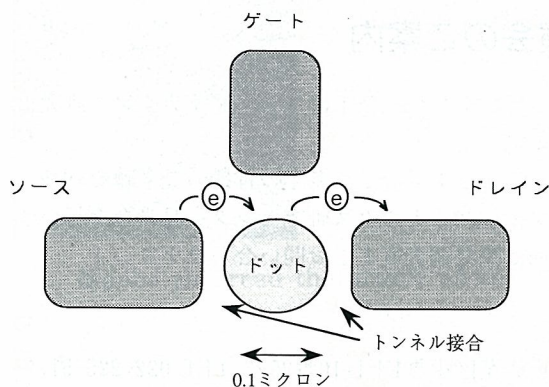


図4 単電子デバイスの概念図

て、次の電子が左側の電極より移ることが出来、結果として、電子が1個ずつ移動する事となる。この移動のし易さは、島に第3の電極(ゲート)をつけることによりその電圧で制御出来るので、1個の電子の流れを制御して新しいデバイスをつくる事が可能となる。これは電子1個ずつを制御する究極のデバイスである。1個の電子による島の充電エネルギーは、島の大きさが100オングストロームぐらいの十分小さな寸法になると常温の熱エネルギーより十分大きくなり、このクーロンブロック効果は常温でも原理的に観測できるようになる。我々は最近、クーロンブロック効果が磁場によっても制御できる事を見いだした。図5は我々の製作した単電子素子である。素子の寸法はまだ大きいので10mKと極低温でしか動作できないが、磁場をかけると図6に示すように単電子伝導によると考えられる振動が起こる事を見いだした。この単電子効果は配線なしに素子間に相互作用を持たせることが可能で、素子を並列あるいは直列に配置する事により新しい機能が期待でき、いままでとはまったく原理を異にする新しい単電子エレクトロニクスという分野が開かれる可能性がある。

大量の電子の流れを巨視的に制御し、それを基本にして微小化、集積化してきた、従来型のエレクトロニクスに代わるものとして、現在電子1個1個、あるいは電子の波の性質を利用した新しいエレクトロニクスが開かれつつある。これは、21世紀のエレクトロニクスとして、また、電子1個

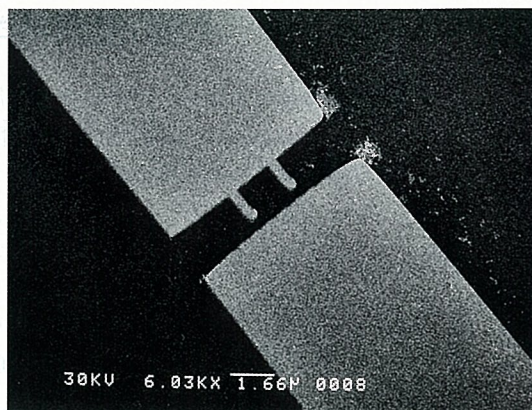


図5 実際に製作した単電子デバイスの例

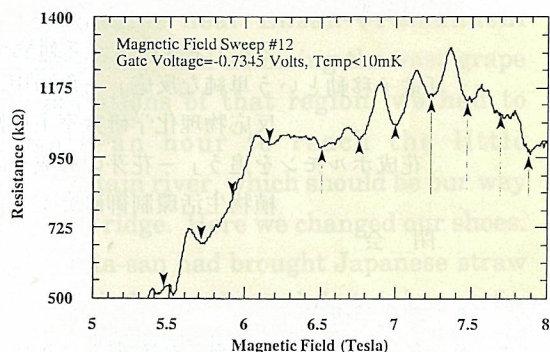


図6 単電子デバイスにおける磁場による周期的な抵抗の変化

ずつを扱うという、極限での物理、工学の新しい分野として注目されている。

この研究は半導体工学研究室と国際フロンティア研究システムナノ電子材料研究チーム(菅野卓雄チームリーダー)との共同研究で研究が進められている。



半導体工学研究室  
主任研究員 青柳克信



## 第16回科学講演会のご案内

研究成果を広く普及するため、科学講演会を毎年行っていますが、今年はフォトダイナミクス研究センター施設の完成にちなみ、「杜の都」仙台で開催します。

今回は“光”をテーマに最先端の研究をわかりやすく紹介しますので、多くの皆様のご来聴を歓迎いたします。(なお、講演会当日、11時より13時まで、フォトダイナミクス研究センター見学会を行います。送迎バスを用意致しますので、ご利用下さい。詳細は開発調査室までお問い合わせ下さい。)

