

題名	私の人生とヘテロ構造の物語
Title	The Story of My Life and Heterostructures
著者名	ジョレス・イワノヴィッチ・アルフェロフ
Author(s)	Zhores Ivanovich Alferov
言語 Language	日本語・英語 Japanese, English
書名	稲盛財団：京都賞と助成金
Book title	The Inamori Foundation: Kyoto Prizes & Inamori Grants
受賞回	17
受賞年度	2001
出版者	財団法人 稲盛財団
Publisher	The Inamori Foundation
発行日 Issue Date	5/31/2002
開始ページ Start page	132
終了ページ End page	162
ISBN	978-4-900663-17-4

## 私の人生とヘテロ構造の物語 [photo 1]

ジョレス・イワノヴィッチ・アルフェロフ

人生はまさに「光陰矢の如し」です。学生の頃、物理の教官を招いた記念行事に何度か出席したことをついこの間のことのように覚えているのですが、当時、私にとって「先生」というのは自分よりもずっと年上の存在でした。ところが、その私が今では70歳になってしまったのですから。

私の両親、イワン・カルボヴィッチとアンナ・ウラジーミロブナ [photo 2] は、現在のベラルーシであるビエロルシアで生まれ育ちました。父は18歳の時にペテルスブルクに移ってきました。1912年のことです。若い頃は港で働いたり、使い走りのようなことをしたりして苦勞していたようですが、やがて、後にカール・マルクス工場と呼ばれる「レスナー」工場で職に就くことができました。

第一次大戦中には下士官として近衛騎兵連隊に入隊し、軽騎兵として活躍した功績が認められて聖ジョージ勲章を受けています。1917年9月、父はボリシェヴィキ党に入党し、亡くなるまで社会主義、共産主義への支持を貫き通しました。

子供の頃、兄と私はうんざりするくらい、内戦の話や軍隊での話を父から聞かされたものでした。曰く、一介の下士官に過ぎなかった父がいかにして赤軍の騎兵連隊の指揮を取るまでに至ったか。また、レーニン、トロツキー、ドゥメンコなど、革命の指導者たちとの出会いについても話してくれました。特に「アンドレイ同士」ことソルツは、父がモスクワに来た時には、通称「堤防ハウス」にある彼のアパートを自由に使わせてくれたそうです。1935年に父が工業アカデミーを卒業すると、国中を転々とする生活が始まりました。スターリングラード、ノボシビルスク、バルナウル、レニングラード近郊のシアストロイといった地です。戦争中はスヴェルドロフスク地方のトゥリンスクに、そして、戦後は廃墟と化したミンスク市に移ってきました。父は合弁企業の工場長となり、後にはトラスト（企業合同）の責任者に任命されました。一方、母は主婦を対象とした公的グループのまとめ役をしながら、司書として働いていました。私たち兄弟にとって、母は友達のような存在で、決して私たちのやる気をそぐようなことは口にしませんでした。私たち兄弟は、「所長の息子」ということもあって、常に行儀よく振る舞い、学校や人前できちんとした行動を取るように心掛けていました。

勉強は苦になりませんでした。学校や外では、私の頼りになる擁護者、兄のマルクス [photo 3] のおかげで、これといった問題もなく過ごすことができました。1941年6月21日（ナチの侵攻が始まった翌日です）、兄が地元の高校を卒業すると、私たちは父の仕事の都合でウラル地方のトゥリンスクに引っ越すことになりました。父は、「第三

## The Story of My Life and Heterostructures [photo 1]

Zhores Ivanovich Alferov

Life goes on surprisingly fast. It seems to happen a short time ago that I would attend anniversary celebrations in honour of noted physicists, my teachers who to my mind looked quite old. But at the present time, I myself have recently marked the 70th birthday.

My parents, Ivan Karpovich and Anna Vladimirovna [photo 2], had been Byelorussia born and raised. At the age of eighteen my father arrived in Saint Petersburg, in the year 1912. In his early hard years, he had been a docker, an errand boy and consequently got a job as a worker at the “Lessner” plant (later the Karl Marx Plant).

During World War I, he was a brave hussar, a non-commissioned officer of the Life Guards, a holder of the St. George Order. In September 1917, my father joined the Bolshevik party and retained his adherence to the socialist and communist principles to the end of his life.

In childhood, my brother and I “with a sinking heart” used to listen to father’s stories about the civil war and his military career. We learned how the formerly non-commissioned officer had been appointed to take command of a cavalry regiment in the Red Army. Father also used to tell us about his meetings with revolutionary leaders: V. I. Lenin, L. D. Trotsky, B. E. Dumenko, “comrade Andrey” (A. Solts) who always put his apartment in the “Embankment House” at my father’s disposal while we stayed in Moscow. Father graduated from the Industrial Academy in 1935 and since then destiny was throwing us all over the country: Stalingrad, Novosibirsk, Barnaul, Syas’sstroy in the environs of Leningrad, Turinsk (Sverdlovsk region), where we lived throughout the war time, and eventually Minsk, a city lying in ruins after the war. Dad was given a new assignment as director of a factory, joint enterprises (corporation of enterprises), later director of a trust. Mother headed a public organization of housewives; worked as a librarian and always remained our close friend while bringing us up without discouraging words. As a result of being so-called “director’s boys,” my brother and I tried to behave ourselves and to act in the way that people thought was correct and proper both at school and in public.

Learning was easy to me, and my dependable defender, my elder brother Marx [photo 3], made my existence cloudless at school and outdoors as well. Marx had graduated high school on June 21, 1941 (next day the Nazi invasion started) in the town of Syas’sstroy and shortly after that we left for the Urals to Turinsk city as Dad had been assigned there to a post of director of a newly-built gunpowder



工場」と呼ばれる、新しくできた火薬セルロース工場の工場長に任命されたのです。当時、17歳になっていた兄は、ウラル工業大学のエネルギー学部に入學しました。まだ高校生だというのに、兄はエネルギー問題が将来、非常に重要になると考えていたのです。しかし、結局兄はその大学に長くとはどまることはありませんでした。祖国防衛のために立ち上がり、前線でファシストと戦う決心をしたのです。

兄はスターリングラード、ハリコフ、クルスクなどを転戦しました。頭に重傷を負って一時は戦線を離脱したのですが、傷が癒えると再び野戦軍に送り込まれました。「第二のスターリングラード」と呼ばれた Korsun-Shevchenko の戦いでした。当時、近衛隊少尉だった私の兄、マルクス・イワノヴィッチ・アルフェロフは、この戦いで命を落としました。以来、私にとって兄は永遠に20歳のままです。

1943年10月、病院を退院して前線に向かう途中、兄はスヴェルドロフスクで私たちと3日間を過ごしました。私はその後の人生において、その時のことを折に触れて思い起こしてきました。兄は、戦争のこと、科学技術や人知が持つパワーに対する彼の期待、希望などについて熱く語ってくれました。

戦後、私は戦争の爪あとが深く残るミンスク市の男子校に通うようになり、ヤーコフ・ボリーソヴィッチ・メルツェソンという素晴らしい物理の先生に巡り会うことができました。やんちゃ盛りの私たち生徒も、先生の授業では静かに、そして熱心に耳を傾けていました。先生は心の底から物理を愛しており、生徒の想像力をうまく引き出す才能がありました。特に、陰極線オシロスコープの動作やレーダー・システムの話には感銘を受けました。高校を卒業すると、先生が薦めてくれた名門、レニングラード電気技術大学 (LETI) に入學しました。

LETIでは、エレクトロニクス、無線工学に関する体系的研究が数多く行われ、エレクトロニクス産業に大きな貢献をしていました。個人的には、幸運なことには LETI で私にとって最初の指導教官となる人物に出会いました。理論を扱った授業は、やさしすぎるくらいでしたが、研究室での実験には興味をそそられました。3年生の時に、私は真空プロセスの研究室を手伝い始めました。私にとって初めての研究を指導してくださったのは、半導体光検出器の研究を行っていた N・N・ソジーナ 研究員でした。その時以来、半導体は半世紀も前から私の研究の中核となっています。教科書は、F・F・フォルケンシュタインが、レニングラードが戦火に見舞われていた時代に同地で著した『半導体の電気伝導性 (*The Electroconductivity of Semiconductors*)』というものでした。卒業論文では、薄膜の形成、ならびにテルル化鉛化合物の研究

cellulose factory (at the time referred to as factory No.3). My elder brother, who was seventeen years old then, joined the Urals Industrial Institute (the Energy Faculty). The young student considered the problem of energy to be of cardinal importance for the future. But he did not study long at the Institute. He decided to defend his Motherland and to fight against fascists at the front line.