**日 時**：平成5年10月22日(金) 13時開場 **入場無料**

**会 場**：仙台市・仙台ホテル3F青葉の間 〒980 仙台市青葉区中央1丁目10番25号 TEL.022-225-5171

### — 講 演 会 —

開 会		(13:30)
「眼と光」		(13:40～14:40)
	フォトダイナミクス研究センター長 医学博士 田 崎 京 二	
「電子移動という単純な反応」－亀の甲ばかりが化学ではない－		(14:40～15:40)
	反応物理化学研究室主任研究員 理学博士 吉 良 爽	
「花成ホルモンを追う」－花芽の形成を誘導するホルモンを求めて－		(15:55～16:55)
	植物生活環制御研究室主任研究員 農学博士 桜 井 成	
閉 会		(17:00)

**主 催**：理化学研究所

**後 援**：科学技術庁、宮城県、仙台市、東北経済連合会、仙台商工会議所、東北インテリジェントコスモス構想推進協議会

**協 賛**：関係学・協会

(問合先) 理化学研究所 開発調査室 TEL.048-462-1111(内線2472,2474)

## 最近の公開特許

### H05-126828 血球細胞の抗原結合能測定法

フロンティア研究システム 中内啓光  
小糸 厚

血球細胞を抗原と反応させた後、該血球細胞を抗原に対する抗体で処理し、その後、前記血球細胞中に存在する前記抗原のレセプターと反応する蛍光抗体及び前記抗体に反応する二次蛍光抗体で処理した後、蛍光強度を測定することを特徴とする血球細胞の抗原結合能測定方法。

### H05-142350 化学発光を用いた放射線検出方法

反応物理化学研究室 吉良 爽、丑田公規

水もしくは水溶液を放射線吸収媒質とし、発光物質としてルミノールおよびその誘導体等の化学発光により発光する物質を用いて放射線を検出する方法。





## SCIENCE BRINGS US TOGETHER

### Shower climbing in Japan

by Gunnar Jeschke

Maybe you read the article at the same page in RIKEN News last month. It was written by Marcus Hacke, who came from Germany with support of the same foundation like me for the same period of one year. He is a physicist, I am a chemist. He is from the west part of Germany, I am from the east part. We got on very well with each other, though you would perhaps not expect this, if you read one of the more recent newspaper articles on Germany reunification. We make most trips, hikings and sightseeing together and our views on Japan are very similar. I do not want to bore you by writing much the same as he did, so I will pick one of our most recent hikings with a Japanese friend and give you my impressions on that.

We met Tezuka-san first on New Years Eve at the Sato lodge at the fifth step of Mt. Fuji. Next morning he got up earlier than us. We could not make it to the summit this day, since ice and wind stopped us at the seventh step. With much more experience and better equipment he came closer to the summit. Later he wrote a letter to us and we met again in May to have a hike to Yashajin Pass in the Southern Alps near Kofu. We made an appointment for a next hiking, which should be a typical

Japanese pleasure-shower climbing in a ravine of the Chichibu-Tama National Park. Well, in contrast to Tezuka-san we are beginners in shower-climbing and so he took us to one of the easiest ravines. After going by car to a place in the mountains near Enzan (Yamanashi prefecture) and admiring the vast grape plantations of that region, we had to walk an hour to reach the little mountain river, which should be our way to the ridge. Here we changed our shoes. Tezuka-san had brought Japanese straw sandals for us. Japan is better known for its high-tech than for its traditional products, but these straw sandals gave us stability on wet rocks, which we would never have believed without trying it. Nevertheless Tezuka-san used high-tech rubber shoes (Made in Japan) and was again more than a match to us in both equipment and experience. We had to compensate for that with our youth and our long European legs.

Though the water was a little bit cold, climbing up the mountain river was real fun. Sometimes the water reached our knees, sometimes it barely covered our ankles. Some drops of rain fell on us (Oh-ame did not stop this year with the punctuality of Japanese trains), but anyway we were somewhat wet even



## SCIENCE BRINGS

without rain. The little waterfalls were the main attraction for us, you can see one of them at a picture. Sometimes Tezuka-san had to help us with a rope, but don't tell that others. After three and a half hours climbing water became so spare, that we changed back to our climbing boots. Another half hour tough climbing in romantic mossy woods brought us to the ridge.