He passed Stalingrad, Kharkov, the Kursk battle. Having recovered after a heavy head injury he was sent to the Army in the Field again. That was called "another Stalingrad," i.e., the Korsun-Shevchenko battle, where at 20 years old he was shot down. Guard junior lieutenant Marx Ivanovich Alferov, my elder brother, remained aged 20 years forever.

In October 1943, on the way to the front from hospital he spent 3 days with us in Sverdlovsk. I often look back and reflect on those three days; on his description of the war, his youthful enthusiasm and faith in the power of science, technology and human intelligence.

In the post-war particular situation I attended a boys-only school in the destroyed Minsk, and was lucky in having an excellent physics teacher there, Yakov Borisovich Meltseron. He delivered lectures on physics for us, rather naughty boys, and we were sitting quiet and listened attentively. The teacher loved physics devotedly and had a gift of making our imagination work. His explanation of the cathode oscilloscope operation and talk on radar systems greatly impressed me. On finishing school, I took his advice on which institution to choose for education and that was the celebrated Ul'yanov Electro technical Institute in Leningrad (abbreviated to LETI).

Many of the systematic studies in electronics and radio engineering that had been performed there made significant contributions to the electronics industry. As for me, it was my good fortune to meet my first supervisor there. Theoretical courses of studies were easy enough for me. It was the laboratory research that attracted me. Being a third-year student, I began to work in a laboratory of vacuum processes. My first investigations were directed by a research associate, N. N. Sozina, who studied semiconductor photodetectors. Since that time, half a century ago, semiconductors have become main objects of my scientific interests. A book *The Electroconductivity of Semiconductors* by F. F. Volkenshtein, which had been written in Leningrad (during the time of Leningrad's siege) was my textbook then. My graduation thesis was devoted to the problem of obtaining thin films and investigating the photoconductivity of bismuth telluride compounds.



をテーマに取り上げました。

1952年12月、私はLETIを卒業しました。実は、ソジーナ先生から大学に残って研究を続けたいかとお誘いを受けていたのですが、私には、アブラム・フェオドロヴィチ・ヨッフエが設立した物理技術研究所で働きたいという夢がありました。ヨッフエの著書、『近代物理学の基礎 (Fundamentals of Modern Physics)』は、私にとっての手引書のような存在でした。幸いにも、LETIには同研究所から3人の研究員採用枠が割り振られており、私はその内の1人に選ばれました。夢が叶った私はまさに夢見心地でした。今振り返って考えてみても、私が科学者として成功できたのもこの3人枠のおかげだと思います。

当時、ミンスク市に住んでいた両親宛ての手紙でも、私はいかに自分が幸運にめぐまれたかを書き記しています。しかし、ヨッフエ研究所の創立者であるアカデミー会員のヨッフエはすでに解任され、自らが30年間にわたって所長を務めてきた研究所を去っていたことを私はまだ知りませんでした。

今でも初めて研究所に行った時のことを覚えています。1953年の1月30日のことでした。私は、サブディビジョンのトップで、私の新しい指導者となるV・M・ツキビックに紹介されました。「pn接合上におけるゲルマニウムのダイオードと三極のトランジスタの形成」というのが、決して大きいとはいえない私たちのチームに与えられたテーマでした。

物理技術研究所は、今の尺度で考えると、決して大きな研究所ではありませんでした。例えば、私が貰った研究所の通行証は429番でした。つまり、少なくともそれくらいの数の研究員がいるはずだったのですが、優秀な物理学者のほとんどはモスクワのI・V・クルチャトフや当時新しくできた原子力センターに移ってしまっていました。また、半導体分野のエリートもヨッフエ博士を追い、これも当時できたばかりのソヴェエト科学アカデミー最高会議常任幹部会に属する半導体研究所で博士の指導を受けていました。したがって、物理技術研究所には、D・N・ナズレドフ、B・T・コロミエツ、V・M・ツキビックなど、半導体研究分野では第一世代となる物理学者しか残っていませんでした。

当時、アカデミー会員のA・P・コマルがヨッフエ博士に代わって所長を務めていました。前任者ヨッフエ博士に対する彼の態度は決して誉められたものではありませんでしたが、研究所の建て直し、発展という目的においては、彼の戦略は正しいものでした。中でも、新たな半導体エレクトロニクスの形成、高速気体力学や高温保護

In December 1952, I graduated from the Institute and was offered by my supervisor N. N. Sozina to stay in the LETI to continue my study. But I dreamed of working at the Physico-Technical Institute that had been founded by Abram Fedorovich Ioffe. His book *Fundamentals of Modern Physics* was a manual for me. Happily, three vacancies for graduates had been given to us by Ioffe's Institute. One of them fell to my lot. My joy was boundless. And maybe it is this lucky distribution that has determined my happy scientific career.

In a letter to my parents, then residing in Minsk, I wrote about my lucky chance. I did not know that Academician Ioffe was dismissed and had left the Institute of which he had been the director for thirty years.

I recall my first day at the Physico-Technical Institute on January 30, 1953. I was introduced to my new supervisor, V. M. Tuchkevich, the head of my subdivision. There was a very important problem to be solved by our not very big team: creation of germanium diodes and triodes (transistors) on p-n junctions.

The Physico-Technical Institute, by today's standards, was not a big one. I was given an Institute pass No.429, i.e., the total amount of employees was as high as the above mentioned number; most of the famous physicists of the Physico-Technical Institute moved to Moscow (to I. V. Kurchatov's, and newly-built atomic centers). The semiconductor elite followed A. F. Ioffe in order to work under his supervision in a recently organized semiconductor laboratory belonging to the Presidium of the Academy of Sciences of the USSR. In the Physico-Technical Institute there remained only D. N. Nasledov, B. T. Kolomiets and V. M. Tuchkevich as representatives of the old generation of physicists who formerly dealt with semiconductors.

Academician A. P. Komar came after A. F. Ioffe in charge of the Physico-Technical Institute. The new director's attitude to his predecessor was not quite correct but as to the restoration and development of the Institute, his strategy was O.K. Of utmost importance was the support of works on the creation of new semiconductor electronics, space investigations (gas dynamics of high velocities and high temperature protective coatings), and development of the light isotope separation methods for the hydrogen weapon (under the guidance of B. P. Konstantinov).

Studies of fundamental problems of physics, both theoretical and experimental ones, were encouraged too: just at this time experimental discovery of exciton was made (E. F. Gross), the principles of a kinetic theory of strength were formulated



コーティングに関する空間調査、B・P・コンスタンティノフ指揮による、水素爆弾のための光同位体分離法などの研究に対するサポート体制が特に必要とされていました。

理論、経験的なものを問わず、物理の基本的課題に関する研究も奨励されました。ちょうどその頃、E・F・グロスが実験で励起子を発見し、S・N・ズルコフによって力の運動学的理論の原則が打ち立てられ、原子衝突に関する先駆的な研究がV・M・デュカルスキイとN・V・フェドレンコによって始まっていました。

コマル所長とナズレドフ副所長は、若い科学者に対する動機付けの重要性がお分かりでした。おかげで、新入研究員もトップレベルの研究チームに参加することが許されていました。現在、ロシア科学アカデミーに名前を連ねるB・P・ザハルチュナヤ、A・A・カプリアンスキー、E・P・マゼッツ、V・V・アフロシモフなど、後に名を成した科学者の多くが、こうした恩恵に浴することができました。

1953年2月、私は物理科学研究所の半導体セミナーに初めて参加しました。その時の経験は、私の人生の中でも特に印象的だったことの1つとして、今でもよく覚えています。ちょうど、E・F・グロスが励起子の発見に関する、素晴らしい報告を行っていたのです。当時私が受けた衝撃は、何ものにも勝るものでした。自分が第一歩を踏み出したばかりの科学領域でなされた偉業に、私は呆然としたものでした。

しかし、なんといっても面白かったのは研究所で毎日のように行っていた実験でした。当時から私は几帳面に実験日誌をつけていました。その日誌には、ソヴィエトで初めてpn接合トランジスタが開発された1953年3月5日のことも記録されています。当時を振り返ってみて、私は自分のチームが成し遂げたことに大いに誇りを感じます。私のチームは若い研究者が中心でしたが、ツキビックの指導のもと、トランジスタ電子工学の技術、測定規準の原理を導き出すことに成功したのです。当時、小さな研究室で私と一緒に仕事をしていたメンバーには、レニングラード大学出身で完全なゲルマニウム単結晶の生成、ドーピングの研究を行っていたA・A・レベデフ、世界最高レベルのパラメータを持つトランジスタを開発したZh・I・アルフェロフ、ゲルマニウム単結晶とトランジスタの正確な測定基準をつくったA・I・ウラロフとS・M・リフキン、それに、レニングラード電気技術大学無線工学部出身でトランジスタをベースにした回路の設計を行ったN・S・ヤコフチュクなどがいました。

1953年の5月には、ソヴィエト初のトランジスタ受信機が「最高幹部」にお披露目されました。若い研究員が大きな責任を感じながらもひたむきな心で成し遂げたこの

(S. N. Zhurkov), and development of the pioneering works on physics of atomic collisions was initiated (V. M. Dukel'skii, N. V. Fedorenko).

Both the director of the Institute (A. P. Komar) and the deputy director (D. N. Nasledov) understood the importance of drawing the interests of young people to science. It was a practice then to welcome newcomers at the highest level. In this way many renowned Russian scientists started their work, among them were present members of the Academy of Sciences B. P. Zakharchenya, A. A. Kaplyanskii, E. P. Mazets, V. V. Afrosimov and others.

I remember my first attendance of a seminar on semiconductors at the Physico-Technical Institute in February 1953 as one of the most impressive events I have ever experienced. That was a brilliant report delivered by E. F. Gross about the discovery of the exciton. The sensation I experienced then could not be compared to anything. I was stunned by the talk on the birth of a discovery in the area of science to which I myself had access.

Yet the main thing was everyday experimental work in the laboratory. Since that time I have been keeping, as a most precious thing, my laboratory daily report book that contains notes of mine about the creation of the first soviet p-n junction transistor on the 5th of March, 1953. And now, when recalling that time I cannot help feeling proud of what we had accomplished. We comprised a team of very young people. Under the guidance of V. M. Tuchkevich we succeeded in working out principles of the technology and the metrics of transistor electronics. Below are the names of researchers who had been working in our small laboratory: A. A. Lebedev, a Leningrad University graduate—the growth and doping of perfect germanium single crystals; Zh. I. Alferov—the preparation of transistors, their parameters being at the level of the best world samples; A. I. Uvarov and S. M. Ryvkin—the creation of a precise metrics of germanium single crystals and transistors; N. S. Yakovchuk, a graduate of the Faculty of Radio Engineering of the Leningrad Electrical Technical Institute—designing transistor-based circuits.

As early as in May 1953, the first Soviet transistor receivers were shown to the “top authorities.” That work, of which the performers had been working with passion peculiar to their young hearts and with utmost sense of responsibility, exerted a great influence upon me. While quickly and effectively progressing as a scientist I began to comprehend the significance of the technology not only for electronic devices, but in basic research work too, in regard with notorious “minor” details and sporadic results. And it is since then that I prefer to analyze experimental



発明は、その後の私の研究人生に大きな影響を与えました。科学者として急速かつ効率よく力をつけつつあった私は、「些細な」ことで行き詰まり、実験結果も不安定なものになりがちだったトランジスタ技術に関して、電子デバイスへの応用だけでなく、その基礎研究の重要性をも理解し始めていました。実験結果から「きれいな」理論をひねり出すことよりも、単純な一般的法則を当てはめてみて分析することに重きを置くようになったのも、この頃からです。

私が所属していたツキビツのチームは、その後数年で研究員もかなり増え、ソヴィエト初のゲルマニウム順変換装置、さらにはゲルマニウム光ダイオード、シリコン太陽電池などの開発に次々と成功していました。加えて、ゲルマニウムやシリコンに含まれる不純物の挙動に関する研究も行われていました。

1958年5月、私たちのチームは、後にソヴィエト科学アカデミー会長となるアナトーリー・ペトロヴィチ・アレクサンドロフから、ソヴィエト初の原子力潜水艦に搭載する特殊な半導体デバイスの開発依頼を受けました。このプロジェクトには、全く新しい技術に加えて、新しいゲルマニウム整流器の開発が必要とされていましたが、それも記録的に短い時間で達成され、同じ年の10月にはその装置は潜水艦に搭載されていました。当時の私の肩書きは下級研究員だったのですが、この装置の開発を進めていた時に、ソヴィエト政府最初の副議長、ディミトリ・フェオドロヴィチ・ユスティノフから突然電話があり、開発期間の2週間前倒しを命じられました。その「命令」は絶対でした。私はその日から研究所で寝泊りするようになり、私に下された初めての「国家命令」を無事に果たすことができました。この功績が認められて私は後に勲章を受けましたが、自分でもよい仕事ができたと考えています。

半導体のヘテロ構造についてお話ししましょう。ここではいくつかのモードにわかれています[photo 4]。一番下の線が価電子バンド、一番上の線が伝導バンド、半導体は伝導バンドの下です。トランジスタをつくったうちの1人であるウィリアム・ショックレーは、ちょうどトランジスタが発明された後、伝導バンドに電子を、発光層の価電子バンドに正孔を注入する目的で、いわゆるワイドギャップ素材の活用を提唱しました。注入の現象や不均衡領域、そこにおける電子や正孔により、半導体の素材が発見されました。実際的には私たちのものと似ているのですが、トランジスタの発見となりました。ジョン・バーディーン（後に、歴史上唯一、ノーベル物理学賞を2度受けた人物ですが）、彼はこの現象を推測しており、それからショックレーがヘテロ構造の活用を提唱しました。1950年代、ハーバート・カーナーが、新しい方法とし

results proceeding from “simple” general laws prior to putting forward sophisticated explanations.

In subsequent years, our team of researchers at the Physico-Technical Institute expanded considerably and in a very short time the first Soviet germanium power rectifiers were created alongside with germanium photodiodes and silicon solar cells in V. M. Tuchkevich's laboratory. Works on studying the behaviour of impurities in germanium and silicon also were being carried out then.

In the month of May 1958, Anatolii Petrovich Alexandrov (later the President of the Academy of Sciences of the USSR) asked our team to work out a special semiconductor device for the first Soviet atomic submarine. That required a perfectly new technology and in addition to another—construction of germanium rectifiers, which had been done in a record short space of time. In the month of October, these devices were mounted on a submarine. I was a junior research associate at the Institute then, and was somewhat surprised by a telephone call from the first Vice-Chairman of the Government of the USSR, Dmitrii Fedorovich Ustinov, who asked me for a fortnight's reduction of the term. There was no getting away from that: I directly moved in the laboratory premises and settled there and, of course, the request was fulfilled. That was my first State Order, which I had been decorated with then and which I valued very much.

I am going to tell you about the semiconductor heterostructure. That is just band models of them [photo 4]. So, the lowest line is the valence band and the highest line is the conduction, and under the conduction band is the semiconductor. And just after the invention of transistor, William Schokley, who is one of the creators of the transistor, proposed the use of what we call wide gap material, in order to inject electrons into the conduction band and holes into the valence band of the luminescent layer. So the phenomena of injection, non-equilibrium areas, electrons and holes in there, semiconductor materials were discovered, practically similar to ours, the discovery of transistor. Because John Bardeen (who is the only one who, during the whole history, got two Nobel Prizes in physics; see later) guessed this phenomenon and then Schokley proposed the use of the heterostructure. In the 1950s Herbert Kerner could see the new way how electrons move in the material under the force of the change of the chemical compositions of the material.

In 1961, I read my candidate degree thesis that had been mainly devoted to working out and investigating power germanium and partially silicon rectifiers.