Wind and some rain gave us a cool reception there. Thus our rest for lunch was short. Along virtually every mountain ridge all over Japan you can find a path, as we thankfully acknowledged whenever we had lost our way during one of our many other hiking tours. We found that this ridge provides an especially beautiful one, though we could not enjoy the view because of the clouds. After an hour or so we had to leave the ridge at a pass and used a normal path, no mountain river for the way downhill.

We will never admit, that we were



somewhat tired when we arrived at Tezuka-san's car after 8 hours walking time. While we could rest, Tezuka-san had to fight the traffic jam on the way back to Tokyo. Meanwhile Wakanohana assured his ozeki promotion in his penultimate bout of the Nagoya basho, as we could hear on the radio (all three of us are sumo fans). Back at RIKEN we praised the convenience of only warming up one of these popular curry dishes.

I hope, you have got some impression on shower climbing. These were other experiences and meetings to fill many pages, but unfortunately one other picture is all what I can show you about them. Science brings us together—this means insight into a different culture and a different lifestyle. And though understanding Japan maybe sometimes difficult for a Westerner (as books and experiences told me), I could hardly imagine a better way to it than being a visiting scientist at RIKEN.





## 溪流登り (要約)

先月号の筆者Marcus Hackeさんと私とは、ドイツの同じ奨学金と理研の援助により1年間理研に滞在している仲間です。彼は物理専攻で西ドイツ出身、私は化学専攻で東ドイツ出身という違いはありますが、ドイツの統一に関する新聞記事などに詳しい方々には2人が非常に仲良くしているという意外に思われるかも知れませんね。

2人は旅行やハイキングに何度も一緒に行ったりしましたし、日本についての意見もよく似ています。ここで彼と同じようなことを書いても皆様は退屈されると思いますので、ごく最近日本の友人(手塚さん)と行ったハイキングのことをとおして私の印象を書いてみます。

私たちが、手塚さんと最初に出会ったのは、大晦日の晩から登りはじめた富士山の五合目の山小屋サトウ・ロッジでした。次の朝、氷と風に遮られて、私たちは七合目までしか行けず、その日は頂上には立てませんでした。山の経験豊富な手塚さんは装備も良かったのか、頂上のすぐ近くまで行ったようでした。その後、手塚さんから手紙をもらい、5月に、甲府に近い南アルプスにある夜叉神峠にハイキングに行き、またまた次のハイキングの約束へと発展しました。それは日本の山歩きの典型的な楽しみの一つである、秩父多摩国立公園の中の渓谷登りでした。手塚さんと較べて、私たちは溪流登りに関しては初心者ですので、番易しい渓谷に連れて行ってもらいました。塩山(山梨県)の近くの山中まで自動車で行き、その地方の雄大な葡萄園を見てから1時間近く歩いて小さな溪流にたどり着きました。そこで履物を換え、尾根に向かいました。手塚さんが私たちにわらじを持ってきてくれたからです。こういった伝統的なものよりも、ハイテク製品で知られているのが日本ですが、このわらのサンダルが濡れた岩の上で実に歩きやすいことは、実際に試してみるまで信じられないことでした。手塚さんとはいえば、日本製のハイテク・ゴム・シューズを履いていました。これでは装備でも経験でも私たちがかなう

わけがありません。その不利を私たちの若さと長い足でカバーしなければなりませんでした。

水は冷たかったのですが、溪流を登るときは、わくわくしました。ときには水はくるぶしを覆うだけのこともありました。加えて雨の滴が私たちに容赦なく降りかかっていた。今年の大雨は、日本の列車のような正確さで絶え間なく降っていました。そんな中でも、私たちを魅了したのは、いくつかの小さな滝です。写真に写っているのがそのひとつです。内緒の話ですが、ときどき手塚さんにロープで支えてもらいました。さらに3時間半くらい登り、なれた登山靴に履きかえ、苔に覆われた林の中を苦労しながら登ると尾根にたどり着きました。

そこでも風と雨という冷たい歓迎を受け、景色はそれほど楽しめなかったのですが、この尾根は溪流登りとしては特にすばらしいものでした。

8時間余の山歩きを終え、帰りの車の中で、私たちは疲れたなどと言う訳にはいきませんでした。私たちが寝込んでいた間も、手塚さんは渋滞と奮闘しながら東京へ戻ってくれたのですから。車中、名古屋場所の結び前の一番で、若の花が大関昇進を確定したのを聴き相撲ファンの私達はとても興奮しました。理研に戻って夕食をとりましたが、疲れきっている私にとって暖めるだけで食べられるカレーの便利さをどんなにありがたく思ったことでしょう。

溪流登りについて何か印象を持って頂けたでしょうか。多くの頁を埋めるだけの経験や出会いはほかにも沢山ありますが、残念ながらここで紹介できるのは、もう一枚の写真だけです。Science brings us togetherとは様々な文化や生活様式を洞察するということだと思えます。我々西洋人にとって、日本を理解することはときとして難しいと思うこともありますが、理研で研究しているだけでなく、いろいろな経験や出会いを通して理解していきたいと思えます。





## 大型放射光施設の現地 播磨の暮らし

大型放射光施設播磨管理事務所に赴任してから今年の6月で2年目を迎えることになりました。遠く離れた関西文化圏に住み、山奥の建設現場で仕事をしています。

播磨は、姫路市を中心とする兵庫県の瀬戸内海側の地域で、姫路城や赤穂浪士で有名です。

播磨に暮らしていると関西と関東の文化圏の違いについて戸惑うことが多く、特に言葉の違いについては困りました。地元の方と話していると、「ほんまやで」、「ちやうで」などの関西弁の他に「べっちょない」や「らくや」などの播磨専門用語も使われます。また、関東と異なり言葉の語尾を上げて話しかけてきます。このため、何を言っているのか理解できない時や、どのように話しかけてよいのかまごつくことが当初ありました。しかし、播磨に暮らして1年たった現在では、関西弁にも慣れはじめ、関西弁もどきの言葉がたまに出るようになりました。

建設現場は、緑あふれる山林に囲まれていて、イノシシ、シカ、タヌキもたまに見かけることがあります。7月の今ごろは、ウグイスが鳴いて工作中的の我々の心をなごませてくれます。にぎやかな姫路駅付近から約1時間かかって通勤するときは遠足に行く気分になります。ただ、マイカーがないと不便です。事務所に9時ごろ着こうと思うと、姫路発の電車が8時頃に2本しかなく、これを乗り過ごすすと事務所に着くのが10時半頃になってしまいます。

事務所に勤務している人は、放射光が様々な波長の光を含んでいるように、出身機関がバラエティーに富んでいます。理研と共同で放射光計画を進めている原研の方以外に、中央官庁、県、地元の町、民間企業などから集まって来ており、それぞれ仕事のやり方が違うところがあって得難い経験を積んでいます。また現在、建設現場では蓄積リング棟の建設、入射器関係建家、給排水・道路等のユーティリティの建設、蓄積リングの電磁石の性能試験等が行われており、それぞれ

互いに係わり合うことがあるので、この調整を行っています。

放射光施設の建設は兵庫県の播磨科学公園都市の開発とともに歩んでいます。このため、兵庫県の職員の方と親交を深めることも大事です。この5月30日に中国から伝わったペーロンという船を漕いで競い合うお祭りが、相生湾で行われました。私も兵庫県チームの漕ぎ手の1人として参加しました。ペーロン競争では1チーム32人が息を合わせて漕ぐことが勝負の決め手です。このペーロン競争のように、兵庫県の方とも協調して放射光丸を円滑に推進していくように努めたいと思っています。

地元の期待が大きいか放射光施設を訪れる方が非常に多く、一日4件以上のときもあります。4月18日の一般公開の際には和光本所と同程度の2,000人程の見学者がありました。所長を中心に事務部門のスタッフは見学者の対応で自分の席に落ちついて座ることができない日もあります。

放射光施設を訪れる方はさまざまで、科学技術庁の方をはじめ、関連研究者、県、町、民間企業の方、地元一般の方、理研・原研の職員等です。放射光や科学技術になじみの薄い一般の方に、放射光施設の魅力についていろいろな例え話を織りまぜながらできるだけ分かりやすく説明し、少しでも多くの放射光計画のファンを増やすように努めています。

建設現場で関係する様々な業務を調整して放射光計画を円滑に推進するとともに、広い分野の先端科学技術を追求する理研についてもできるだけ多くの方に興味を持ってもらえるよう努めたいと思います。また、関西、山陽、山陰などなかなか関東からは足を伸ばせない場所を観光したり、関西風味を味わったりして播磨を楽しみたいつもりです。これらの経験は他の業務に就いたときでも大いに役立つと思います。



前列向かって右から2人目が筆者

大型放射光施設播磨管理事務所  
所長代理 原田 隆