て素材の化学組成が変わることによって電子が素材の中でどのように動くのかを見いだしました。

1961年、私は主に出力ゲルマニウム、部分シリコン整流器の理論、研究を論じた学位論文を発表しました。後にソヴィエトの出力半導体エレクトロニクスの基点となったこの研究が科学的、そして純粋に物理学的見地から見て画期的だったのは、私が導いたある結論によります。それは、「ほとんどの半導体デバイスに関して、動作電流密度にあるpin, pnn半導体ホモ構造において、電流はかなりドーピングされたp-, n(n<sup>+</sup>)-領域の再結合によって決定されるが、ホモ構造の中間i(n)-領域における再結合寄与は決定因子ではない」というものです。ですから、私は、半導体レーザの研究が始まった時から、p-i-n (p-n-n<sup>+</sup>, n-n-p<sup>+</sup>) タイプのダブルヘテロ構造をレーザに用いることができないものかと考えていました。こうしたアイデアが具体化したのはR・ホールらがガリウム・ヒ素ホモpn構造をベースにした半導体レーザについての最初の論文を発表して間もなくのことでした。

私たちは、ヘテロ構造が持つ利点を活かすために必要だったアルミニウム・ガリウム・ヒ素 (Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As) ヘテロ構造の開発にまず取り組み、それに成功しました。後に分かったのですが、私たちより1カ月遅れでIBMのアメリカ人研究者が同じ開発に成功していました。

ヘテロ構造の研究を始めるにあたって、私は若手研究員に、半導体物理やエレクトロニクスの開発が、ホモ構造ではなくヘテロ構造を基準に発展する、という概念の重要性を認識している研究グループは私たちだけではない、とよく言っていました。事実、1968年以降、私たちはベル研究所、IBM、RCAというアメリカの三大研究所をはじめとする、様々な研究機関を相手にした開発競争に巻き込まれたのでした。

1967年にイギリスを訪れた際、私はハーローにあるSTL研究所を訪れました。STLは設備も整っており、実験に必要なノウハウも豊富に持っていました。ヘテロ構造物理に関しては、イギリス人研究者はまだ理論の段階に留まっていた、ヘテロ構造の実験研究の可能性にはまだ気付いていませんでした。この小旅行を利用して、私はロンドンで観光とショッピングを楽しみ、ここで婚約者のタマラ・ダルスカヤに結婚記念のプレゼントを買いました。レニングラードに戻った私は、ホテル「ヨーロッパ」の「クリシャ（屋根）」という立派なレストランで結婚のお祝いをしました[photo 5]。タマラはボロネジというミュージカル・コメディ・シアターのスター役者の娘で、当時はアカデミー会員V・P・グルシユコが指揮を取っていたモスクワ近郊の宇宙事業

Soviet power semiconductor electronics became possible as a result of those works. Of great importance there, in the sense of a scientific, purely physical standpoint, had been a conclusion drawn by me that in p-i-n, p-n-n semiconductor homostructures under working current densities (for most of semiconductor devices), the current had been determined by recombination in heavily doped p- and n (n<sup>+</sup>)-regions, while the recombination contribution in the middle i(n)-region of a homostructure was not the determining one: so, as soon as the first work on semiconductor lasers had appeared, it was natural for me to consider the advantages of employing in lasers the double heterostructure of p-i-n (p-n-n<sup>+</sup>, n-n-p<sup>+</sup>) type. The idea was formulated by us shortly after the appearance of the first work of R. Hall with co-workers, which described a semiconductor laser based on a GaAs homo-p-n-structure.

To realize the principal advantages of heterostructures appeared to be possible only after obtaining of Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As heterostructures. We did that and it turned out that we had been only one month ahead in relation to American researches from IBM.

When we began investigating heterostructures, I used to convince my young colleagues that we were not the one and only group of scientists in the world who understood the significance of the concept that the semiconductor physics and electronics would be developing on the basis of HETERO-, rather than HOMO-structures. Indeed, since 1968 we entered an era of a strong competition and the first of all were three laboratories of the biggest American companies: Bell Telephone, IBM and RCA.

In 1967, while on a short trip to U.K., I visited STL laboratories in Harlow. They were well equipped and the experimental base was excellent, but English colleagues only discussed theoretical aspects of the heterostructures physics; they did not find experimental study of heterostructures to be promising then. In London I had some time for sightseeing and shopping. I bought there wedding gifts to my fiancée Tamara Darskaya. As soon as I returned to Leningrad, we celebrated our wedding in a splendid restaurant “Krysha” (the Roof) in the Grand Hotel “Europe” [photo 5]. Tamara was a daughter of a very popular actor of Voronezh Theatre of Musical Comedy. Tamara worked then in the environs of Moscow at a big Space Enterprise under the guidance of Academician V. P. Glushko. She wonderfully combined incompatible beauty with cleverness and common sense and was always very kind toward her close friends. It was time of repeated weekly flights to Moscow. Holding a position of a Senior Research Associate at the Physico-Technical Institute,



団で働いていました。彼女には、美と知性という二物が備わっていました。また、常識もあって、友人に対しては常に非常に親切に接していました。その頃私は上級研究員になっており、毎週飛行機でモスクワに通うということも可能でした。レニングラードーモスクワ間のフライトはTU-104で1時間ほど。チケットは11ルーブル（約15ドル）程度でした。半年ほど遠距離恋愛を続けた後、結局タマラがレニングラードに引っ越してきました。

1968年から69年頃には、ヒ素・ガリウム-ヒ素・アルミニウム系をベースにした古典的ヘテロ構造における電子や光束の制御に関する私たちの理論は、実験レベルでは事実上すべて証明されていました。効率的な片面注入、「スーパー注入」効果、斜トンネル、そして、しばらくして、半導体における低次元電子ガス研究の主要な要素として用いられていたダブルヘテロ構造への電子、光閉じ込めなど、基礎研究の分野で新たに得られた重要な実験結果に加え、私たちはヘテロ構造の利点を、レーザ、LED、太陽電池、ダイニスタ、トランジスタなどのデバイスに応用することに成功しました。

しかし、このダブルヘテロ構造の概念をレーザで実現させるためには、このユニークな提案を実行しうる素材を見つけ出すことが必要でした[photo 6]。実際、私たちはそれを見つけ出すのにおよそ4年を費やしました。今なら当たり前のように知られていますが、当時は大変複雑なものに思え、乗り越えなければならない心理的葛藤がありました。中でも特に重要な結果は、遡ること1963年に、ヨッフエ研究所の私自身とR・F・カザリノフと米国のハーバート・カーナーがすでにその可能性を示唆していたダブルヘテロ構造（DHS）上における低しきい値室温動作レーザの実現でした。パニッシュ博士と林博士がベル研究所で、そしてH・クレッセル博士がRCAで行っていたアプローチは、私たちとは異なっていました。彼らはp-アルミニウム・ガリウム・ヒ素-p-ガリウム・ヒ素というシングルヘテロ構造をレーザに利用することを検討していたため、そのアプローチにはいささか制約がありました。彼らも理論としてはDHSが持つ可能性を認識していたのですが、ヘテロ接合で効率的な注入を実現する可能性は低いものと思っていたようです。

1969年8月、私は初めてアメリカを訪れました。デラウェア州ニューアークのルミネセンス国際会議で私が発表した論文は、アルミニウム・ガリウム・ヒ素をベースにしたDHS低しきい値室温レーザに関するもので、アメリカの研究者に大きな衝撃を与えました。論文を発表する直前までは、研究所訪問の許可を与えることができない、と言っていたRCAのパンコフ教授は、私の発表が終わるや否や、前言を翻してきました。

I could afford that. The Leningrad-Moscow flight took an hour time and the cost of a ticket to the TU-104 plane was as low as 11 roubles (about 15 US dollars). Nevertheless, after half a year shuttling between the two cities, Tamara moved to Leningrad.

In 1968-69, we virtually realized all the ideas on control of the electron and light fluxes in classical heterostructures based on the arsenid gallium-arsenid aluminum system. Apart from fundamental results that were quite new and important, efficient one-side injection, the “superinjection” effect, diagonal tunneling, electron and optical confinement in a double heterostructure (which in a short while became the main element in studying the low-dimensional electron gas in semiconductors), we succeeded in employing the principal benefits of heterostructure applications in devices, i.e., lasers, LEDs, solar cells, dynistors and transistors.

But in order to realize this double heterostructure concept for the laser, it was necessary to find material with which this unique proposal could be realized [photo 6]. Actually, we spent approximately 4 years before we found it, which we can see now just as very simple, but in those days, it looked so complicated and we had a psychological barrier to overcome. Of utmost importance was, beyond doubt, the making of low-threshold room-temperature operating lasers on a double heterostructure (DHS) that had been suggested by us (by me and R. F. Kazarinov at the Ioffe Institute and Herbert Kerner of the United States) as far back as 1963. The approach developed by M. B. Panish and I. Hayashi (Bell Telephone) as well as by H. Kressel (RCA) was different from that of ours since they offered to use in lasers a single p-AlGaAs-p-GaAs heterostructure, which made their approach rather limited. The possibility of obtaining an efficient injection in the heterojunction seemed doubtful to them, in spite of the fact that potential advantages of DHS had been recognized.

In August 1969, I visited the USA for the first time; my paper that I read there at the International Conference on Luminescence in Newark (Delaware) was devoted to AlGaAs-based DHS low-threshold room-temperature lasers and produced an impression of an exploded bomb on American colleagues. Professor Ya Pankov from RCA, who just shortly before my reading the paper had explained to me that they had not got permission for me to visit their laboratory, as soon as I concluded my speech told me that the permission had been received. I could not help enjoying my refusal explaining that now I had been invited by that moment to attend IBM and Bell Telephone laboratories.



た。私はすでにIBMとベル研究所から招待を受けているので伺うことはできない、と丁重にお断りしたのですが、内心は「してやったり」という気持ちでした。

ベル研究所ではセミナーを行った後、所内を見学させていただきました。彼らの研究者と意見交換を行う中で、私たちの研究成果のメリット、デメリットが私の中でははっきりしてきました。その後、半導体レーザの室温連続動作の開発競争が始まるのですが、当時敵対関係にあった東西大国に分かれていたにもかかわらず、私たちはオープンかつ友好的な関係を保つことができた稀なるケースだったと考えています。そして、1970年に、私たちの研究室で初めて室温連続動作が達成されました。その1カ月後に、パニッシュ博士率いるベル研究所のグループもこれを達成しました。私たちは、より複雑な水分を多く含む素材を提案し、この素材はヘテロ構造電子工学一般において中心的なものとなりました。連続動作の達成は、その後、ロスの少ない光ファイバーの発明、そしてDHSレーザの開発への道を大きく開き、そうした技術は光ファイバー通信の登場、急速な発展へとさらに繋がっていきました。

これは常温における最初の低しきい値を実験的にスペクトルにしたものです [photo 7]。レーザのダブルヘテロ構造は1968年から私たちの研究室で研究されていたのですが、専門家が言うように2つの仮説をたてました。

当時—今日の話ではなくて、当時のことです—研究のために予算獲得が必須でしたので、上司を説得しなければなりません。そこで、「デモンストレーションするためには見えるものでなければなりません。赤外線では目で確認できません。ダブルヘテロ構造レーザの光ファイバー・コミュニケーションシステムにおける実用化のために、目で見えるもので示す必要があります」と説得にかかったものです。

これは、1970年5月に実現された、初めての半導体レーザの連続動作を示す図です [photo 8]。ここで、「半導体レーザの歴史」とか「技術的困難」と申し上げる時には最初のダブルヘテロ構造レーザの実現や、最初の連続動作の達成に関わることを意味します。これらの装置の実現には、一生取り組むような非常に複雑で、困難な問題があったということをご理解いただければと思います。ベル研究所、日本電気、東芝、シャープほか日本企業やヨッフエ研究所の人々は、この問題を解決するために大きな貢献を果たしました。連続動作の実現は、一般誌にも取り上げられました。5分、10分、30分程度の動作では仕方がないのです。結晶転移や質の低下等の複雑な諸問題を、実に注意深く研究していった結果として、この安定的な装置の実現が達成されたのです。これは今日に至るまで、半導体装置としては最も複雑なものの一つと言

My seminar in the Bell followed by the looking over the laboratories and discussions with researchers clearly revealed to me the merits and demerits of our progress in my laboratory. I believe that the soon commenced emulation for being the first to achieve continuous wave operation of laser at room temperature was at that time a rare example of open and friendly competition between laboratories belonging to the antagonistic Great Powers. And in 1970, the CW (continuous wave) operation at room temperature was demonstrated first in our laboratory. We “won” the competition overtaking by a month Panish’s group in Bell Telephone. We proposed a more complicated watery material and this material became the main material for the heterostructure electronics in general. The significance of obtaining the continuous wave regime had the connection first and foremost with working out an optical fiber with low losses as well as the creation of our DHS lasers, which resulted in appearance and rapid development of optical fiber communication.

This is the experimental spectrum [photo 7] of the first low-threshold, room-temperature, double heterostructure laser which have been created in our laboratory in 1968 and demonstrated just as specialists told so: two hypotheses.

Even at that time—I am not speaking about now—but even that time, we needed money for research and we talked to the bosses to convince them that we needed the money: “It is necessary to show. Infrared lasers cannot be seen, so we will make a visible one.” Then, it was, of course, very important to demonstrate visibly that double heterostructure lasers could be used for fiber optical communication systems.

This is just a scheme of the first CW semiconductor laser which was demonstrated in May, 1970 [photo 8]. I would just like to say that, when we say ‘technical problems’ and ‘the history semiconductor laser,’ we mean the first demonstration of double heterostructure lasers and the first demonstration of CW operation. Please do not forget that there were very complicated problems of the lifetime and integration problems of these devices. And people from Bell telephone, Nippon Electoric, Toshiba, Sharp and other Japanese companies and Ioffe Institute made a great contribution to the solution of this problem, and about CW operation was published in the established paper. Just 5 minutes, 10 minutes or half an hour is nothing. After very careful and complicated research for movement of dislocation and degradation problems and so on, the reliable device, which is one of the most complicated semiconductor device up to now, was realized.



えるものです。

ここでは私は旧い友人と一緒に写っています [photo 9]。トレチェコフ、ガルブゾフ、アンドレーエフ、コロルドフ、そしてポルトノイ博士も一緒にいます。それから旧い友人でアーバナにあるイリノイ大学から来たホロニャック教授が入っています。教授は1967年に初めて物理技術研究所の私の研究室を訪ねて来てくださいました。教授は私たちの研究室で1カ月間を過ごされました。それから今度は反対に私が、1970年から71年の冬と同じ年の春に教授の研究室を訪れ、半年過ごしました。それからまた、1974年に再び教授が私のところを訪れました。(スライドには1972年とありますが間違いです。) それ以来、私は、半導体オプトエレクトロニクスの父的存在の一人で、初めての可視半導体レーザやLEDの発明者でもあった教授と親しくお付き合いをさせていただくようになりました。この三十余年というもの、私たちは半導体物理やエレクトロニクスが抱える諸問題、政治、人生などについて語り合っていました。相互訪問、手紙、セミナー、電話などを通してこれまで築いてきた教授との関係は、私の仕事、人生において大切な位置を占めてきました。

そしてここで私にとって2人の重要な人物が写っています [photo 10]。1974年に米国のイリノイ大学に行った時のものです。私たちは大変ユニークな人物であるジョン・バーディーン教授を訪れました。右にいるのがホロニャック先生で、彼はバーディーン先生の生徒でした。バーディーンとホロニャックの両先生の間にいるのが、私の先生のツキビツ教授です。ジョン・バーディーンは歴史上2つのノーベル物理学賞を受賞した唯一の人物です。1つ目はトランジスタの発見で、2つ目は超伝導理論での受賞でした。両者ともに偉大な先生で私たちの素晴らしい友人でもあります。しばしばソヴィエトにもいらっしゃり、私たちのヨッフエ研究所も訪れて、私たち半導体研究者に大きな影響を与えてくれた先生です。

1960年、プラハで行われた半導体物理学学会に、初めて参加した時のことを私は忘れられません。その学会はまず、半導体研究の父であるヨッフエ先生がお話をされ、バーディーン先生が招聘講演として最後にお話をされました。41年も前のことですが、私は、バーディーン先生がおっしゃった「科学はインターナショナルだよ」という言葉をいつも思い出します。科学者たちはこのことをよくわかっているのですが、一般の方にも述べておきたいと思います。私たちが科学の国際性について考える時、半導体物理はよい例になります。なぜなら、半導体物理は、英国のウィルソンとモット、ドイツのワグナーとシュットケ、ソヴィエトのヨッフエとフランクリンによって築き

Here I am together with my old friends [photo 9], that is, Tret'yakov, Garbuzov, Andreev, Korol'kov and Dr. E. L. Portnoi. Together a very old friend of mine, Prof. Nick Holonyak Jr. from the University of Illinois at Urbana-Champaign. He came to visit me at the Physico-Technical Institute for first time in 1967. He spent a month in our laboratory and then I paid a return visit to his laboratory in the winter 1970-71 and spring 1971 and spent six months there. And he visited me again in 1974. (It is a mistake when you said in 1972.) Prof. Nick Holonyak, who is one of the founders of semiconductor optoelectronics, the inventor of the first visible semiconductor laser and LED became my closest friend. Now over 33 years we have discussed all semiconductor physics and electronics problems, political and life aspects and our interaction (visits, letters, seminars, telephone conversations) played a very important role in our work and life.

And here [photo 10], another two important persons for me. It was of our visit to the University of Illinois in the United States in 1974. We visited the room of Prof. John Bardeen who is very unique. Holonyak, who was a pupil of Bardeen, is on his right. Between Bardeen and Holonyak is my teacher Prof. Tuchkevich, and John Bardeen who is the only one who, during the whole history, got two Nobel Prizes in physics. First one was for the discovery of transistor and second one was for the super-conductivity theory. Both are great men and our great friends. He frequently visited the Soviet Union and our Ioffe Institute and he had great influence on the semiconductor community in general.

I will never forget that, in 1960, I attended a semiconductor physics conference in Prague for the first time in my life. The conference was opened by introduction lecture of the father of the semiconductor research, an Academician Dr. Ioffe, and it was closed by an invited talk of Prof. Bardeen. And I always remember what Bardeen said then, 41 years ago, "Science is international." Scientists know this very well but it is also necessary to mention this to the general public. Semiconductor physics is a good example when we think about the international nature of science. Because, it was created by Wilson and Mott in the United Kingdom, by Wagner and Schutke in Germany and by Franklin and Ioffe in the Soviet Union. And I particularly believe that, for semiconductor physics and semiconductor electronics in general, John Bardeen played the more outstanding roll in the second half of our century.

In 1971, I became a recipient of the USA Franklin's Institute gold medal for DHS laser works. Being my first international award, it was of particular value to



上げられたものだからです。そしてそれは特に、ジョン・バーディーンが20世紀後半、半導体物理・半導体電子工学一般において、素晴らしい役割を果たしてくださったからこそであると私は思っております。

1971年、DHSレーザに関する研究が認められて、アメリカのフランクリン研究所から金メダルをいただけることになりました。国外では初めていただく賞だったので、この賞には特に思い入れがあります。私の他に同研究所から金メダルを授かったソヴィエトの物理学者には、アカデミー会員のP・L・カピツァ（1944年）、同じくN・N・ボゴルボフ（1974年）、同じくA・D・ザカロフ（1981年）がいますが、こうした錚々たる面々と肩を並べられることができ、大変名誉に思っています。

実際には幸運な例外だったともいえる格子整合ヘテロ構造の $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 系は、最初は理論、そして実験でも、多成分固溶体をベースにして無限に広がっていきました。InGaAsPが最も分かりやすい例です。

1970年には、私たちはヘテロ構造をベースにした太陽電池の開発に成功していました。アメリカの科学者がまだ初期段階の研究成果を発表していた頃には、私たちの太陽電池は人工衛星スプートニクに搭載され、大量生産も本格的に始まっていました。この太陽電池は、宇宙空間で用いると効率の高さが際立ちます。もうすでに何年にもわたってミール宇宙科学ステーション[photo 11]で働き続けていますが、大方の予想に反して、1ワットあたりの発電効率を落とすことなく、現在も問題なく動作しています。宇宙空間における最も効率的なエネルギー源はIII-V化合物のヘテロ構造をベースにした太陽電池なのです。

1972年、私は、教え子や研究仲間と共に、ソヴィエトで科学者に与えられるものとしては最高の榮譽であるレーニン賞を受けました[photo 12]。しかし、どういうわけか、受賞者のリストからR・F・カザリノフとE・L・ポルトノイの名前が漏れており、心の底から喜ぶ気にはなれませんでした。

授賞式の日、私はモスクワからレニングラードの家に電話をしましたが誰も出ませんでした。そこで1963年からレニングラード住まいをしていた両親に電話をしました。レーニン賞を受賞したことを父に報告しましたが、父は私の話など聞こうともせず、「それがどうした。私たちの孫が生まれたんだよ」と答え、その日、私の息子が無事生まれたことを教えてくれました。この年、私は科学アカデミーの会員にも選ばれ、まさに朗報続きでしたが、やはり一番嬉しかったのは、息子のワーニャが生まれたことでした。

me. There are Soviet physicists besides me who have been given the Franklin's Institute gold medals too: Academician P. L. Kapitsa in 1944, Academician N. N. Bogolubov in 1974, Academician A. D. Sakharov in 1981. I consider it a big honour to belong to such a company!

An  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  system of lattice-matched heterostructures, which in practice seemed to be a lucky exception, was infinitely expanded on the basis of multi-component solid solutions, first theoretically and later on experimentally (InGaAsP is the most convincing example).

Heterostructure-based solar cells were created by us as far back as 1970. And when American scientists published their early works, our solar batteries had already been mounted on the satellites (Sputniks) and their industrial production was in full swing. The cells, when being employed in space, proved their efficiency. For many years they have been operating on the "MIR" [photo 11] skylab and in spite of the fact that forecasts of a substantial decrease of the value of one watt of the electrical power have not been justified so far, the most effective energy source in space is, nevertheless, a set of solar cells on heterostructures of III-V compounds.

In 1972 my pupils-colleagues and I were awarded the Lenin's Prize [photo 12] —the highest scientific Prize in the USSR. Our gladness regrettably was not cloudless. For some formal and obscure reasons we lost from the list of nominees R. F. Kazarinov and E. L. Portnoi.

On the day of the prize award I was in Moscow and called home, to Leningrad. But the telephone did not answer. Then, I called my parents (they have been living in Leningrad since 1963) and gladly told my father that I had been given the Lenin's Prize. But my father replied—"And so what? Our grandson is born today!" In my lucky 1972 year, in addition to the prestigious prize I was elected a member of the Academy of Sciences. But the happiest day was that of Vanya Alferov's birth.

Studies of superlattices and quantum wells were rapidly promoted in the West and afterwards in this country, which soon resulted in coming into being of a new area of the quantum physics of solid: the physics of low-dimensional electron systems. In this regard, studies of zero-dimensional structures—so-called "quantum dots"—form the summit of the above-mentioned works. Gratifying is the circumstance that the Ioffe Institute today, while going through hard times, remains the world leader in this area of physics. Works of the second and third generation of my students, those being well-known P. S. Kop'ev, N. N. Ledentsov, V. M. Ustinov,



さて、西側では超格子と量子井戸の研究が急速に進み、その後、この国には低次元電子系物理学という、固体量子物理の新時代が到来しました。そして、いわゆる「量子ドット」と呼ばれるゼロ次元構造の研究が、こうした研究の頂点を成すようになりました。そうした中で、厳しい時代もありましたが、ヨッフエ研究所が物理学の分野で現在も世界のリーダー的存在であり続けていることは、喜ばしい限りです。そして、P・S・コペフ、N・N・リデンツォフ、V・M・ウスティノフ、S・V・イワノフなど、私の孫弟子、曾孫弟子の研究も、広く一般に認められています。最近では、N・N・リデンツォフが最年少のロシア科学アカデミー通信会員となりました。

1987年、私はヨッフエ研究所長に就任し、1989年にはソヴィエト科学アカデミーのレニングラード科学センター代表に、そして1990年の4月にはソヴィエト科学アカデミーの副会長となりました。その後、私は再任され、現在ではロシア科学アカデミーでこれらのポストを兼任しています。

私はこれら研究機関のトップに就任するや否や、今や世界に冠たるロシア科学アカデミーの活動内容のさらなる充実に取り組み、成果を出すことができました。この会場に若い方がたくさんおられます。私はもう十分に年長者ですし、世界中でも最も素晴らしい研究施設の一つであるヨッフエ研究所で、人生のほとんどを物理学、固体物理学、半導体物理学に捧げてきました。これらの分野においては、ヨッフエ研究所やアメリカのベル研究所ほどに優れた研究所は、そうざらにないと思います。英国にもいくつかよい研究所があるかもしれませんが、優れた研究所とは、科学者が研究費めあてに助成金申請をするために存在するべきではありません。自由を認め、いろいろな研究活動ができる可能性を提供すべきです。科学の本質的な理論を研究するためには、基礎科学は最も重要です。もちろん、このことを実現するためには、私たちはいくつかの施設を守っていく必要があります。

ロシアの国や科学界にとって、かつて大変難しい時期もありました。ビルゾフスキー、フシンスキー、タザンといった人物がロシア社会でヒーローとなった時もありました。私はノーベル賞後の初めてのインタビューで申し上げたのですが[photo 13,14]、ビルゾフスキーやフシンスキーたちの信奉者ではなく、私たちの生徒たちがこれからのロシアを率いていってくれることを願っています。

科学の歴史を思い起こしてみると、現代の科学者というのは非常に若い世代が多くいます。例えば、ニュートン、デカルト、ライプニッツなどのたった300年前の科学者が近代科学を確立したわけですから、ペテルスブルグに近代科学が登場したのも同じ

S. V. Ivanov, have won general recognition nowadays. N. N. Ledentsov has become the youngest corresponding member of the Russian Academy of Sciences.

In 1987, I was elected director of the Ioffe Institute; in 1989, president of the Leningrad Scientific Center of the Academy of Sciences of the USSR; and in April 1990, Vice-President of the Academy of Sciences of the USSR. Afterwards, I was reelected and hold all these posts now within the Russian Academy of Sciences.

In the first years of my presidency and directorship we succeeded in remarkable scaling up research activity in our unique (for all the world) Academy of Sciences. I see many young people here in the hall. I am old enough and have spent my whole life practically in physics, in solid-state physics and in semiconductor physics at one of the best research institutions throughout the world, Ioffe Institute. There are not so many good laboratories in these fields as much as Ioffe Institute and Bell Telephone Laboratory in the United States. Maybe, some places in the United Kingdoms are included. A good laboratory must offer scientists freedom and possibilities to do science and it should not exist just for scientists' applying for a grant. To study the internal logic of science, basic science is most important. Of course, to fulfill this, we need to keep some facilities.

There was once a very complicated time for Russian science and Russia as a country. People such as Bilsovsky, Vshinsky and Tarsa became the heroes in Russian society. I said that, in my first interview after the reward of the Nobel Prize [photo 13,14], I hope that the future of Russia would be activated by my pupils but not by pupils of people such as Bilsovsky and Vshinsky.

If we look back of the history of science, we just remember that the modern science is very young, as it was created by 'genes' of such as Newton, Descartes and Leibniz; it emerged only 300 years ago. It was around the same time when modern science was founded in Petersburg. Great changes on our planet have happened practically thanks to science. The famous British thinker, Francis Bacon once said, 'Knowledge is power.' Our politicians must understand that power must be based on knowledge.

We have also developed effective collaboration with Universities and Educational Institutions. The Physico-Technical Special Secondary School attached to Ioffe's Physico-Technical Institute had been opened at that time.

This shows the new building of the Ioffe Institute [photo 15]. We call this new building the educational scientific center of the Ioffe Institute. Unfortunately, during the last decade, only one of building has been constructed in St.



頃です。この世で起きた偉大な進歩のほとんどは科学のおかげによるものです。かの有名な英国の思想家フランシス・ベーコンは、かつて「知性はパワーである」と言いました。パワーというのは知性に基いているものだということを、政治家も理解しなければなりません。

その他、大学などの教育機関と効率的な協業関係を築くことにも私たちは成功しました。その頃にはヨッフエ物理技術研究所付属の物理技術特別中等学校もすでに開設していました。

これはヨッフエ研究所の新しい建物です[photo 15]。これは、ヨッフエ研究所の科学教育センターと呼ばれているものです。残念なことに、過去10年間にこのようなセンターがベテルスブルグに1つ建設されたただけなのです。それでも私たちは満足しています。ロシアの科学アカデミーは教育システムに対して視野が狭かったという事実は過去にはありました。

1970年代に科学がますますグローバル化するにあたって、ポリテクニック大学に新しいポストを作りました。13歳かそこらの年齢の優秀な少年少女を集め、科学を集中的に教える特別な学校をつくる必要がある、という結論に私は達しました。このアイデアを実現するために、生徒と先生がひとつ屋根の下で共に勉強できるような、質の良い科学的施設や、また運動施設を完備した特別な建物を作ることが大変重要であると考えたわけであります。1997年に私がヨッフエ研究所の所長になった時、研究所内にこうした新しい学校を設立しました。こうして選ばれた13歳に達した優秀な少年少女たちが、心身勉学を共に私たちの研究所で鍛錬を始めています。

何より大事なことは、私が学部長を務めますこのポリテクニック大学の生徒たちとアカデミー会員である科学者たちとが同じ建物の中で共に学び、またスポーツ大会を行ったりするということです。これは知的刺激にも大いに役立ちます。3年前に完成しましたこの施設は非常に良好に運営されています。私にとって最も幸福な時と申せば、おそらくこうした少年少女たちへ講義を行っている時だろうと思います。彼らと共に様々な科学の問題を話し合いながら、新しい世代の科学者や技術者を育成しているのだという実感を持てるのです。このように、次世代の若者たちと熟練科学者の間に距離をおかずに、共に学び合うということが大切だと思っています。

さらに、大学の教授ポストも以前よりも専門を絞り込んで人材を迎え入れるようになりました。こうした取組みの最初の例となった、元LETIの電子技術大学では、1973年に光電子工学専門教授のポストが設けられました。1988年には、既存の組織

Petersburg. But I am happy that we did that. That was a very old idea because Russia Academy of science always has very closed eyes with education system.

During the 1970s, science became global and I founded some new chairs in our institute connected with Polytechnical Institute. I came to the conclusion that it would be very important to have a special high school in order to select talented boys and girls at the age of 13 or so. In order to realize this idea, from my point of view, it was very important to have the special building with good scientific facility, with good sports facility under one roof, where our students and our school would study. Therefore, in 1997, when I became the director of the Ioffe Institute, we opened and created the new school at the Ioffe Institute, where we selected talented boys and girls at the age of 13 and they started working in our laboratory.

And it was very important that students of our faculty at the Polytechnical Institute, where I am simultaneously in the charge of the faculty, and our Academicians, senior scientists would create seminars of sports competition, studies at laboratory, just together in the same building, and wonderful for the strong intellect. And we have built this new building. We opened this 3 years ago and it's been working very well. And I created this, and maybe my most happiest hours are when I deliver lectures to the school boys, when I have meeting with them, when I discuss lots of different problems with them and I can see that just I bring them and develop them, the new generation of scientists and engineers. It is very important that there is never a gap between us; we must always be together.

Ongoing was the process of creation of specialized University chairs: the first one, that of Optoelectronics, was organized in the Electrotechnical University, (formerly the LETI) as far back as in 1973. On the basis of both then existing and newly organized chairs, a Physicotechnical faculty was set up in the Polytechnical Institute in 1988.

Academician Ioffe, the founder of our institute, in the following year founded the physical mechanical department of the Polytechnical Institute, which was the first in Russia and maybe one of the first in the world. Faculties became to be combined, education for engineers is very good based on physics and mathematics, and education of physicists with very good understanding can be applied to engineering problems. It was the first education system for physicists and engineers, like it was developed then in MIT and some other places.

A great contribution to the above-mentioned system is made by the Scientific-Educational Center [photo 15] that has been built by the Physico-Technical



に新設のポストを併せ、ポリテクニック大学に物理技術学部が設立されました。

アカデミー会員のヨッフエ博士は、ヨッフエ研究所を設立した翌年、ポリテクニック大学に物理工学部を設立しました。これは、ロシアで最初の、そしておそらくは世界でも最初のものの一つであろうと思います。両学部は統合されることで、技術者は物理と工学をバランスよく吸収でき、また、物理学者も非常によく工学的問題に関する理解を深めながら育成されます。その後、米国のMIT（マサチューセッツ工科大学）やその他のところでも、こうしたシステムが選択されております。

物理技術研究所が設立した科学教育センター[photo 15]は、こうしたシステムに対して大きく貢献しました。まさに「知の殿堂」と呼ぶにふさわしいこのセンターでは、現在、小学生から大学生、科学者までが学んでいます。

このように様々な取組みが行われていますが、やはりその中でも最も重要なのは、ロシア特有のユニークな科学・教育システム、科学アカデミーの存在です。科学アカデミーは277年前にペテルスブルグに設立されたものです。初期の頃より、独自の教育システムと研究施設を持っておりました。それが、いわゆる10月革命が起き、長期的視野に欠ける人々が、アカデミーが不要だと唱えたりしたこともありました。同アカデミーは、1920年代には「帝政ロシアの遺物」として、その存続が危ぶまれました。私たちはアカデミーを救いました。そして1990年代には、「全体主義的な旧ソヴィエト政権の遺物」であるとしてその存続が危ぶまれました。1995年、私は科学アカデミーを守るため、デュマ州の代表としてロシア議会の一員となりました。私たちは再びアカデミーを救いました。まさにアカデミーは、我が国における基礎科学を支え、全科学を護る場です。また、世界の科学にとってもロシア科学アカデミーはダイヤモンドたる一つと言えましょう。プーチン大統領もこのことを理解しています。アカデミーでは、オシポフ会長を筆頭に、副会長、会員、通信会員、ドクター、科学者の卵、上級・下級研究員、研究所助手、そして機械担当者が、存続に向けて一致団結しています。私たちは、権力とは妥協しましたが、決して自らの良心に妥協を許すことはありませんでした。

さて、私はデュマ州の代表としてロシア議会で科学の重要性についてスピーチを行ったことがあります[photo 16]。1992年以来、ロシアの科学予算は下降をたどっています。現在では以前のおよそ10分の1ほどになっていましょう。それで、1年前に行った私のスピーチは、ノーベル賞のおかげで多少なりとも効果があったようで、科学予算は10%増加しました。さて、京都よりロシアへ戻る頃はちょうど、デュマ州にお

Institute and incorporates school boys, students and scientists in a magnificent edifice, which can be called “The Palace of Knowledge.”

Still, throughout the years, of greatest importance so far has been the existence of our Academy of Sciences as a unique both scientific and educational structure in Russia. It was founded by Peter the Great (Peterburg) 277 years ago. From the beginning, they had their own laboratory and their own education system. Then, the October Revolution happened. Many short-sighted people said that we do not need the Academy. The Academy faced the menace of abolition in the twenties as “an inheritance from the tsarist regime.” We saved the Academy. It faced the menace of abolition in the nineties as “an inheritance from the totalitarian Soviet regime.” To insure its safety I gave my consent to be a member of the Russian Parliament (a deputy of State Duma) in 1995. So, we saved the Academy again and it is to be the place for the fundamental, basic science in our country which supports the whole scientific infrastructure in the country. The Academy of Russian science is one of the diamonds of world science. President Putin understands this. President Yu. S. Osipov and Vice-Presidents, Academicians and Corresponding Members, doctors and candidates of sciences, senior and junior research associates, lab-assistants and mechanics took a firm stand on this kind of situation. For the saving of the Academy of Sciences, we made compromises with the power but never with the conscience.

So, I delivered a speech about the importance of science in the Russian parliament as a deputy of the state Duma [photo 16]. The budget for science in Russia has been dropped since 1992 and right now is approximately, at least, ten times less than before. So, my speech of one year ago was effective more or less due to the reward of Nobel Prize and it has been increased to 10 % for the budget for science in Russia. When I return to Russia from Kyoto, it will be exactly the timing for discussion about the budget in our state of Duma. I hope that this Kyoto Prize will help me too to increase the budget for science in our country.

By the way, I was received by President Putin and we discussed about the science problems [photo 17]. He understands well the whole situation that exists in our country now; the drastic diminution of the high-tech industry power is happening because science is not supported by the society, and the drastic situation for basic science and even fundamental science has developed due to this. Fortunately, President Putin understands this. But, it is a very hard fight for us, for



いて予算の議論が行われるタイミングです。今回もまた、この京都賞受賞「効果」があることを私は願っております。

ところで、以前、私はプーチン大統領と会見し、科学の諸問題について討議する機会がありました[photo 17]。大統領はロシアの状況をとてもよく理解している方で、ハイテク産業が大幅に後退しているのは、社会の科学への支持というものが今ひとつ欠けているためだということを認識しています。基礎科学、あるいは科学の土台そのものが揺らいでいます。幸いなことに、大統領はこのことをしっかりと理解されています。しかし、目標を達成しようという私たちあるいは大統領の努力は、非常に困難にさらされている現状です。

これまで人間が創造してきたものは、ある意味、すべて科学によってもたらされたものだと言えます。ロシアが今後、大国への道を選択するのなら、それは、核の力や、神や大統領、さらには西側からの投資に対する信仰などによるのではなく、国民の勤勉、知識や科学に対する信頼、そして、科学分野における可能性、教育の維持向上のみによって、そうなり得るのです。

まだ10歳ぐらいだった頃、私は、V・カヴェーリンの『二人の船長』という素晴らしい本を読みました。言ってみるなら、これまで私は、その本の主人公が持つような、独特の処世訓に従って生きてきました。それは、「人は努力を怠らず求めていかなければならない。当初の目標を達成したなら、ただ再び次の道を求めて怠らず」というものです。

自分が何と取り組んでいるのかを知る、これが大切なのです。

him, to achieve our goal.

All that had been made by human beings, in principle, was made due to Science. And if our country's choice is to be a Great Power, Russia will be one not because of the nuclear potential, not because of faith in God or president, or western investments but thanks to the labour of the nation, faith in Knowledge and Science and thanks to the maintenance and development of scientific potential and education.

When I was a little boy of ten, I read the wonderful book *Two Captains* (by V. Kaverin). In essence, in my life I have been following the principle that was peculiar the main character of that book: "One should make efforts and search. And having obtained whatever the purpose, to make efforts again."

Of great importance here is to know what you are struggling for.



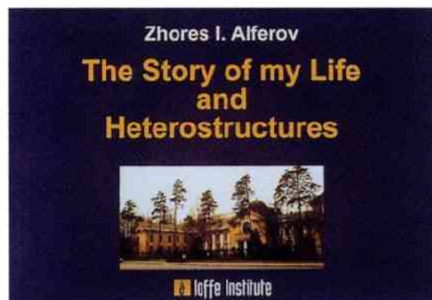


photo 1

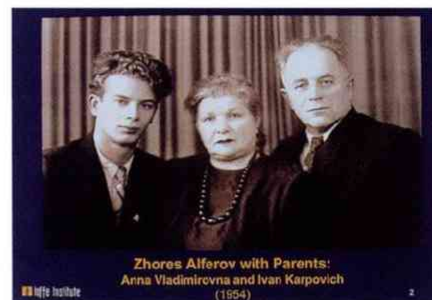


photo 2

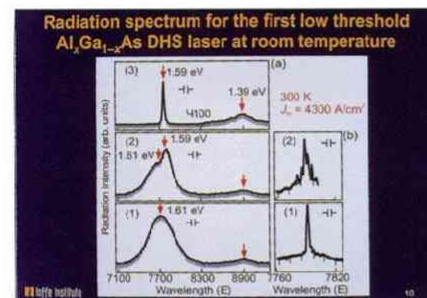


photo 7

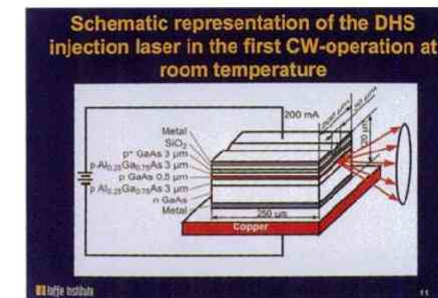


photo 8

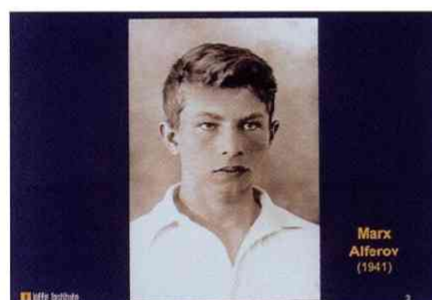


photo 3

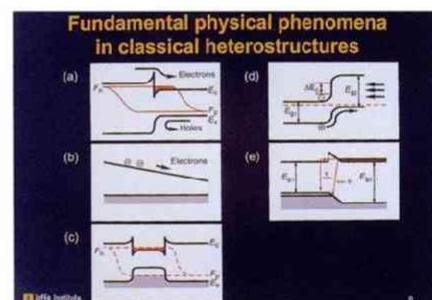


photo 4



photo 9



photo 10



photo 5

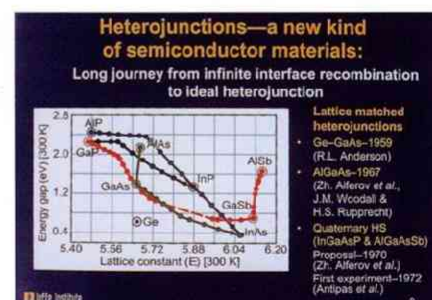


photo 6



photo 11



photo 12





photo 13

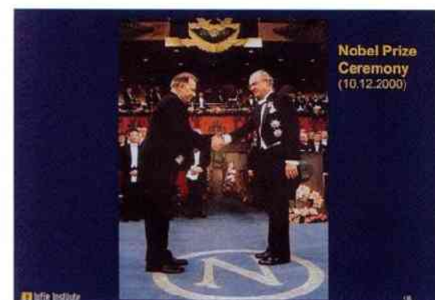


photo 14



photo 15



photo 16



photo 17



稲盛財団2001——第17回京都賞と助成金

発 行 2002年5月31日

制 作 財団法人稲盛財団

京都市下京区四条通り室町東入ル函谷鉾町88番地 〒600-8009

電話〔075〕255-2688

**ISBN4-900663-17-4 C0000**